

Escola Universitaria Politécnica



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Máster Universitario en Eficiencia y Aprovechamiento Energético

SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN INSTALACIONES PORTUARIAS:

PUERTO EXTERIOR DE FERROL

T.F.M

Trabajo Fin de Máster

SEPTIEMBRE DE 2019

Alumno: Gerardo García Lage

Director: Antonio Enrique Masdias Bonome

Departamento: Ingeniería Industrial

A mi Madrina, Nina.

RESUMEN

Dentro de las grandes rutas internacionales el tráfico marítimo puede considerarse uno de los principales promotores del intercambio comercial. Desde tiempos antiguos, la importancia de mantener seguras las rutas marítimas marcaron el devenir de muchas naciones y los Puertos marítimos jugaron un rol fundamental como refugios por sus condiciones defensivas o climáticas, siendo las ventanas de conexión al mundo desde sus océanos.

En los tiempos actuales, el buen funcionamiento de los puertos es imprescindible para un alto desempeño de las economías de escala y el flujo óptimo de las mercancías. Ante los nuevos tiempos, uno de los principales objetivos fijados en las agendas políticas del ámbito internacional radica en la importancia del uso y aprovechamiento de la energía, siendo la base para el incremento de la Eficiencia Energética.

Por todo ello, se plantea en este Trabajo Fin de Máster una serie de propuestas, desde una perspectiva global y única, encaminadas a propiciar un cambio de paradigma que permita reforzar el liderazgo del Puerto Exterior de Ferrol y posicionarse como Puerto Verde de referencia. El desarrollo de los puertos marítimos dependerá, en gran medida, de su inclusión en las redes de transporte intermodal donde multitud de procesos son automatizados y tele gestionados con la finalidad de mejorar el tráfico de mercancías.

La Transición Energética, junto a las nuevas tecnologías de la información, están generando multitud de condiciones favorables para activar sinergias entre disciplinas, hasta hoy inaccesibles, en diferentes campos de la industria, comercio o sociedad. Las Autoridades Portuarias no pueden ser ajenas a esta transformación y están llamadas a desplegar todo su potencial ejerciendo su capacidad de arrastre en la economía del área de influencia.

En relación con todo lo expuesto se proyectará, para el Puerto Exterior de Ferrol, una Red inteligente, o *Smartgrid*, de generación distribuida dependiente de una fuente renovable de energía caracterizada por un parque eólico de 14Mw que estará asociado a un sistema de almacenamiento de energía de 15Mw con capacidad de operar de manera aislada a la red.

Palabras clave: Generación Distribuida, Energías Renovables, Eficiencia energética, Transporte Intermodal, Puerto Exterior Ferrol, Autoconsumo, Parque Eólico, Almacenamiento de Energía, Cogeneración, Residuos MARPOL.

1	INTRODUCCIÓN	5
2	MARCO CONTEXTUAL.....	11
2.1	Marco legal español	22
3	OBJETO Y ALCANCE	23
3.1	Objetivos específicos	24
3.2	Alcance	24
4	DESARROLLO PORTUARIO	26
4.1	Puertos del futuro	32
4.2	Puerto Exterior de Ferrol: Una propuesta de futuro.	44
5	GENERACIÓN DISTRIBUIDA PUERTO EXTERIOR	56
5.1	Emplazamiento.....	60
5.2	Smartgrid (Redes inteligentes).....	61
5.3	Sistema de almacenamiento de energía. Baterías.....	72
5.4	Sistema de cogeneración de refuerzo.....	77
5.5	Transporte y servicio portuario sostenible.	91
5.6	Estimación y dimensionado del parque eólico	95
5.7	Impacto Ambiental	102
5.8	Estimación de Producción – Dimensionado molinos	105
6	PRESUPUESTO	118
6.1	Amortización.	119
7	CONCLUSIONES	121
8	BIBLIOGRAFÍA	122

1 INTRODUCCIÓN

La Ría de Ferrol, véase **Figura 1**, viene ejerciendo un papel en el Norte peninsular muy importante como “puerto refugio” desde tiempos remotos que hunden sus raíces en la cultura castrexa. En época del Imperio Romano, según advierten diferentes fuentes históricas, descripciones y una variedad de yacimientos¹ arqueológicos, analizados en su ribera, vislumbran una alta actividad marítima en este magnífico entorno natural de la costa gallega. En dichas épocas remotas, hace más de 2000 años, ya reflejó en sus textos *Plinio* o *Estrabón* la relevancia marítima del Golfo natural formado por las rías de Ferrol, Coruña, Ares y Betanzos. El propio *Estrabón* describía en su obra “*Geografía*” (*Libro III. Año, 7 a.C.*): «*los ártabros tienen muchas ciudades situadas en un golfo que los navegantes llaman puerto de los ártabros*». Y nombrando a este accidente geográfico conformado por las cuatro Rías “*Magnus Portum Artabrorum*” (*El gran puerto de los Ártabros*).



Figura 1. Imagen aérea de la Ría de Ferrol tomada en el año 2014.

Fuente: Google Images

Para los primeros pobladores de este entorno, la Ría de Ferrol, tuvo una relevancia importante en la economía local, en el comercio y como puerto pesquero, facilitando contactos con las culturas mediterráneas y consolidándose rutas a las islas británicas, principalmente, por su proximidad (4 días de navegación).

¹**yacimientos:** excavaciones arqueológicas realizadas en la Villa de época Romana “a mare da Caldoval” (Mugardos).
Fuente: Web Museo Caldoval - <https://www.museocaldoval.gal/es/o-xacemento/o-museo/>.

Esta actividad se extiende, hasta bien entrada la Edad Media, sin modificar demasiado su contexto pasado, sin embargo, según dejó documentado *Manuel Colmeiro* en su obra², tras las *Cortes de Jerez* (año 1268) el Puerto de Ferrol, véase **Figura 2**, -junto a otros puertos gallegos- se convierte en un enclave de relativa importancia por su tráfico portuario tras obtener una autorización para “*la carga y descarga de mercancías*” otorgada expresamente por *Alfonso X -el Sabio-* tras implementar en los puertos sujetos a su influencia “*un primer ordenamiento aduanero de los puertos marítimos en sus Reinos*”.



Figura 2: Ilustración de la Ría de Ferrol y su puerto, realizada por D. Pedro Teixeira (Lisboa, 1595) y posiblemente hecha entre el año 1622 y 1629.

Fuente: Web Consello de Cultura Galega na rede, “Os mapas da costa galega de Pedro Teixeira, 1634”. Versión PDF, Página 12-13. Enlace: <http://culturagalega.gal/imaxes/docs/teixeira.pdf>

Atendiendo a esta descripción de la lámina anterior, realizada por *Pedro Teixeira*, sobre la bahía ferrolana en el siglo XVII, y con un alto valor histórico, se observa un importante espacio de agua sirviendo de refugio a los buques en su magnífico fondeadero, al amparo de los fuertes vientos presentes siempre en esta costa. Para entender un poco mejor la realidad en la época del puerto de Ferrol respecto a las funciones marítimas que venía desarrollando, se expone, una descripción del catedrático de Geografía e Historia, *D. Ramón Otero Pedrayo*, tras citar un breve texto de su obra que facilita un poco más la comprensión geográfica al detallar la evolución de este puerto de los ártabros y su marcada función estratégica en el norte europeo. Se destaca una fuerte presencia militar desde el siglo XVIII propiciando un cambio significativo en la arquitectura de la urbe naval.

²**obra:** *Colmeiro, Manuel. 1861, Madrid. Página 74. “Cortes de los antiguos reinos de León y Castilla”.*

El entorno costero se transforma pues se acometen por su importancia militar la construcción de fortalezas, fosos, arsenales y castillos defensivos. Construcciones presentes en nuestros días como testigos de unas épocas sujetas al destino de los vientos.

Cita³. Otero Pedrayo, Ramón: “Antes de la fundación de los grandes arsenales del XVIII era una de las muchas villas marineras del contorno mariñán. La ría, clara, profunda de aguas limpias, inscrita entre fuertes relieves y sólo por estrecha gola comunicada con el océano abierta en una costa áspera, desolada y ventosa, decidió la fundación del puerto militar[.]. Y El Ferrol aparece claro, lógico, geométrico. Su ambiente sigue siendo el de la marina de guerra y las ramas técnicas.”

Como se refleja en el plano expuesto en la **Figura 3**, el cambio de paradigma en la villa gallega se produce, en época de Felipe II (1557), con la construcción de fortalezas en la bocana de la Ría haciéndola inexpugnable ante ataques y al impulsar una serie de industrias basadas en la fabricación de bizcochos, pan o productos del mar sirviendo de suministro a los buques de la Armada. El impulso definitivo se produce con Felipe V (1726), al designar a Ferrol Departamento Marítimo del Norte, dotando a la Ría de todas las infraestructuras necesarias para el mantenimiento de la flota. Primeramente, con la construcción de un astillero en *A Graña* y trasladado al emplazamiento actual, en *Esteiro* (Ferrol), tras la decisión de crear el Arsenal Militar que configuraría la nueva planta de la ciudad departamental con gran influencia de la Ilustración europea.

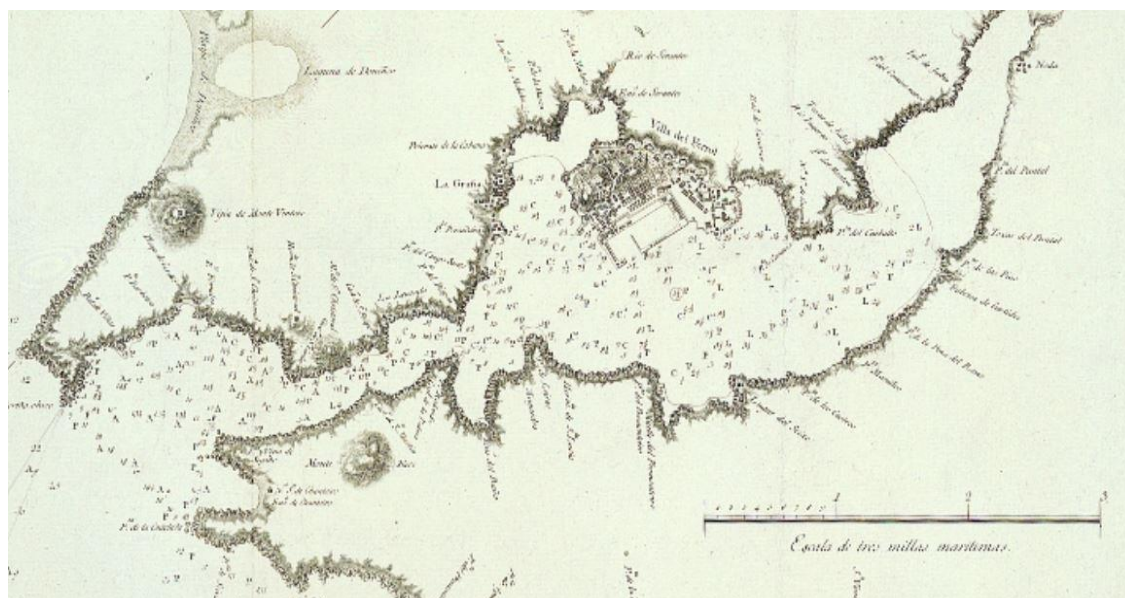


Figura 3. Plano de la Ría de Ferrol del año 1787. Obra del Brigadier de la Real Armada don Vicente Tofiño de S. Miguel. En él se puede observar la presencia del Arsenal Militar en pleno corazón de la ría en forma de gran rectángulo y junto a la Villa que estaba rodeada de una gran muralla defensiva, también se citan los castillos en la entrada estrecha de la Ría, convirtiendo el puerto en inaccesible ante los ataques.

Fuente: Plano extraído de la Web del Instituto Geográfico Nacional, sección Catálogo de la Cartoteca. Provincia de La Coruña. Enlace: <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/009838.html>

³**Cita:** Otero Pedrayo, Ramón. 1975, Edición Everest. Página 174. “Galicia, Una cultura de Occidente”.

Según esta pequeña introducción histórica del perfil estratégico militar, en esta Ría, se produce un rápido desarrollo a medida que las necesidades de la Armada crecen y en una época donde el dominio del mar aseguraba el comercio internacional. La imagen de su fachada marítima, así como el destino operativo, de este puerto se mantiene prácticamente inalterable hasta bien entrado el Siglo XX.

El *Puerto Interior de Ferrol*, de carácter comercial e indicado en la **Figura 4**, tiene su inicio primeramente en “Curuxeiras” a partir de 1910, dotando así a la ciudad de unas instalaciones acordes a la demanda de los tráficos marítimos. Este puerto inicial se fue acomodando a las necesidades de los tiempos hasta que se acomete una mejora e incremento de las instalaciones portuarias con la ampliación de la dársena del puerto interior, en el año 1984, debido a la creciente demanda de nuevos tráficos.



Figura 4. Vista panorámica del Puerto interior de Ferrol donde, actualmente, los buques realizan las maniobras para la carga y descarga de mercancías. El círculo rojo indica el puerto de Curuxeiras

Fuente: Imagen extraída de la web oficial de la Autoridad Portuaria de Ferrol.

Enlace: <https://www.apfsc.com/puerto-de-ferrol/infraestructuras/puerto-interior/>

Con esta nueva dársena interior ferrolana y futuras ampliaciones realizadas hasta el año 2000, como el *Muelle Fernández Ladreda*, el puerto interior adquiere claramente otra dimensión operativa al aumentar su superficie de atraque y dotarlo de diferentes servicios imprescindibles para un trasiego de mercancías fluido.

Todo este acondicionamiento tiene una respuesta directa en los años posteriores donde se aprecia un incremento significativo de la actividad en el tráfico de graneles sólidos, aunque, en general, todo tipo de mercancías ven incrementadas su presencia con esta ampliación pudiendo, así, desarrollar la actividad propia de un puerto multipropósito.

En este sentido, los últimos años, uno de sus muelles ha sido también utilizado como puerto de atraque para trasatlánticos fletados por diferentes operadores turísticos, abriendo nuevas áreas de negocio.

A continuación, en la **Tabla 1**, se puede apreciar claramente el incremento de tráficos basados en los graneles sólidos una vez la nueva dársena ferrolana, también llamada “Muelle Carbonero”, estuvo operativa.

Año	Autoridad Portuaria	Graneles Líquidos	Graneles Sólidos	Mercancía General	Pesca Fresca	Avitua- Ilamiento	Tráfico Local	TOTAL TRAFICO	TEUS	Buques
2009	Ferrol-S. Cibrao	2.401.948	9.268.088	562.554	208	17.578	1.499	12.251.873	401	1.088
2008	Ferrol-S. Cibrao	2.224.753	9.781.089	824.495	174	26.302	3.071	12.859.884	499	1.260
2007	Ferrol-S. Cibrao	1.478.064	8.726.704	833.760	120	21.667	75	11.060.390	8.244	1.265
2006	Ferrol-S. Cibrao	936.920	8.709.257	557.720	159	23.520	269	10.227.845	1.249	1.117
2005	Ferrol-S. Cibrao	822.346	8.289.621	566.570	321	16.122	9.934	9.704.914	126	1.063
2004	Ferrol-S. Cibrao	819.147	8.609.035	456.052	210	20.320	26	9.904.790	51	951
2003	Ferrol-S. Cibrao	893.440	7.595.784	375.545	104	25.319	175.091	9.065.283	58	907
2002	Ferrol-S. Cibrao	1.108.560	7.626.424	492.427	151	18.270	274	9.246.106	64	989
2001	Ferrol-S. Cibrao	728.049	7.371.977	611.276	277	16.537	337	8.728.453	39	1.029
2000	Ferrol-S. Cibrao	822.623	7.045.159	588.313	147	32.213	10.142	8.498.597	63	1.015
1999	Ferrol-S. Cibrao	896.042	7.137.385	403.566	348	24.910	31.733	8.493.984	106	993
1998	Ferrol-S. Cibrao	721.125	6.948.446	354.863	608	26.950	716	8.052.708	97	1.051
1997	Ferrol-S. Cibrao	704.634	6.285.152	320.183	762	14.580	2	7.325.313	592	985
1996	Ferrol-S. Cibrao	548.415	6.362.331	276.625	906	9.805	0	7.198.082	97	1.015
1995	Ferrol-S. Cibrao	495.145	6.103.812	273.705	656	22.786	0	6.896.104	53	994
1994	Ferrol-S. Cibrao	451.075	5.112.844	262.118	866	22.508	1.297	5.850.708	0	926
1993	Ferrol-S. Cibrao	364.564	4.204.948	251.469	858	12.117	249	4.834.205	0	828
1992	Ferrol-S. Cibrao	271.589	4.210.077	345.091	1.205	25.667	195	4.853.824	32	892
1991	Ferrol-S. Cibrao	29.003	1.279.315	195.140	1.351	29.185	1.204	1.535.198	0	521
1990	Ferrol-S. Cibrao	45.677	973.781	223.160	1.097	33.511	535	1.277.761	0	504
1989	Ferrol-S. Cibrao	31.978	742.798	108.257	1.338	17.994	2.480	904.845	74	432
1988	Ferrol-S. Cibrao	80.350	755.381	137.558	1.490	30.787	230	1.005.796	0	417
1987	Ferrol-S. Cibrao	30.563	745.798	236.084	1.117	25.909	668	1.040.139	0	503
1986	Ferrol-S. Cibrao	12.598	668.645	178.478	1.002	28.147	150	889.020	0	475
1985	Ferrol-S. Cibrao	30.958	780.783	315.179	1.129	37.199	0	1.165.248	0	522
1984	Ferrol-S. Cibrao	32.440	950.476	233.649	1.201	50.273	361	1.288.400	27	483

Tabla 1. Estadística histórica desde el año 1984 hasta el año 2009. En la columna señalada en rojo, referente a los graneles sólidos, se aprecia el claro incremento producido en este tipo de mercancías a partir del año 1992.

Fuente: Puertos del Estado.

Web: http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/estadistica_Historicas.aspx

Ante la falta de líneas de transporte marítimo abiertas en el Norte de España basadas en el tráfico de contenedores y debido a la buena situación geográfica junto a la necesidad de descongestionar los grandes puertos europeos se proyecta el desarrollo de un nuevo puerto. Se programan, por tanto, las demandas futuras a las que debe responder el **Puerto Exterior de Ferrol** ofreciendo una variedad de respuestas ajustadas a las necesidades del transporte marítimo y alineadas, o en paralelo, al desarrollo de la ciudad capaces de proporcionar alternativas sostenibles revirtiendo la situación de profunda crisis generada por el desmantelamiento de la industria naval.

Para mayor abundamiento, según el Plan Director fijado para 2025, habría un problema en las instalaciones portuarias interiores de Ferrol al generalizarse el tráfico marítimo internacional basado en el transporte de contenedores en un futuro próximo. Por ello, se decide la construcción de un Puerto Exterior diseñado para buques de hasta 6000 TEU (*Twenty-foot Equivalent Unit*), es decir, en base al proyecto propuesto para su ejecución podría albergar hasta buques contenedores superiores a los 300 metros de eslora según diferentes simulaciones numéricas analizadas para su explotación.

Tras diferentes estudios, proyecciones económicas, simulaciones climatológicas y de tráficos marítimos se decide acometer las obras a principios del Siglo XXI tras aprobación del presupuesto que se irá inyectando en diferentes fases. El entorno escogido es en la entrada de la Ría de Ferrol, en el llamado Cabo Prioriño. En la **Figura 5** se presenta este Puerto Exterior en la bocana de la Ría y que será objeto de análisis en este TFM.



Figura 5. Imagen panorámica del Puerto Exterior de Ferrol proyectado para atender altas capacidades de mercancías contenerizadas. Actualmente están en construcción los accesos ferroviarios que comunican las dos dársenas, externa e interna. El Puerto Exterior se sitúa en la pared Norte de la bocana de la Ría de Ferrol, protegido de los vientos del Nordés predominantes en la costa Ártabra.

Fuente: Google Images.

En los siguientes capítulos de este trabajo se proyecta una modernización adecuada a la normativa vigente aplicable en estas infraestructuras marítimas, y fijada en los programas Marco sobre autoconsumo, eficiencia energética y generación distribuida a las que están sujetas todas las instalaciones portuarias y Puertos del Estado. Una vez puesto en valor el recorrido histórico de este puerto ferrolano, su importancia para el desarrollo de la comarca y la necesidad competitiva de adaptarlo a los nuevos tiempos se realiza, en el siguiente apartado, una aproximación a los distintos acuerdos y normativas aplicables.

2 MARCO CONTEXTUAL

Las instalaciones portuarias han sido a lo largo de la historia las principales puertas de expansión comercial en los países costeros, convirtiéndose así, en enclaves económicos estratégicos en las distintas épocas. En la actualidad, el cambio de paradigma en la industria desde diferentes aspectos relacionados con el internet de las cosas, robotización, la eficiencia energética, la mejora en logística o la introducción de energías alternativas, entre otros, se han convertido en una prioridad programática, y por tanto, objeto de un estudio técnico y legislativo profundo para adecuarse a las nuevas políticas internacionales que permitan alcanzar una mejor gestión, eficiencia y sostenibilidad en multitud de procesos diarios.

Por ello, la Comisión Europea, en su estrategia por desarrollar e impulsar medidas de contrapeso ante las altas exigencias energéticas y ambientales demandadas por la constante *Globalización* -o asociadas al necesario posicionamiento del tejido empresarial en las llamadas *Economías de Escala*-, sitúa al transporte marítimo en uno de los pilares fundamentales de sus políticas, instando así, a los Estados miembros, a seguir el plan marco -*Blue Growth*- para la reestructuración sostenible, a largo plazo, de los sectores marítimo y marino en su búsqueda por el incremento de la competitividad a medida que se reduce la contaminación marina y las emisiones originadas por el transporte marítimo.

En este sentido, las energías limpias permiten mejorar la eficiencia alcanzando valores de autosuficiencia más elevados o la completa autonomía energética, desplegando una gestión del entorno ambiental más amigable y reduciendo la emisión de CO₂. Existen diferentes acuerdos “no legalizados”, por ejemplo, el desarrollado en el Programa marco -*Our Ocean*- de la Comisión Europea y consensuado en la *Cumbre de Malta* en 2017, en donde los Estados miembros fijaron una hoja de ruta indicada en la **Figura 6** siguiente;



Figura 6. Líneas maestras por desarrollar con los compromisos asumidos por los Estados miembros y diferentes organizaciones privadas en la Cumbre de Malta en 2017.

Fuente: <https://ourocean2017.org/es/compromisos-de-our-ocean>

A modo de ejemplo, el **Puerto de Vigo**⁴ se comprometió a “reducir un 30% las emisiones de CO₂, NO_x y SO_x en sus entornos portuarios y alcanzar un 3% de autosuficiencia energética en sus puertos”. En una línea de actuación similar la **Cámara de Navegación Internacional**⁵ se comprometió a “reducir las emisiones de CO₂ por tonelada/km al menos un 20 % de aquí a 2022, en comparación con 2008”.

Todas estas iniciativas, y acuerdos, buscan un descenso de porcentajes significativos de CO₂ -entorno al 20-30%- en las instalaciones portuarias, según el Documento EU COM(2013) Final “Integración de las emisiones procedentes del transporte marítimo en las políticas de reducción de gases de efecto invernadero de la UE”, estando asociadas a los planes europeos contra el cambio climático recogidos en sus directivas de **Transición Energética** (Directiva 2010/31/UE y Directiva 2012/27/UE), entre otras resoluciones.

Los puertos, en general, siempre han ejercido una importante función tractora al generar innumerables oportunidades económicas con su actividad en las zonas implicadas, en base a esto, distintas autoridades practican políticas, legislan o realizan intervenciones financieras encaminadas a dinamizar las exportaciones y el intercambio comercial entre países, captando nuevos socios u operadores, con el fin de fijar una red empresarial e intermodal, sólida, entorno al transporte marítimo debido a su alto potencial pues “representa el 80% del total en el Comercio Internacional de Mercancías”, según la UNCTAD. (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo).

Esta apertura a los nuevos mercados cabe mencionar, genera otro efecto dinamizador en el intercambio de la riqueza cultural favoreciendo otros sectores clave como el turístico.

Las Administración y distintos operadores privados, implicados en este sector, se están viendo obligados a modernizar las instalaciones portuarias, las conexiones terrestres o infraestructuras asociadas a su funcionamiento acometiendo cambios profundos en su organización, en plazos muy cortos de tiempo, adaptándose así a las nuevas normativas, por ejemplo, las referidas a la gestión de la Eficiencia Energética. Un posicionamiento rápido en los mercados internacionales exige también cierta flexibilidad en la incorporación de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), básicas para asegurar una mejor gestión en el procesamiento de datos o permitir diferentes actuaciones remotas a través de un sistema de control distribuido reduciendo los costes logísticos e incrementando la eficacia en la toma de decisiones, en diferentes áreas, repercutiendo finalmente en el conjunto de la organización por sinergia.

⁴**Puerto de Vigo**: compromiso alcanzado por dicha institución en la Cumbre de Malta en 2017, datos extraídos del documento original “Compromisos OUR OCEAN 2017”, página 76.

Fuente: https://ourocean2017.org/sites/default/files/ooc-2017-list-of-commitments_es.pdf

⁵**Cámara de Navegación Internacional**: compromiso alcanzado por dicha institución en la Cumbre de Malta en 2017, datos extraídos del documento original “Compromisos OUR OCEAN 2017”, página 74.

Fuente: https://ourocean2017.org/sites/default/files/ooc-2017-list-of-commitments_es.pdf

De acuerdo con esta reestructuración global se enmarca la *Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible* de la ONU (Organización de Naciones Unidas) donde se establecen una serie de objetivos globales, de aquí a 15 años, con la finalidad de asentar en los diferentes países las líneas maestras e infraestructuras necesarias para mitigar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todas las sociedades.

En la **Figura 7** aparecen reflejados los objetivos fijados en el “Acuerdo de París” sobre el calentamiento global y siendo suscritos por más de 150 países en 2015, en la llamada Agenda 2030.



Figura 7. La imagen muestra el total de los 17 objetivos fijados en el Acuerdo de París (Agenda 2030), en el marco de la estrategia de la ONU para un Desarrollo Sostenible mundial con entrada en vigor el 1 de enero de 2016.

Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Siguiendo con esta reflexión, la Comisión Europea emitió un documento⁶ a principios del año 2019 sobre el impulso de una Europa sostenible reflejando ciertos indicadores de relevancia derivados por el impacto de las energías renovables en el desarrollo económico, o laboral, representando una clara oportunidad para el crecimiento y la fijación de empleo con alto valor añadido. La preocupación en todo tipo de organizaciones políticas, civiles, científicas, etc. se ha intensificado por la degradación paulatina de los hábitats naturales, el calentamiento global, deshielo polar, límite de recursos entre otros aspectos de relevancia instalados en el debate internacional.

⁶documento: “Documento de Reflexión. Hacia una Europa sostenible en 2030”. COM (2019) 22 final. Bruselas 2019. Enlace: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/ES/COM-2019-22-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>

Desde una visión estratégica integral, todos los acuerdos están orientados a desarrollar una política alternativa a la *Economía Lineal* actual y caracterizada por la infinidad de recursos que se desaprovechan en todos los procesos de la cadena de consumo desde su extracción, fabricación, distribución y gestión final sin llegar a obtener todo su potencial e imponiendo altas exigencias para el planeta. Ante toda esta multitud de retos que atraviesa la humanidad, donde muchos de los códigos establecidos están cambiando rápidamente, surge la *Economía Circular* que focaliza realmente en los problemas derivados de la *Economía Lineal* permitiendo realizar una gestión mucho más eficaz y sostenible (véase **Figura 8**) de las materias primas, de sus procesos de transformación y un mejor aprovechamiento de los desechos finales que ofrecen un sinfín de oportunidades de negocio como la generación de energía eléctrica limpia. Se establecen así pautas de conducta, o conciencia, y que implican a todos los agentes de la sociedad, integradas en líneas de actuación desde el compromiso con la responsabilidad ambiental o cívica, estableciendo un ensayo de Ingeniería Social en la persecución del interés común.



Figura 8. Diagrama orientativo con todos los procesos sufridos durante la transformación de las materias primas cerrando el círculo de gestión de los productos minimizando la generación de desechos residuales al focalizar los esfuerzos en la recogida y reciclado de los mismos favoreciendo la Economía circular.

Fuente: Documento de reflexión (*COM(2019) 22 final*) de la Comisión Europea, Hacia una Europa sostenible en el 2030. Enlace: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/ES/COM-2019-22-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>

Uno de los pilares en esta nueva organización de la Economía estará enfocado en la gestión del “plástico”. Una alta especialización en la reutilización de este material, y derivados, impide el aumento de la producción a partir de nuevas materias primas, minimizando los impactos ambientales. Elevar la eficiencia en los procesos de reciclaje sobre los envases de plásticos, subproductos, residuos u otros derivados precisa una serie

de actuaciones coordinadas para contener el gran aporte que soporta la naturaleza de una alta cantidad de elementos muy perjudiciales para los ecosistemas, la biodiversidad o la cadena trófica. La Comisión Europea, proyectando un desarrollo sostenible a largo plazo e implementando una gestión responsable que gira en torno a la Economía Circular que busca arrastrar a todas las capas implicadas en la estructura social, publicó la Directiva (UE) 2018/852 relativa a los envases y residuos de envases. La unificación de todos estos criterios que permita una acción conjunta eficiente empuja a los diferentes Estados a trasponer en sus legislaciones internas estas medidas, siendo los puertos e instalaciones portuarias una prioridad.

Llegados a esta parte de la introducción es preciso entrar un poco en materia sobre qué versará este trabajo *Fin de Máster*. Para ello se realizará una breve explicación centrando el tema en el planteamiento propuesto en el Título de este trabajo al desarrollar por encima el concepto de “Generación distribuida”, pues está muy presente en el desarrollo de las economías internacionales para el aumento de la Eficiencia Energética y la paulatina integración de las energías limpias en la red eléctrica.

Una red inteligente -Smartgrid- asociada a un sistema de generación distribuida, indicada en la **Figura 9**, es una red de electricidad renovada asociada a un sistema digital bidireccional de comunicación. Para su correcto funcionamiento, son necesarios además unos sistemas de control y de medición inteligentes. Uno de los mayores retos de los países, por tanto, es la modernización de sus infraestructuras energéticas adaptando sus redes y sistemas de suministro eléctrico a las nuevas tecnologías (TIC), facilitando la conexión entre proveedor y consumidor en cada tipo de operación energética requerida.

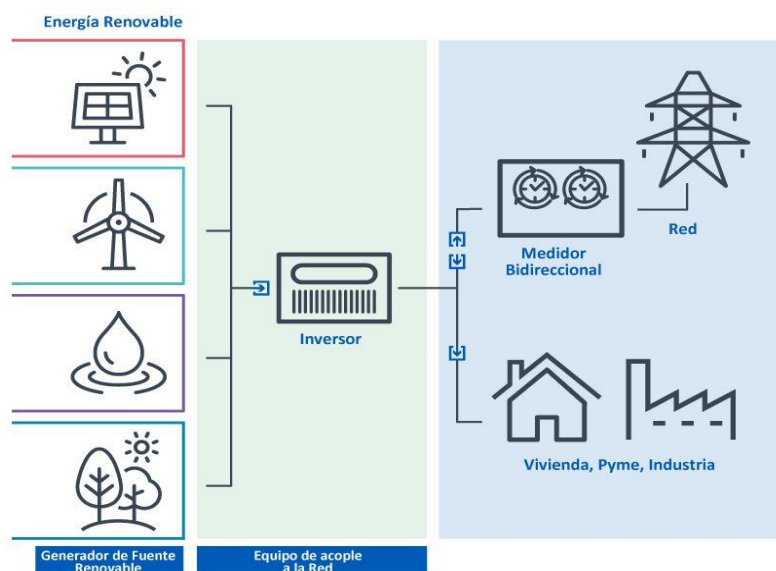


Figura 9. Ejemplo básico para desarrollar un sistema de generación distribuida organizado a partir de la integración de las energías renovables, equipos de medición bidireccional y conectado a Red eléctrica.

Fuente: Imagen obtenida de la página web

Enlace: <https://saenergia.com>

Con este modelo energético es proyectada una gestión activa en todo momento de la demanda optimizando los consumos que permiten reducir los costes de facturas y aumentar la eficiencia energética. Además, es importante indicar, en países con fuerte dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, como puede ser España, la generación distribuida permite una mayor autosuficiencia o autonomía.

Está acreditado la implementación de sistemas de generación distribuida impulsa la presencia de energías alternativas y el desarrollo de las redes de transporte. El consumidor pasa a ser la figura central del sistema energético, incluso produciendo y gestionando su propia energía destinándola a diferentes usos como la venta.

Las fuertes exigencias en el ámbito de la innovación o en la implementación de estas microrredes condicionan el desarrollo de estos sistemas descentralizados al acercar el punto de generación al de consumo, emergiendo la figura de **Prosumidor** (*misma figura para la actividad de productor y consumidor*), están convirtiéndose actualmente en las barreras para alcanzar cotas más altas de tecnificación en este sector.

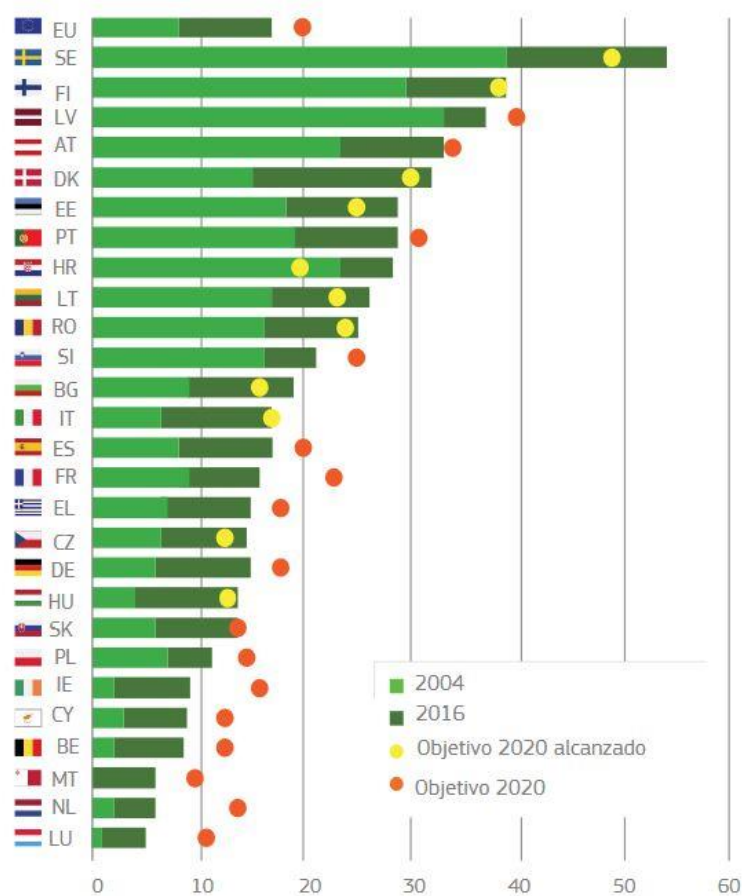
Aunque con los dispositivos y sistemas actuales, la reducción de pérdidas en la red eléctrica, o tiempos, ya suponen ratios de eficiencia importantes mejorando la calidad, la fiabilidad y los costes asociados al optimizar la demanda eléctrica.

La modernización de la infraestructura de los Estados está encaminada a implementar muchas de las medidas hasta ahora mencionadas para mejorar el balance energético en las instalaciones públicas de la Administración. La integración arquitectónica de sistemas renovables para obtener mayor autosuficiencia, el uso de baterías para una mejor optimización de la energía, mejorar la eficiencia o favorecer la independencia de la red eléctrica necesita una actuación urgente pues el Mercado de la Energía podría verse afectado en su crecimiento ante la falta de previsión en la modernización y adecuación de estos sistemas, a las nuevas exigencias, y frenar la incorporación de las energías renovables.

A continuación, en la **Figura 10**, se indica una gráfica con el incremento, en cada país, de las energías alternativas inyectadas en el *Mix eléctrico* y activado tras los acuerdos establecidos por la Comisión Europea en la Agenda 2020, fijando una incorporación del 20% de este tipo de energías en la red eléctrica nacional como meta para los diferentes países y teniendo en consideración diferentes aspectos como su punto de partida tecnológico o niveles de implementación alcanzados anteriormente en el uso de energías alternativas. Como ya se comentó en este trabajo este tipo de energía renovable es uno de los pilares en los que se basa la generación distribuida y eficiencia energética imponiéndose a los actuales modelos de gestión energética a partir de los combustibles fósiles, por tanto, los incentivos fiscales de los Estados para su desarrollo serán clave.

En 2016 la energía renovable representó el 17 % de la energía consumida en la UE, en pos del objetivo del 20 % en 2020

Como % del consumo final bruto de energía



Fuente: Eurostat.

Figura 10. Representación gráfica indicando el nivel de compromiso y cumplimiento de los objetivos fijados por los Estados miembros y enfrentados con la media europea. Destaca Suecia por encima de todos con casi un 50% de energías de origen renovable implementadas.

Fuente: Imagen extraída del documento de la Comisión Europea “Hacia una Europa sostenible”. Página 26. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/ES/COM-2019-22-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>

Tras estos antecedentes y su aproximación al contexto actual sobre las diferentes iniciativas, pactos u objetivos fijados a nivel internacional, se expondrá a lo largo de este trabajo en qué consiste la adaptación del Puerto Exterior de Ferrol a la nueva realidad internacional basada en las nuevas tecnologías “Smart” junto a la integración de energías renovables que permiten el fomento de este tipo de microrredes descentralizadas. Esta propuesta se hará desde una realidad global en la medida de lo posible analizando alternativas capaces de mantener la competitividad en un marco futuro de desarrollo portuario -muy diferente al actual- donde la diversificación, innovación, la automatización de procesos portuarios junto a la mejora logística terrestre operará como un todo maximizando la gestión y el almacenamiento de stocks reduciendo los costes de operación sobre las áreas de influencia portuaria o “*hinterland*”.

Esta planificación debe ser liderada por la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao y los órganos competentes implicados no sólo en la transformación portuaria sino en aquéllos que deben asegurar su armonización con el entorno natural, la ciudad o áreas de población afectadas. Desde una visión crítica se analizará el actual plan de desarrollo encaminado por las diferentes administraciones públicas con cierto rechazo social por las distintas actuaciones realizadas las últimas décadas en la ensenada ferrolana, muy supeditada a intereses externos.

Cabe referenciar en este sentido el informe⁷ realizado por el profesor *Fernando González Laxe* donde se cita; *“Los puertos recuperan tráficos, se especializan, conectan y se integran en redes logísticas; mejoran sus dotaciones en infraestructuras y equipamientos; se consolidan financieramente y logran buenos niveles de eficiencia. En sentido contrario, aquellos puertos con débiles conexiones, precios excesivamente altos, dotaciones portuarias obsoletas y caras, van alejándose de los niveles medios de eficiencia y, por tanto, serán cada vez menos competitivos de cara a afrontar una realidad que es global, abierta y llena de rivalidad. El puerto de Ferrol ha tomado un rumbo hacia dos objetivos muy dinámicos: a) consolidación como puerto especializado en graneles y b) un puerto hub de contenedores. Para ello, diseña la configuración del ámbito portuario en varios niveles, acordes con su configuración geográfica.”* [...] *“La estructura de sus tráficos muestra una gran dependencia de los graneles sólidos (carbón), una relevante aportación de graneles líquidos (gas) y una incipiente apuesta por los contenedores, por medio de la concesión de una terminal en el nuevo muelle de Caneliñas.”* [...] *“La apuesta por la conectividad y su inserción en las cadenas logísticas internacionales es más reciente. La carencia de una especialización en los tráficos de mercancías ha sido el lastre de la gestión de los últimos años. Ahora, con el nuevo diseño de apuesta por conformar un hub de tamaño medio, situado entre los puertos de Nantes (Francia) y Sines (Portugal), con orientaciones a los puertos latinoamericanos y africanos, junto a las oportunidades que se generarán a partir de la apertura del nuevo canal de Panamá, harán del puerto de Ferrol un magnifico enclave portuario. Los resultados de investigaciones, efectuadas desde la Universidade da Coruña ponen de manifiesto estas consideraciones. Así, se cita textualmente, << dentro del esquema de rutas..[...].”*

A la vista de lo citado en este párrafo, el Puerto Exterior de Ferrol se enfoca a la consolidación de los graneles sólidos y se pone en marcha una terminal de tamaño medio de mercancía contenerizada a partir de fijar rutas menores que permitan una expansión por su buena situación geográfica en la nueva configuración de fletes internacionales. Es aquí donde radica la propuesta disruptiva de este TFM y una clara apuesta por economías más sostenibles intentando romper la dependencia al tráfico de graneles sólidos con el paso del tiempo por su escaso valor económico e impacto social en el conjunto de la comarca.

⁷**informe:** González Laxe, Fernando. 2012. Capítulo VIII: El posicionamiento del puerto de Ferrol. Páginas 110 - 111. Título: “Los cambios en los modelos portuarios: el futuro del puerto de Ferrol”.

Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61912822.pdf>

Hasta la fecha, según las actuaciones realizadas por la Autoridad Portuaria de Ferrol y distintos gobiernos del Estado que están implicados en las políticas ejecutadas, se vislumbra principalmente una política en paliar las carencias de infraestructuras de un grupo muy reducido de empresas, lideradas por Endesa y Megasa⁸, desarrollando una estrategia para dar soporte a su alta demanda de graneles sólidos. Otra muestra de esta dependencia es la empresa Alcoa en San Cibrao según revela en su Anejo⁹, sobre la demanda, el Ministerio de Fomento en la siguiente cita “El hecho de que más del 98% de la mercancía portuaria del puerto de San Cibrao se quede en la propia provincia de Lugo es debido a que la gran mayoría de las importaciones que recibe el puerto (y que significa el 93% de la mercancía portuaria total transportada) es alúmina para la fábrica de aluminio de Alcoa – Inesp”.

Este tipo de planificación estatal desde una lógica parcial y privada juega en detrimento de impulsar una red industrial o comercial competitiva en la cornisa Norte. Los resultados arrojados en los antecedentes históricos tras las políticas ensayadas exigen una crítica a este tipo de planificación con escasa altura de miras y sin horizontes alternativos claros, desde una perspectiva total del entorno sujeto a su influencia. Causando así, graves problemas en el desarrollo de cualquier ciudad y poniendo en peligro otros sectores estratégicos. Ya se comentó en párrafos anteriores la dependencia de los graneles sólidos es elevada en la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao y así se aprecia en la **Figura 11**.

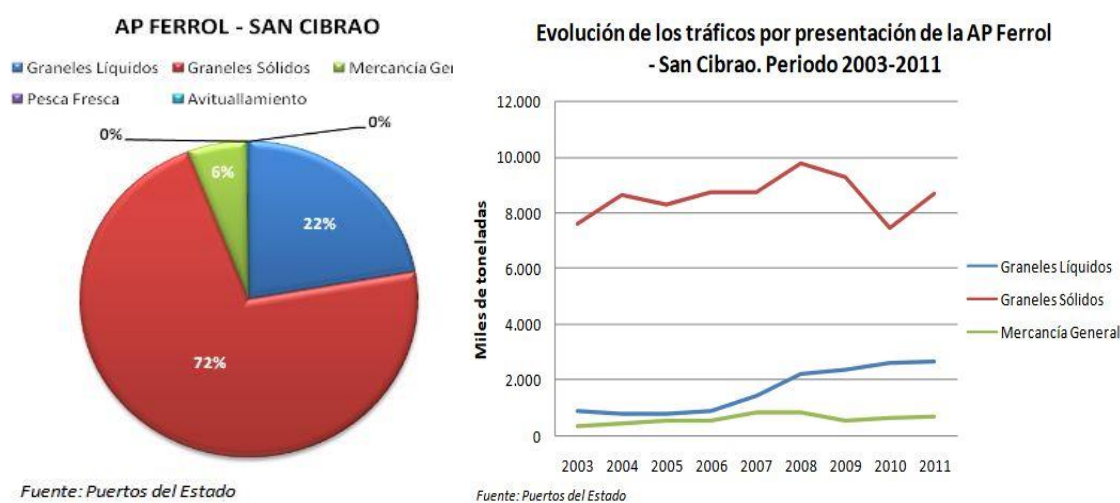


Figura 11. Gráfica con la proporción expresada en % sobre el peso de cada mercancía en el balance anual. Los graneles sólidos representan un 75% del total de operaciones. También se muestra la tendencia de evolución en el tiempo por miles de toneladas.

Fuente: Ministerio de Fomento. Puertos del Estado

Web: https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/anejo_03_demanda_rev.pdf

⁸ENDESA y MEGASA. Empresas responsables del alto porcentaje de descargas de graneles sólidos en el Puerto de Ferrol y base de la organización portuaria actual. Documento: Anejo 4. Título Análisis de Instalaciones actuales y previstas: Estudio oferta-demanda. Enlace del documento Web: Ayuntamiento de Ferrol.

http://www.ferrol.es/archivos/documentos/urbanismo/EI_AccesoPEX_Fe/PDF%20Fase%20C/1Memoria%20y%20Anejos/2Anejos/Anejo%20N%C2%BA4%20Análisis%20de%20Instalaciones%20Actuales%20y%20Previstas.pdf

⁹Anejo: Ministerio de Fomento. “ESTUDIO INFORMATIVO DEL ACCESO FERROVIARIO AL PUERTO EXTERIOR DE A CORUÑA EN PUNTA LANGOSTEIRA”. Página 20. Enlace del documento web: Ministerio de Fomento.

https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/anejo_03_demanda_rev.pdf

Por todo ello, se intentará reformular el proyecto ejecutado desde una visión única que permita al Puerto Exterior actuar como motor del tejido industrial en la comarca ejerciendo su función de fuerza tractora sobre la economía, comercio e industria bajo unos parámetros más acordes al desarrollo sostenible a largo plazo bajo un planteamiento racional del aprovechamiento de los recursos naturales. En este sentido, las instalaciones actuales, futuras y las que están ejecutándose para mejorar el transporte en ferrocarril serán reorganizadas atendiendo a su eficacia para optar a un “Smart Port” en condiciones.

La importancia del camino elegido por un Puerto para impulsar su crecimiento está también asociado a su influencia en la zona donde se asienta determinando muchas veces su fisonomía o actividad. Por tanto, este tipo de actuaciones tan importantes para el futuro de una zona geográfica también deben ser competencia de más actores implicados y someterse cada actuación a un mayor consenso al actual.

Este tipo de decisiones suelen ser unilaterales condicionadas por el bajo presupuesto, tomándose de manera aislada a corto plazo y sin tener en cuenta otros aspectos de relevancia (basados en la movilidad o en el efecto tractor) en el desarrollo de las ciudades sostenibles.

En este sentido el Puerto de Villagarcía representa un ejemplo de esta transformación a la hora de cambiar su línea de negocio, véase **Figura 12**, al invertir la tendencia en su tráfico de mercancías.

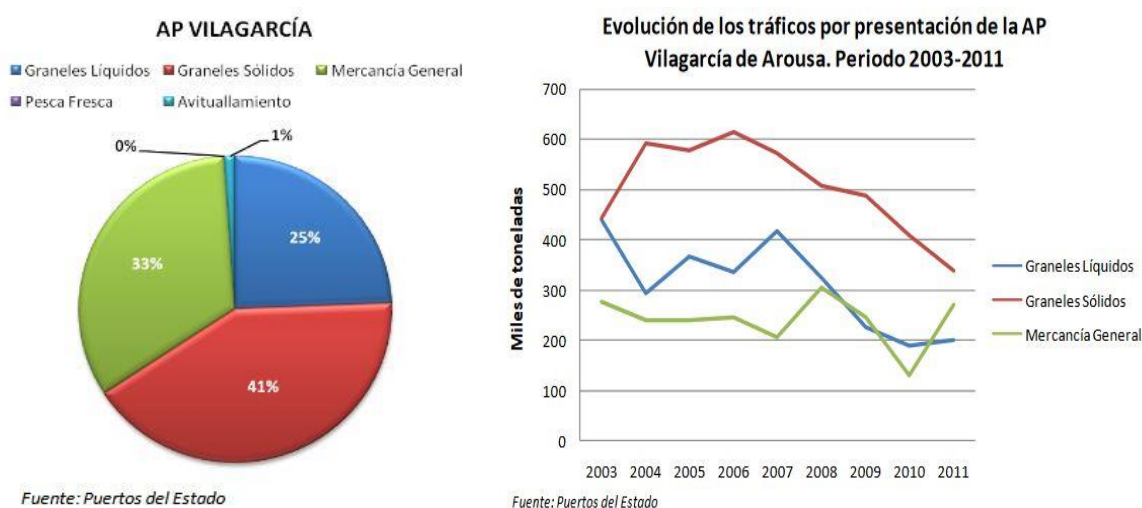


Figura 12. Gráfica con la proporción de mercancías según su naturaleza expresada en porcentaje para la Autoridad Portuaria de Vilagarcía apreciando un reparto más equitativo en el tipo de tráficos.

A su lado puede observarse la fuerte bajada sufrida en los graneles sólidos y líquidos hasta el año 2011.

Fuente: Ministerio de Fomento. Puertos del Estado.

Enlace: https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/anejo_03_demanda_rev.pdf

Si se analiza el panorama presente y la forma de evolución del Puerto de Vilagarcía se hace evidente su especialización en mercancías generales ha dado un impulso a la competitividad, según se refleja en los datos aportados por la propia Autoridad Portuaria en su página web e indicados en la **Figura 13**. De igual modo, para entender esta evolución en su modelo de negocio junto a los beneficios asociados la A.P de Vilagarcía indica en su página web “En la comparación entre toneladas y valor añadido la mercancía general, que supuso el 47% de las toneladas movidas por el puerto, representa el 65,5% del valor. Los graneles sólidos, que en volumen suman un 29%, aportan un 5,1% del valor. Los graneles líquidos fueron un 16,5% del total de mercancías por número de toneladas, y representaron el 9,2% del valor total. Finalmente, el tránsito terrestre es la categoría a la que corresponde el 7,5% de las toneladas movidas, pero en valor esta cifra se incrementa hasta el 20,2%.”

Grupo Mercancías	Toneladas	% sobre el total	Valor en euros	% sobre el total
Mercancía General	529.027	47,0 %	626.777.290	65,5 %
Graneles Sólidos	320.553	29,0 %	48.589.842	5,1 %
Graneles Líquidos	184.161	16,5 %	88.217.910	9,2 %
Tráfico Terrestre	82.304	7,5 %	193.190.268	20,2 %

Figura 13. Tabla donde se indica el volumen de negocio que representa los tipos de mercancías operados en el Puerto de Vilagarcía en el año 2018. Si se compara con la Figura 12 puede observarse el incremento sostenido de la Mercancía General en los últimos 7 años pasando del 33% al 47%. Esto se produce en paralelo con la bajada de los graneles sólidos del 47% al 29% y los graneles líquidos del 25% al 16,5%. Se observa también el alto valor generado en el tipo de Mercancía General alcanzado una diferencia considerable respecto al segundo tipo en toneladas.

Fuente: Autoridad Portuaria de Vilagarcía.

Enlace: <http://www.portovilagarcia.es/gl/publicacions/novas/252-el-puerto-de-vilagarcia-movio-en-2016-mercancias-por-valor-de-956-millones-de-euros-un-nuevo-maximo-anual.html>

Para una toma de decisiones solvente debe primar siempre la visión desde una perspectiva amplia que permita maximizar las múltiples sinergias que ofrece el entorno y su área de influencia en todo su conjunto. Un puerto inteligente busca maximizar los tiempos, costes, energía, infraestructuras y todo tipo de recursos implicados en sus operaciones diarias permitiéndole canalizar alternativas no planificadas en el diseño original para acometer el cambio de modelo de negocio sin convertirse en un proceso traumático.

Revertir el modelo de negocio del Puerto Exterior de Ferrol exige una infraestructura de transporte adecuada al implementar cualquier plan de sostenibilidad, puesto que, con los accesos actuales -o futuros- será poco atractivo o competitivo en los nuevos escenarios.

2.1 Marco legal español

La legislación nacional e internacional tiene un peso muy importante para un buen desempeño en la gestión de la eficiencia. Muchos de los acuerdos o normativas internacionales son traspuestas en las legislaciones nacionales de los Estados miembros para proceder de una manera unitaria en la reducción de gases contaminantes, o consumos de combustibles fósiles, de acuerdo con las políticas de lucha contra el cambio climático y desarrollar modelos de sociedad sin comprometer el futuro de las próximas generaciones.

La legislación española sobre materia de eficiencia energética, transporte y gestión de puertos viene fijada por las siguientes Directivas Europeas y leyes nacionales, entre otras:

Medidas Europeas

1. Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia en el uso final y los servicios energéticos.
2. Directiva 2010/31/CE sobre eficiencia energética de edificios.
3. Estrategia Europa 2020
 - Reducción de emisiones efecto invernadero 20%
 - Incrementar el uso de renovables 20%
 - Aumentar la eficiencia de instalaciones y uso de energía un 20%
4. Directiva 2012/27/UE sobre el fomento de la eficiencia energética

Medidas Nacionales

1. Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012.
2. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en los Edificios de la Administración General del Estado (PAEE-AGE).
3. Plan de Impulso a la Contratación de Servicios Energéticos.
4. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética para el periodo 2011-2020.
5. Ley 2/2011 de Economía Sostenible.
6. Plan de Energías Renovables 2011-2020.
7. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en el Transporte y la Vivienda, de aplicación al Ministerio de Fomento.
8. Real Decreto Legislativo 2/2011 o Ley de Puertos del Estado y Marina Mercante.
9. Real Decreto Ley 8/2014 para impulsar el crecimiento, competitividad y eficiencia.
10. Ley 14/2014 para la Navegación Marítima.

3 OBJETO Y ALCANCE

El **Objeto Principal** de este Trabajo Fin de Máster es planificar una red de Generación Distribuida en las instalaciones del Puerto Exterior de Ferrol permitiendo su autonomía energética a partir de una fuente de energía limpia y un sistema de acumulación.

Debido a las extraordinarias condiciones climáticas predominantes en las zonas costeras del Norte de España, siendo caracterizadas por la presencia de constantes vientos, se proyecta un sistema de generación eléctrica basado en la energía eólica. Se dimensionan los aerogeneradores que serán capaces de cubrir la demanda de consumo eléctrico permitiendo tener un excedente de energía y operar de forma aislada a la red.

Impulsar un Smart Port conlleva un alto efecto de arrastre en la economía facilitando nuevas oportunidades de negocio, una transición tecnológica capaz de generar puestos de trabajo hasta ahora no conocidos y desarrollando una estrategia portuaria sostenible con el entorno atrayendo turismo. Un Puerto Exterior competitivo debe comportarse con flexibilidad ante fluctuaciones de los Mercados facilitando una rápida adaptación.

El objetivo principal irá asociado a la consecución de una serie de objetivos específicos relacionados todos entre sí y enmarcados en una estrategia a largo plazo.

El **Alcance** plantea el estudio de diferentes medidas necesarias para contribuir en la Transición Energética en las instalaciones portuarias y transporte marítimo siguiendo con las directrices ministeriales, europeas o de la OMI. Los puertos, en general, son instalaciones con una alta demanda de electricidad en un régimen continuo de 24 horas en diferentes turnos para una correcta actividad.

Se requiere de un suministro de energía de calidad y fiable para cumplir con los tiempos que son de vital importancia a la hora de asegurar tráficos fluidos en el transporte marítimo. En la búsqueda de altas eficiencias para este tipo de instalaciones también es imprescindible un compromiso sólido para bajar los niveles de contaminación y emisiones mediante la clara apuesta por las fuentes de energía alternativas.

Alcanzar un liderato en el tráfico portuario, en un contexto futuro, implica poder interactuar con los diferentes agentes del sector, y con la ciudad, de una forma activa aumentando las áreas de influencia además de generar el mínimo impacto en el ecosistema natural buscando un cambio de paradigma al actual.

La gestión y optimización de todos los recursos, incluidos el tratamiento de desechos y contaminantes, marcarán la diferencia respecto a otros competidores directos además de impulsar industrias alternativas en su procesado.

3.1 Objetivos específicos

Los siguientes objetivos se basan en fijar diferentes propuestas para entender como acometer la transición hacia un modelo sostenible de desarrollo portuario paralelo a la ciudad y la Ría de Ferrol. Esto permitirá integrar las sinergias derivadas de los conceptos *Smart Port* y *Smart City* analizando todas las actuaciones a ejecutar desde un prisma global beneficiando al conjunto de la comarca.

Estos objetivos específicos buscan comprender, a través de diferentes propuestas desarrolladas durante el trabajo, la relación estrecha entre un sistema de generación distribuida con otras realidades complementarias necesarias para una correcta explotación portuaria y resumidas en los siguientes apartados:

- ✓ Propuesta con línea de mercancías en ferrocarril
- ✓ Propuesta con reorganización empresarial y logística
- ✓ Propuesta con recuperación de espacios portuarios y fachada marítima
- ✓ Propuesta con un sistema TIC (Smart Grid → Smart Port)
- ✓ Propuesta con un sistema de almacenamiento de energía
- ✓ Propuesta con un sistema de cogeneración de refuerzo
- ✓ Propuesta con servicios MARPOL
- ✓ Propuesta con transporte y servicio portuario sostenible
- ✓ Propuesta con generación a gran escala (Parque off-shore)

3.2 Alcance

Con este trabajo se busca principalmente convertir al Puerto Exterior de Ferrol en motor económico de la comarca al alcanzar un grado de especialización superior.

Para ello se proyectará una serie de actuaciones de manera generalista abordando la situación desde una perspectiva geográfica lo más amplia posible y focalizando de una manera más precisa en aquellas áreas energéticas de interés, relacionadas con la generación distribuida, en la dársena exterior a través de sistemas de medición o control digital.

Con los medios disponibles, y de una manera realista, se proyecta una serie de actuaciones conjuntas donde están implicados diferentes actores de la administración pública para su correcta consecución y mejorar su capacidad de interactuar con los

operadores marítimos o la propia ciudad. Se busca así mayor conectividad al implantar sistemas TIC y ofrecer una visión diferente a la emprendida en la actualidad en la comarca al estar inmersa en un aislamiento cada vez mayor por la falta de infraestructuras de transporte y planificaciones coherentes con el largo plazo, coartando su expansión al depender de los limitados accesos terrestres.

No se trata de profundizar en áreas tecnológicas que requieren de conocimientos más amplios para su implementación sino tener una visión del todo que permita integrar los máximos elementos posibles para aumentar la eficiencia, especialización y competitividad global de la comarca a partir del dimensionado de un parque eólico en el entorno del Puerto Exterior de Ferrol siendo un elemento tractor de todo el conjunto urbano.

En consecuencia, se exponen una serie de propuestas basadas en modelos portuarios de éxito y ya ejecutados en la actualidad, siendo el objetivo principal en este Trabajo Fin de Máster el desarrollo de un planteamiento similar a ellos, entorno a la generación distribuida en régimen de autoconsumo mediante el uso de energía eólica, principalmente, para cubrir la demanda eléctrica de las instalaciones del puerto exterior.

Para esta planificación se utiliza de referencia base el Puerto de Bilbao, donde hay instalados 5 generados de 2Mw cada uno, para una potencia máxima de 10 Mw que servirá de referencia al generar 17.000 Mwh/año y permitirá enmarcar al Puerto de Ferrol dentro de la ruta fijada en el *Libro Blanco* de la Comisión Europea¹⁰ sobre la necesidad de reducir la contaminación e impulsar los espacios portuarios junto a medios de transporte más ecológicos como el ferrocarril.

Estas propuestas y planteamientos están sujetos al ordenamiento¹¹ de los puertos establecido en el RD 2/2011.

El estudio queda limitado por falta de tiempo, de recursos técnicos o humanos para desarrollar un proyecto más específico que permita abordar todas las áreas implicadas y que serán expuestas a lo largo de este documento. Otras consideraciones de relevancia deben ser estudiadas, como la capacidad de inversión en las infraestructuras necesarias para acometer todas las iniciativas aquí indicadas, encajando con los planes de desarrollo de la comarca y de un Puerto que es considerado clave por su interés general, dependiendo directamente de la Administración del Estado.

¹⁰**Libro Blanco de la Comisión Europea.** Enlace al documento:

https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_es.pdf

¹¹**Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.** B.O.E. Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido.

4 DESARROLLO PORTUARIO

El desarrollo en todos los campos de la ciencia está sufriendo grandes transformaciones basadas en la robotización y conectividad. Los parámetros establecidos en el programa Industria 4.0 tiene como objeto incrementar los grados de automatización en todos los procesos industriales asociados al uso de las tecnologías digitales.

Las instalaciones portuarias siguen un desarrollo paralelo, según el programa Puertos 4.0, al introducir diferentes autómatas que permiten una mejor gestión de las operaciones en el trasiego de cargas y descargas optimizando todos los recursos disponibles para un correcto movimiento de mercancías con costes de operación reducidos. Se focaliza en la reducción de consumos, emisiones y aumento de la eficiencia a través de escenarios TIC.

En la **Figura 14** se muestra un esquema con los diferentes sectores afectados para exista una correcta sinergia entre los distintos potenciales de una ciudad, conectados a su zona portuaria, a través de una correcta planificación de la movilidad de las personas y las mercancías alcanzando la prosperidad a través de la gestión del transporte sostenible.

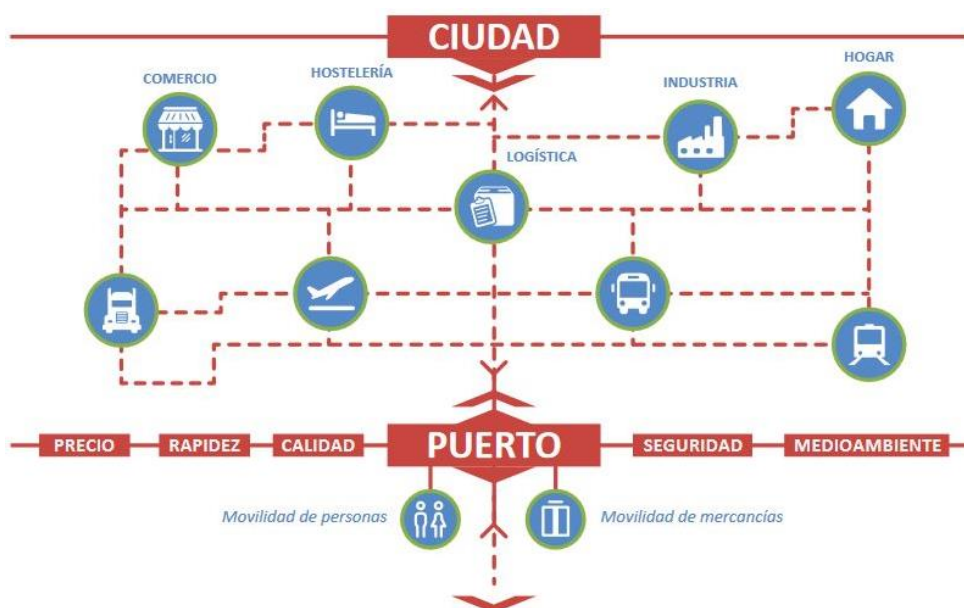


Figura 14. Esquema en forma de Diagrama de Flujo para lograr un desarrollo económico y social de toda la región a través de una gestión ordenada de la movilidad de las personas y mercancías.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao.

Enlace: http://www.puertos.es/Memorias_Anuales/2017/doc/Memoria%20Anual%202017%20AP%20Ferrol.pdf

Diferentes propuestas están siendo ensayadas en distintos puertos del mundo buscando mayor implicación de las ciudades para desarrollar las instalaciones portuarias con el fin de mejorar los flujos de comunicación entre ambos espacios y aumentar los índices de eficiencia energética. Muchas de estas actuaciones correctivas están siendo orientadas a la implementación de combustibles alternativos como el GNL, con sus servicios asociados, mejorando las instalaciones de tratamiento de residuos, apostando por las energías renovables, reduciendo niveles de contaminación, regenerando entornos naturales,

apostando por la especialización del transporte contenerizado, impulsando el transporte por ferrocarril hasta la integración de una gran variedad de sistemas de gestión basados en las tecnologías de comunicación bidireccional con multitud de sensores que permiten realizar de una manera más eficaz la toma de decisiones sobre los distintos procesos de la organización.

Según la UNTACD en su último informe¹² los puertos deben replantear su papel en la logística marítima mundial acometiendo una transición tecnológica y digital, tras reconocer el propio sector marítimo el incremento de la eficiencia de los puertos es crucial, para una buena planificación y el liderazgo portuario bajo los parámetros establecidos a nivel mundial con el Desarrollo Sostenible. Este organismo de vigilancia también prevé un crecimiento sostenido para los próximos años entorno al 4% en el comercio marítimo internacional como indica la **Figura 15**.

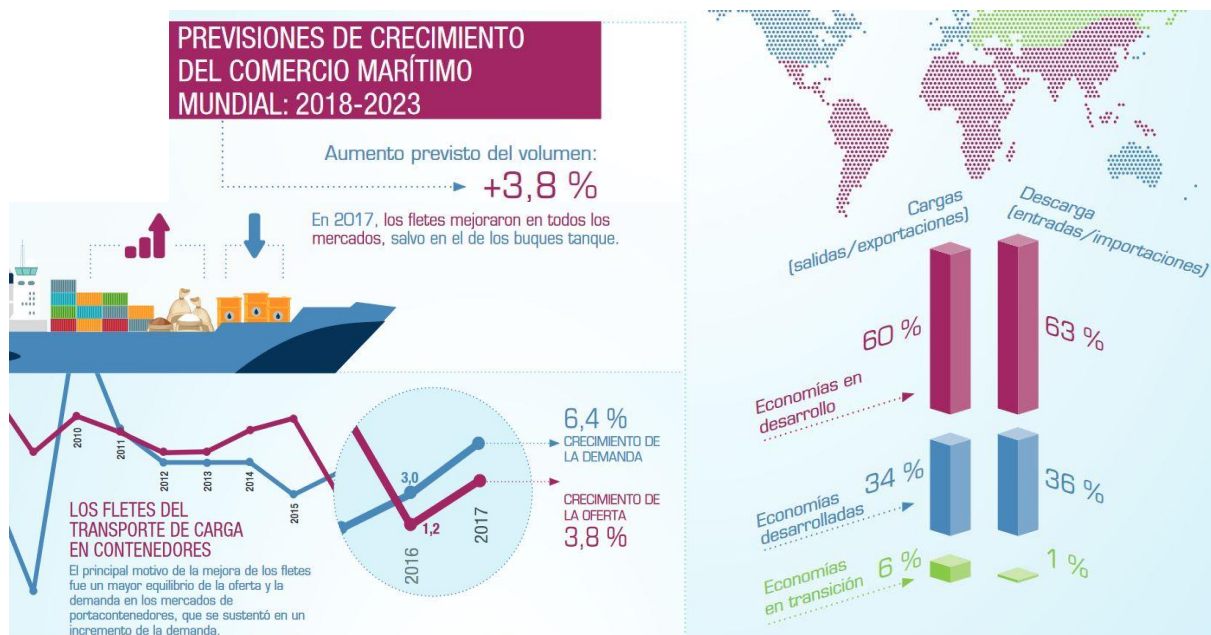


Figura 15. Imagen explicativa sobre el incremento del comercio marítimo y su impacto en las economías de los países en vías de desarrollo.

Fuente: UNTACD web.

Enlace: https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/rmt2018_es.pdf

Uno de los mayores retos a afrontar por los diferentes países de la Unión Europea, entre ellos España, es la adaptación a los nuevos escenarios que se están imponiendo en las rutas marítimas al demandar tráficos más rápidos, y, por tanto, mejores conexiones e infraestructuras terrestres. Hoy en día, en muchas ocasiones, contar con vías de alta capacidad de mercancías está siendo una de las principales barreras de entrada a los mercados, incluso, a los más próximos.

¹²informe: UNTACD (Naciones Unidas).2018. Capítulo: Puertos. Página 85. "Informe sobre el Transporte Marítimo".

La Unión Europea contempla en sus planes de desarrollo sostenible incrementar el uso del transporte por ferrocarril estableciendo un sistema con nodos logísticos de mercancías, relegando, poco a poco, al tráfico por carretera a un segundo plano allí donde sea posible.

Ante el aumento del tráfico de contenedores, indicado en la **Figura 16**, y una mayor especialización de los puertos junto a la aparición de un nuevo concepto de “Smart Ship” o *Buques inteligentes*, más eficientes y autónomos, la UNTACD aconseja a los operadores portuarios se anticipen a los cambios para atender la creciente demanda ofreciendo una gama alternativa de servicios aún por explotar o poco consolidados.

A medida que pasa el tiempo y mejora la tecnología los grandes buques pasan menos tiempo en puerto pues se reducen las operaciones gracias a los procesos automatizados y los sistemas ya mencionados del “internet de las cosas” que facilitan mucho las tareas al proporcionar una información real permitiendo interactuar de inmediato dando solución a los posibles imprevistos.

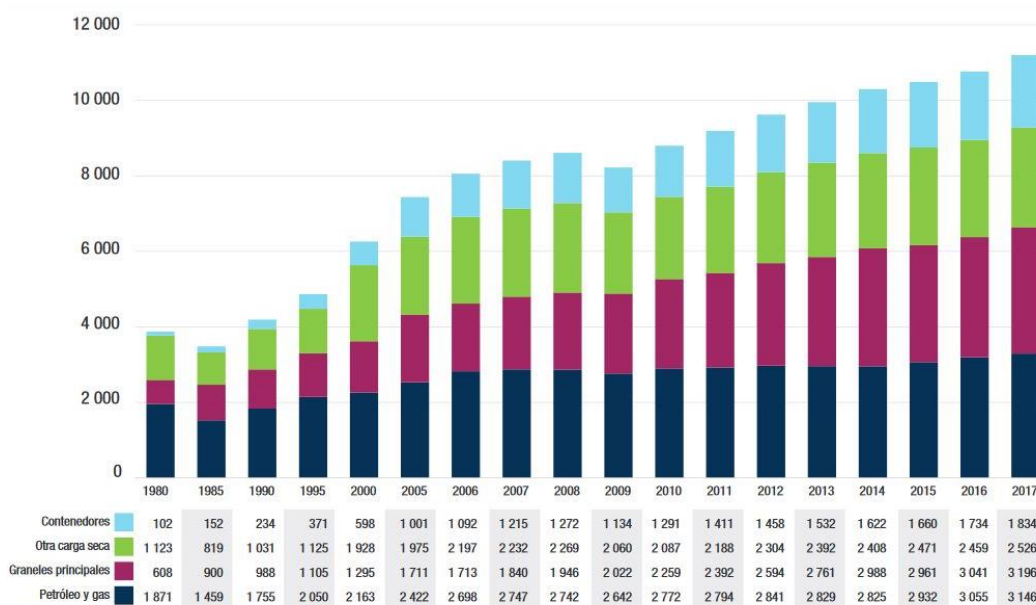


Figura 16. Representación gráfica dividiendo los distintos tipos de transporte de mercancía marítima por colores, unidades en millones de toneladas cargadas. Puede observarse un crecimiento a lo largo del tiempo en los diferentes transportes cogiendo mayor influencia el transporte en contenedores cada año.

Fuente: UNTACD web.

Enlace: https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/rmt2018_es.pdf

Las llamadas “Autopistas del Mar” son una realidad presente para interactuar dentro del Marco Europeo de sostenibilidad organizando las rutas marítimas en trayectos más cortos potenciando el transporte intermodal de menor tamaño, el flujo de mercancía y el desarrollo de las áreas de influencia más próximas. Uno de los mayores problemas para explotar estas rutas marítimas que ofrecen grandes oportunidades de negocio son

descritas en el documento¹³ difundido por la *Dirección General de Políticas Interiores* del Parlamento Europeo. El texto indica los obstáculos para una buena implementación:

Cita; “Algunos puertos (grandes y pequeños) no han adquirido todavía conciencia de la existencia del programa «Autopistas del mar». [...] “Algunos de los puertos familiarizados con el programa «Autopistas del mar» no son conscientes de su complejidad.” [...] “Los principales beneficiarios del programa no son suficientemente conscientes del abanico de oportunidades que ofrece. Muchos representantes portuarios—que también fueron entrevistados—señalaron que no habían advertido todas las oportunidades que brinda el programa; de ello se deduce que pasan inadvertidas algunas conexiones potencialmente interesantes para las operaciones de transporte marítimo de corta distancia.”

En este mismo documento también se hace referencia a los múltiples beneficios que puede conllevar integrarse en esta red empresarial configurada entorno a las autopistas marítimas. Se menciona el Programa TENT-T (Redes Transeuropeas de Transporte) y el marco «Conecta Europa», ambos integrados en la Estrategia Europea 2020 de sostenibilidad, diferentes medidas encaminadas a fortalecer el concepto “Autopistas del Mar” (**Figura 17**). En este documento se citan tres posibles oportunidades:

- Las conexiones con puertos de terceros países;
- la inclusión de conexiones terrestres;
- la inclusión de proyectos alternativos para el abastecimiento de combustible”

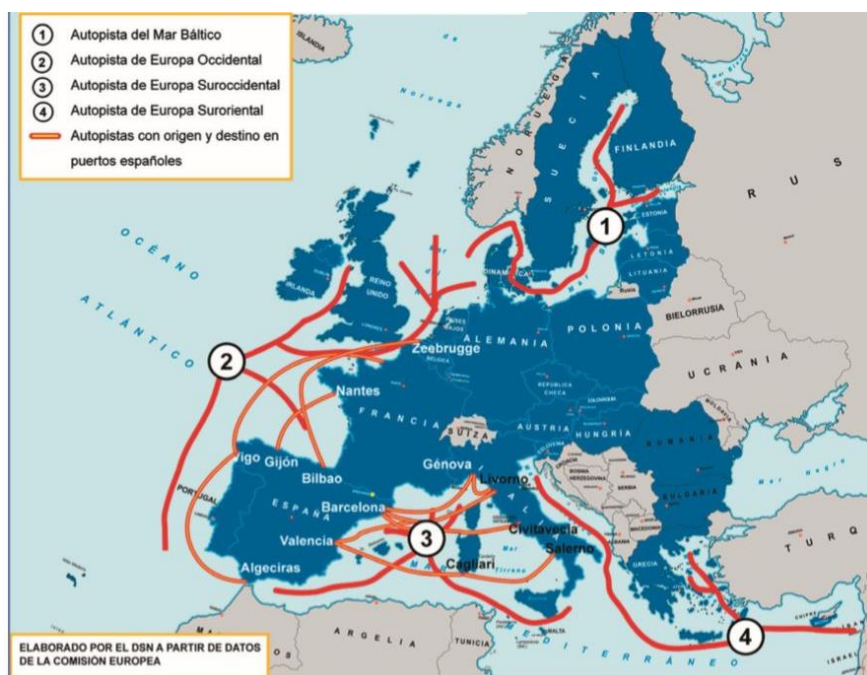


Figura 17. Propuesta incluida en el Plan Europeo para el ordenamiento de las rutas de tráfico marítimo y conocidas con el nombre “Autopistas del Mar”.

¹³ documento: Departamento Temático B: Políticas Estructurales y de Cohesión. Transportes y Turismo. Página 4. “MEJORAR EL CONCEPTO DE «AUTOPISTAS DEL MAR»”.

Fuente: Web del Parlamento Europeo.

Enlace; [http://www.europarl.europa.eu/ReqData/etudes/STUD/2014/540330/IPOL_STU\(2014\)540330\(SUM01\)_ES.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ReqData/etudes/STUD/2014/540330/IPOL_STU(2014)540330(SUM01)_ES.pdf)

Como se indicó, el Libro Blanco establece una serie de consignas para aumentar la eficiencia en el aumento del transporte de mercancías en ferrocarril haciéndolo más competitivo frente a otros medios de transporte, y así quedó fijado en el Reglamento (UE) 913/2010. Esto está relacionado directamente con el incremento del transporte marítimo pues unas instalaciones portuarias competitivas deben contar con una excelente línea de conexiones a su servicio para disponer de un *Hinterland*, o zona influencia de ese puerto, elevado.

El llamado “Corredor Atlántico” es una línea férrea de alta capacidad para el transporte de mercancías. Se busca una mejor conexión entre los diferentes países de la Unión Europea para ello se coordina la inversión en las diferentes infraestructuras necesarias para descongestionar la red básica de larga distancia agilizando los enlaces entre países. Está centrado en el desarrollo de la integración modal para operar como un órgano multimodal. Este corredor atlántico está indicado en la **Figura 18** con el conjunto de redes de ferrocarril existentes y proyectadas en la Unión Europea.



Figura 18. Redes Transeuropeas de Transporte. Reglamento UE 1315/2013. En la línea amarilla se observa el corredor atlántico en la península ibérica con final en Lisboa atravesando los Pirineos desde París. Se ejecuta dentro del Plan 2030 de infraestructuras.

Fuente: Adif. Plan Corredor Atlántico. Ministerio de Fomento.

Enlace: http://www.adif.es/es_ES/empresas_servicios/doc/Present-CorredorAtco_febrero-19.PDF

Una buena gestión de esta línea de alta capacidad implica establecer conexiones directas con los espacios portuarios para que exista un beneficio recíproco en el aumento de la eficiencia. La planificación de estas infraestructuras es un factor esencial desde una visión

en conjunto, pues de nada sirve una línea de tren moderna y dimensionada para grandes tráficos si el puerto no podrá gestionarlos, o al revés, de nada servirá disponer de un puerto sofisticado capaz de gestionar grandes volúmenes de mercancías si las líneas terrestres necesarias para su gestión son insuficientes. Esto se pone de manifiesto en la *figura 18* anterior pudiendo apreciar la zona del noroeste de España está al margen de los planes inmediatos de líneas férreas de alta capacidad siendo además zonas con escasas infraestructuras para un adecuado desarrollo, como se indicará más adelante al analizar la situación de Ferrol de una manera más específica.

Por estos motivos, y la presión de diferentes sectores, se instó ante los organismos competentes para desde la Unión Europea se tuviera en consideración ese espacio geográfico, aprobándose en el año 2018 su inclusión en los planes comunitarios.

La **Figura 19** indica esta nueva propuesta aprobada por el Parlamento Europeo cubriendo una zona del norte de España. Esta decisión, aunque importante, resulta insuficiente al dejar fuera de la red de alta capacidad de mercancías el norte de la provincia de Lugo, incluyendo toda la costa de la *Mariña Lucense* hasta Ferrol. Desde una lectura crítica se condena a un puerto multidisciplinar a retrasar su desarrollo junto a una comarca muy castigada en las últimas décadas. Esta falta de conexiones impide abordar un desarrollo portuario competitivo bajo los más altos índices de eficiencia y será fundamental el compromiso del Estado para impulsar una red de alta capacidad hasta el propio puerto.

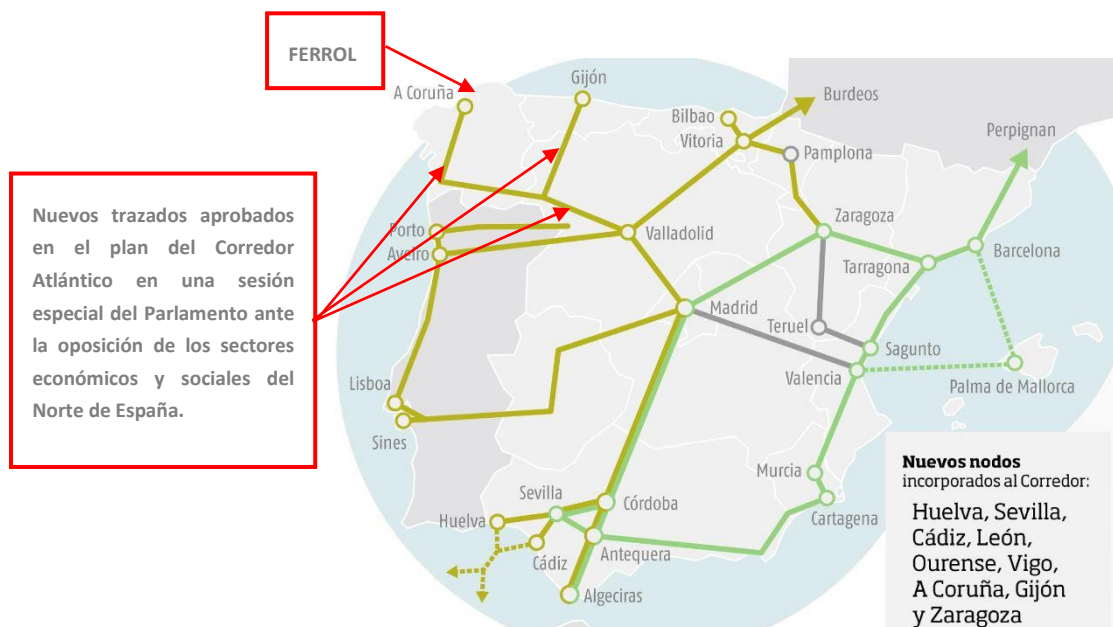


Figura 19. Trazado aprobado por la Unión Europea con nuevos nodos que incluyen a los puertos de Vigo, Coruña y Gijón no contemplados en la propuesta anterior. Las demás zonas de Galicia serán sometidas a diferentes actuaciones por ADIF como electrificado de vías, aumento del ancho de la vía y tareas de mantenimiento varias para acondicionar el trayecto Ferrol-Betanzos-Lugo.

Fuente: Adif. Corredor Atlántico. Ministerio de Fomento.

Enlace: http://www.adif.es/es_ES/empresas_servicios/doc/Present-CorredorAtco_febrero-19.PDF

4.1 Puertos del futuro

En el futuro, los puertos, para desarrollar ventajas competitivas que le permitan ofrecer una oferta de servicios con altos estándares de calidad tendrán que acometer una transformación basada en las tecnologías de la información implementando una red de telecomunicaciones entorno a una plataforma digital común, indicada en la **Figura 20**. Esto permitirá tener información en tiempo real almacenando la ingente cantidad de datos producida en una *Nube*, para ser consultada por los operadores de servicios logísticos, o diferentes agentes implicados, durante todo el proceso.

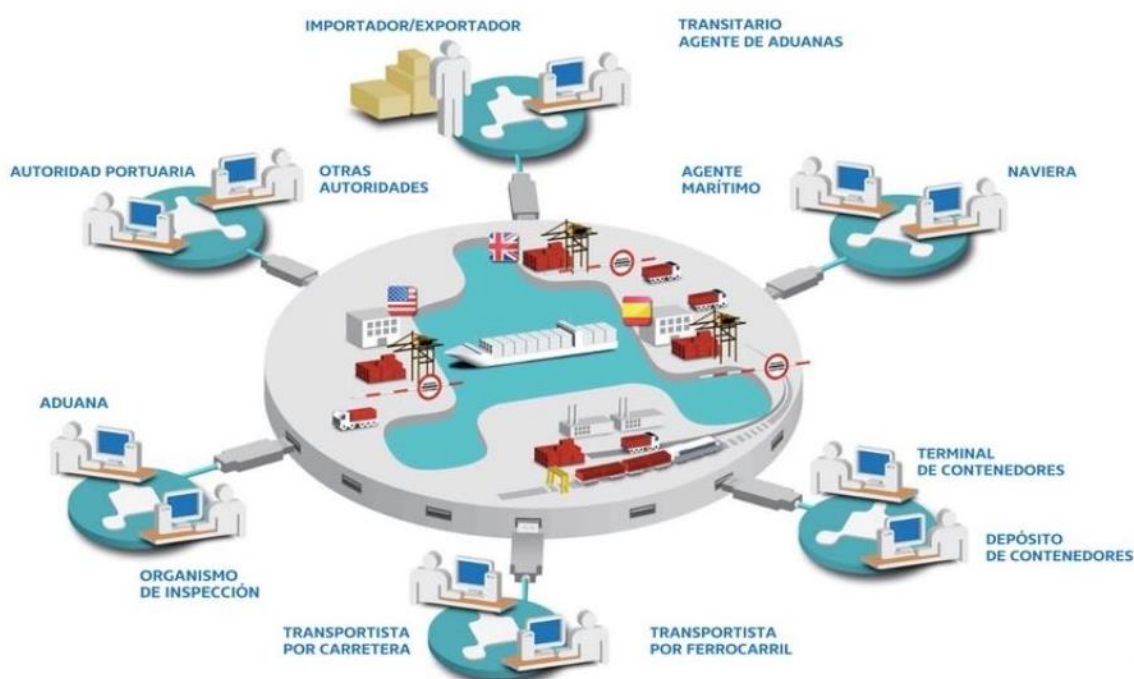


Figura 20. Modelo de gestión a través de las nuevas tecnologías de la información mejorando la conectividad entre todos los agentes implicados en un servicio de transporte “puerta a puerta” permitiendo a todos los operadores contar con información real en todo momento e interactuar en el mismo instante mejorando la velocidad de los tránsitos. Plan maestro diseñado para implementar en el Puerto de Valencia en la búsqueda de aumentar la competitividad y reducir costes.

Fuente: Puerto de Valencia.

Enlace: <https://www.valenciaport.com/valenciaport-prestara-sus-servicios-pcs-desde-la-nube-de-amazon-webservices/>

Diferentes puertos han optado ya por desarrollar un Plan Director Tecnológico buscando el aumento de la eficiencia en todas las operaciones de la cadena de transporte. En la costa mediterránea, el Puerto de Valencia, anunciaba a finales de 2018 la firma de un contrato con la empresa *Belike* para impulsar su plataforma digital “*Port Community System*” con el objetivo de reconfigurar su arquitectura logística desde los medios de telecomunicación.

Según el Director de Tecnologías de la Información de la Autoridad Portuaria de Valencia, José García de la Guía, para mantener el liderazgo del Puerto de Valencia e incrementar la competitividad en el tráfico de mercancías contenerizadas deben prepararse para

aumentar su capacidad hasta los 12, 5 millones de contenedores. Un objetivo básico es conseguir los principales clientes, operadores y navieras, que ocupan zonas portuarias habilitadas para realizar sus actividades puedan gestionar con total autonomía sus propias terminales con un alto grado de satisfacción. Esta independencia obliga al puerto a responder de manera inmediata y con flexibilidad a cualquier cambio con el fin de explotar adecuadamente la conectividad en todas las instalaciones portuarias proporcionando los mejores servicios a sus clientes. Para entender la importancia de lo expuesto hasta aquí, y que será factor clave para proyectar un sistema de generación distribuida en el Puerto Exterior de Ferrol, se cita al propio José García de la Guía.

Cita: “Vamos hacia un puerto sin papeles; en la nube, con las tecnologías y aplicaciones informáticas en constante proceso de adaptación al cambio, ya sea el Blockchain o el Big Data, y para atender a la cadena logística mundial. Es la filosofía que respiran todas las decisiones en materia tecnológica que está adoptando la Autoridad Portuaria de Valencia para reforzar su liderazgo en prestación de servicios portuarios y de import/export.”

Ante un crecimiento sostenido en el tiempo del comercio de contenedores, y la elevada especialización que requiere el manejo de este tipo de mercancía contenerizada el Puerto de Valencia, se encamina al liderazgo en servicios con alto valor añadido maximizando el tamaño del puerto.

De acuerdo con los análisis de la UNTACD, sobre el desarrollo del tráfico marítimo de mercancías los escenarios planteados, en el futuro internacional, convergen a una distribución de las mercancías de los grandes fletes mediante transbordos a barcos más pequeños con rutas continuas a los puertos de proximidad. Será relevante desarrollar estaciones estratégicas de gestión *-altamente automatizadas en forma de nodos logísticos-* para facilitar un flujo rápido de mercancías, información y operaciones que incide de manera directa en la zona, ciudad o *hinterland* incrementando el valor de todas las operaciones en ese entorno geográfico.

Para entender con mayor profundidad la correlación de una zona portuaria con su área de influencia se proporciona, en la **Figura 21**, una serie de cifras indicando el valor añadido bruto por tipo de mercancía.

Tipo de Mercancía	Media	Máximo	Mínimo
Automóviles	220	116	331
Contenedores	90	40	149
Productos siderúrgicos	60	23	118
Productos petrolíferos	45	11	183
Grano	20	9	37

Figura 21. Tabla expresada en dólares por tonelada (\$/tn) indicando el valor generado por cada tipo de mercancía tras su gestión en los puertos. Cantidades de referencia para proyectar los puertos del futuro.

Fuente: Universidade de Santiago de Compostela. Área Económica.

Enlace: <http://www.usc.es/econo/RGE/Vol27/rge2723.pdf>

Estas cantidades expuestas, en la tabla anterior, se encuentran referenciadas en un documento¹⁴, realizado por la *Universidade da Coruña*, donde se hace una comparativa entre la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao con otras de similares características.

Analizando si entre las dimensiones del puerto y el tipo de carga, existe una correlación directa a la hora de generar valor añadido y trabajos cualificados en su función de elemento tractor de la economía. Para ello, establece unos indicadores, valorando el impacto económico del puerto de Ferrol a partir de su competitividad en el sector, esto lo hace a través del *VABpm*. En la página 36 comenta;

Cita; “Desde el punto de vista analítico la repercusión se mide en términos de ventas, empleos, remuneración de asalariados, excedente bruto de explotación, valor añadido bruto a precios de mercado (en adelante VABpm) y recaudación de impuestos. Y, desde el punto de vista conceptual se estudian dos enfoques distintos: el primero en términos de participación de la actividad portuaria en la economía considerando la industria portuaria y la que se deriva de la misma; y, el segundo bajo el supuesto de que no existiese actividad en los puertos gallegos”.

Según este estudio, aunque los datos son mejores desde la ampliación del puerto exterior, el puerto de Ferrol siempre manejó unos márgenes positivos en sus costes de actividad -con respecto a la media de Galicia- por su alto volumen en el trasiego de graneles sólidos siendo el eje principal para la organización en el desarrollo del puerto. Y todo esto tiene su importancia en la reestructuración del modelo de negocio más favorable a la integración de nuevas tecnologías, innovaciones y formas de interactuar para un nuevo desarrollo en campos de mayor impacto económico con alta especialización que repercutirá, entre otros efectos de tracción, en el incremento de los salarios.

Los puertos del futuro tendrán un alto componente tecnológico de especialización, los sectores económicos medioambientales incrementan su actividad a mayor velocidad que la economía tradicional generando multitud de empleos cualificados, sumado a una buena situación estratégica debe facilitar el posicionamiento en una nueva realidad capaz de atraer al puerto de Ferrol, en unas instalaciones adaptadas al futuro, una gran parte del tráfico contenerizado proveniente del Norte de Europa compitiendo así, directamente, con los puertos de la franja cantábrica por la gestión y distribución de esas mercancías. Pudiendo acaparar una parte factible del mercado contenerizado que tiene destino hoy al sur de Galicia y norte de Portugal.

¹⁴**documento:** Ignacio de la PEÑA ZARZUELO. Vol. 27-2 (2018). Universidade da Coruña. *“IMPACTO ECONÓMICO DEL PUERTO DE FERROL – SAN CIBRAO: ARMONIZACIÓN DE RESULTADOS AL AÑO DE REFERENCIA 2016 Y COMPARACIÓN CON LOS PUERTOS ESTATALES”.*

Fuente: Revista Galega de Economía a través de la Universidade de Santiago de Compostela.

Enlace: <http://www.usc.es/econo/RGE/Vol27/rge2723.pdf>

Por consiguiente, y ante todo lo explicado en este capítulo 4, no puede existir déficit en los accesos por carretera o ferrocarril hasta las conexiones internacionales siendo el papel de las autoridades clave, impulsando los nodos logísticos, al favorecer instalaciones portuarias sostenibles con la comunidad y basadas en el concepto ciudad-puerto. Desarrollar el potencial de operación de un puerto del futuro en un ámbito estratégico a largo plazo y alcanzar un posicionamiento de liderato en los mercados emergentes, como el medioambiental o tecnológico, debe iniciarse con la puesta en marcha de una política diferenciadora a la competencia. Incrementar tus índices de eficiencia de una manera inteligente comienza por un reordenamiento sostenible del transporte.

El incremento de la competitividad en el sector transporte y logístico estará sustentado, en los puertos del futuro, en las siguientes premisas;

- a) Un sistema de información basado en el “internet de las cosas” mediante tecnologías TIC, *blockchain*, big data capaces de acomodar la robótica e inteligencia artificial agilizando las operaciones y toma de decisiones tras acceso a una nube común.
- b) Una organización energética basada en la eficiencia y autoconsumo. Desarrollando una amplia gama de servicios sostenibles al implantar una red de generación distribuida, con capacidad de funcionar en régimen aislado, configurada para integrar las energías renovables con sistemas de almacenamiento asociados.
- c) La apuesta por aquellos mercados que tienen un crecimiento sostenido a largo plazo fundamentados en el respeto por el medioambiente y capaces de ejercer una fuerza de arrastre suficiente en la economía que favorezca las prácticas portuarias entorno a la excelencia. El continuo incremento por la demanda de servicios cada vez más responsables y un compromiso con la transición energética para mitigar el calentamiento global sumado a unas políticas de Estado favorables proporcionan un enfoque diferenciador y una clara ventaja competitiva en la Economía circular.
- d) Una clara orientación a la innovación, y a la flexibilidad, es determinante a la hora de incorporar los cambios que faciliten una adaptación no traumática a la inmediata, e imparable, transformación del sector transporte que se ve arrastrado, principalmente, por la influencia del plan de mejora en la eficiencia y competitividad desarrollado según el programa *Industria 4.0*.
- e) Un plan de alianzas con navieras y operadores para, en definitiva, acercar más la nueva realidad portuaria al consumidor desplegando un sistema logístico caracterizado por la comunicación bidireccional que produzca resultados equitativos para todo el hinterland implicado.



Figura 22. Ejemplo ilustrativo sobre el concepto *Transición Energética*. La dependencia por los combustibles fósiles llegó a su fin mientras el hombre transita a una nueva realidad a través de las energías renovables respetando el hábitat natural en un mundo más confortable.

Fuente: Google Images.

En los puertos del futuro será imprescindible tener desarrollada toda una arquitectura organizativa de base tecnológica que permita iniciar la *transición energética* (**Figura 22**) y avanzar de manera firme a un cambio de modelo, común a todo el mundo globalizado, al gestionar los recursos naturales de una manera sostenible dejando atrás la dependencia por los combustibles fósiles al implementar todo tipo de energías alternativas. En esta dirección será posible alcanzar el concepto de **Puerto Verde**.

Esto tendrá un gran número de desventajas para aquellas entidades que no anticipen el futuro inmediato y para aquellos Estados que no dispongan de líneas de transporte bien conectadas con las internacionales del ferrocarril de alta capacidad. Es probable exista una reconfiguración de los tráficos marítimos y terrestres globales con la implementación de las rutas intermodales, todo ello puede crear un desajuste en la oferta y demanda, o incluso, una pérdida de competitividad al no incorporar las nuevas tecnologías pues se verán incrementados todos sus procesos de una manera significativa.

Asimismo, esta transición energética y tecnológica, también ofrecerá un gran número de oportunidades a todos los agentes implicados en el sistema económico e industrial. Una transición que estará marcada por la eficiencia y el uso de energías renovables permitirá un fuerte desarrollo de innovación junto a la creación de nuevas líneas de negocio e inversión en proyectos disruptivos para fomentar la intermodalidad sectorial. Todo ello asociado a una capacitación del personal trabajador e invirtiendo en el capital humano estrategias de conciliación familiar para ofrecer empleo de calidad y generar alto valor añadido en todas las etapas de la actividad portuaria.

Esta actualización de los puertos a los nuevos tiempos se hará a través, principalmente, de las energías renovables ganando reputación en el sector portuario, a nivel profesional y social, dándose un incremento en la valoración como marca en un sector donde la demanda internacional por los llamados *Puertos Verdes* no para de incrementar.

Todos estos esfuerzos facilitarán una dinamización sectorial con el objetivo de resultar atractivo al nuevo modelo de buques inteligentes (*Smartship*) -con alta autonomía- que demandarán determinados servicios (véase **Figura 23**) hasta ahora no explorados por las Autoridades Portuarias. En 2019, la OMI (*Organización Marítima Internacional*) introduce el concepto de *e-Navigation* con el objetivo de incrementar la seguridad de la navegación en los buques comerciales a través de una mejor organización con tecnologías TIC y mejorar la gestión de todo tipo de datos generados en las operaciones de los buques.

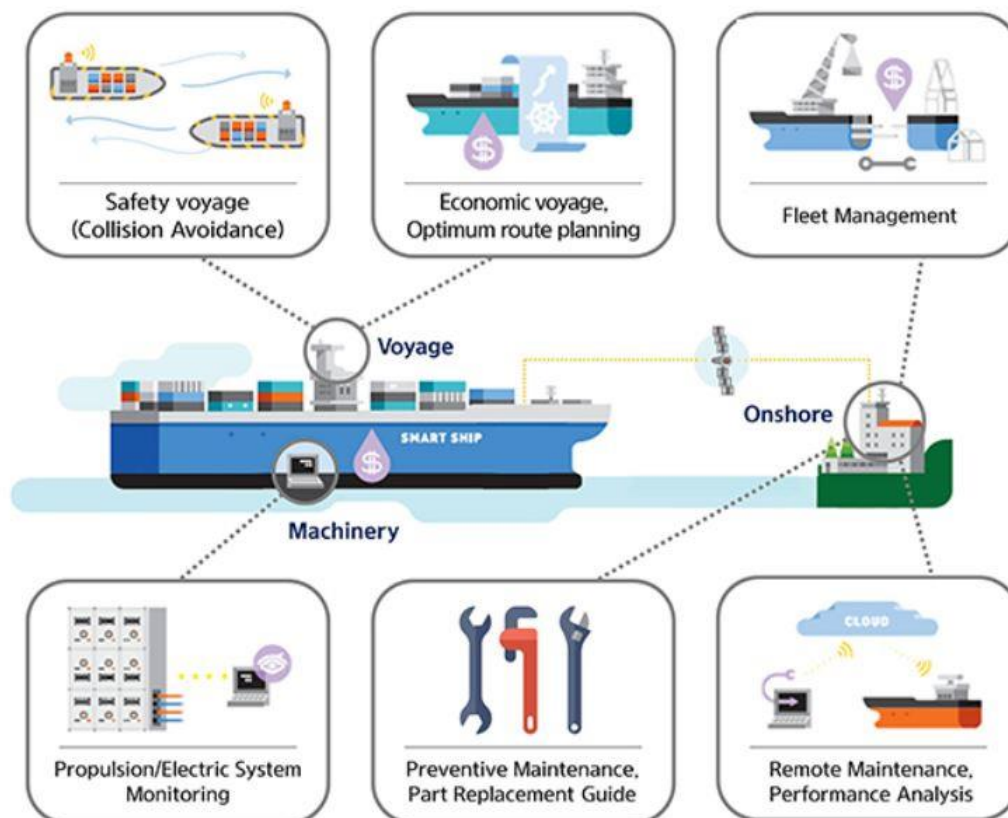


Figura 23. Sistema de gestión aplicado a los nuevos buques y basado en las nuevas tecnologías de la información. Esto incrementa la conectividad y autonomía de los buques mejorando su eficiencia, también facilita una perfecta coordinación con la Autoridad Portuaria al advertir con mucho tiempo de antelación los servicios específicos que precisa tras la navegación. Sistema denominado Integrated Smart Ship Solution (ISSS) y desarrollado por la empresa Hyundai Heavy Industries (HHI).

Fuente: Lloyd's Register

Enlace: <https://www.lr.org/en/latest-news/hyundai-heavy-industries-announces-integrated-smart-ship-solution/>

Muchos de estos servicios pueden ser gestionados en la misma ruta permitiendo cambios en el último momento según vayan surgiendo las necesidades. El sistema almacenará toda la información en una nube al servicio de todos los operadores pudiendo coordinar paradas imprevistas, mantenimientos, avituallamientos de urgencia, reparaciones o un flujo de las mercancías más dinámico al existir una mayor coordinación de las tareas a desarrollar en las operaciones cotidianas o, sobre todo, en casos de avería y emergencia.

Esta nueva generación de buques, se basan en la máxima autonomía y eficiencia desarrollando proyectos navales específicos para estos navíos con la intención de ser operados a control remoto (representado en **Figura 24**) y sin apenas tripulación salvo en las tareas mínimas de mantenimiento que requieren determinadas averías en travesía. Por todo lo expuesto sobre los *Smartships*, los diferentes puertos del mundo que pretendan alcanzar, o mantener, el liderato en el tráfico marítimo deben integrar tecnología de última generación con un plan de capacitación del personal portuario.



Figura 24. Ilustración sobre el nuevo concepto de SmartShips. Estos buques volcarán una gran cantidad de datos en su travesía a una nube de información común. La Autoridad Portuaria tendrá una mejor visión de la realidad en su conjunto con equipos de gestión mucho más avanzados. Los nuevos buques serán dirigidos prácticamente desde tierra por control remoto. Estos sistemas de la información emitirán alarmas identificando los servicios o averías que necesitan los buques al atracar poniendo sobre aviso a toda la cadena logística de cualquier incidencia y pudiendo adoptar medidas preventivas.

Fuente: Google Images

En otro orden de cosas más próximas al fondo de este trabajo, cabe mencionar, algunos puertos del Estado ya han apostado por las energías renovables integrando paneles fotovoltaicos en los techos de sus edificios, entre otros sistemas. Aunque, en este sentido, también es necesario advertir queda una gran variedad de intervenciones por realizar en muchos puertos del Estado con la intención de elevar sus estándares de eficiencia.

Muchas de estas instalaciones en los puertos españoles, por ejemplo, deben mejorar el aislamiento térmico en fachadas de edificios, ofrecer mejores servicios de reciclaje o acometer las inversiones necesarias para aumentar eficiencias en los sistemas de aire acondicionado/calefacción o el cambio a iluminación led, siguiendo las recomendaciones del Ministerio, entre otras actuaciones necesarias dentro de cada organización. O ajenas a ella, como disponer de una buena red de conexiones terrestres para facilitar la distribución de las mercancías favoreciendo la reducción de gases de efecto invernadero.

A continuación, se expondrá una pequeña muestra, a modo ilustrativo, sobre la integración de la energía eólica en las instalaciones portuarias, siendo objetivo principal de este trabajo la integración a partir de esta energía limpia un sistema de generación distribuida. Para ello se han seleccionado 3 puertos, con proyectos ya realizados o en ejecución, similares al propuesto en este estudio:

- Puerto de Bilbao **(Figura 25)**
- Puerto de Valencia **(Figura 26)**
- Puerto de Arinaga **(Figura 27)**

Puerto de Bilbao (Ejecutado desde 2006) (Figura 25)



El dique llamado *Punta Lucero*, en el Puerto de Bilbao, dispone desde su puesta en servicio en el año 2006 de 5 generadores eólicos del tipo Gamesa G80/2000 y una altura de la góndola de 80 metros con una potencia de 2000 kw por turbina, para una potencia nominal total de 10.000 kw. Cuenta con conexión a la red de distribución, cableado eléctrico subterráneo y conductores de alta tensión a 30 kv.

La producción eléctrica de este parque está estimada en 17.000 Mwh anuales de electricidad, equivalente al suministro de 40.000 hogares. La inversión realizada fue de 11 millones de euros y evita la emisión de unas 16.000 toneladas de CO2 al año, propiciando un aumento en la eficiencia energética del Puerto de Bilbao y evitando la instalación de una central térmica. Los molinos tuvieron problemas con rotura de palas debido a turbulencias originadas por una ladera próxima ante la presencia de vientos fuertes del suroeste. Se corrigió con sensores de control a 20m/s y limitación de empuje (25%).

Puerto de Valencia (Aprobada su ejecución en 2019) (Figura 26)

El Puerto de Valencia autorizó, en 2019, la construcción de una Torre Eólica en su espacio portuario para dar servicio eléctrico a la Marina. La torre de 174 metros de altura está compuesta por 1000 molinos eólicos en orientación vertical distribuidos en su interior capaces de captar el aire en cualquier dirección. La potencia total de esta torre alcanzará los 3 Mw/año, aunque se espera pueda alcanzar los 5,4 Mw anuales.

El presupuesto para su ejecución ronda los 20 millones de euros. Una de sus ventajas es el bajo impacto visual comparado con los molinos tradicionales y la ausencia casi total de ruido, aunque su potencia aún es bastante reducida.

Se desarrolló a partir de un Consorcio de empresas conformado en 2007 y formado por el grupo *Net de Gerrers*, la *Universitat Politècnica de València* (UPV) y el *Instituto Tecnológico de la Energía* (ITE).

Puerto de Arinaga. (Ensayo) (Figura 27)

El Puerto de Arinaga está situado en las Palmas de Gran Canaria y el generador eólico fue instalado en el año 2013, por la empresa Gamesa, de forma experimental en el dique.

El generador tiene una potencia de 5 Mw y una altura final de 160 metros -una vez sea instalado en el mar- con una inversión de 15 millones de euros. Esta instalación fue desarrollada como test de funcionamiento para el próximo parque eólico que la Autoridad Portuaria implantará off-shore en la búsqueda de superar su dificultad para generar energía en un entorno con poco espacio terrestre debido al aislamiento geográfico que impide cubrir su demanda de energía.

Este molino eólico del Puerto de Arinaga es otro ejemplo de las altas posibilidades de estos artefactos para su aprovechamiento energético en los diques portuarios aumentando la eficiencia y favoreciendo la planificación de puertos energéticamente autónomos. Sirviendo como test para implementar una eólica off-shore en el futuro.

Para terminar esta exposición del aprovechamiento de energía eólica en los espacios portuarios, se muestra a mayores, en la **Figura 28**, otro modelo basado en la instalación de 5 turbinas eólicas en el dique de abrigo.

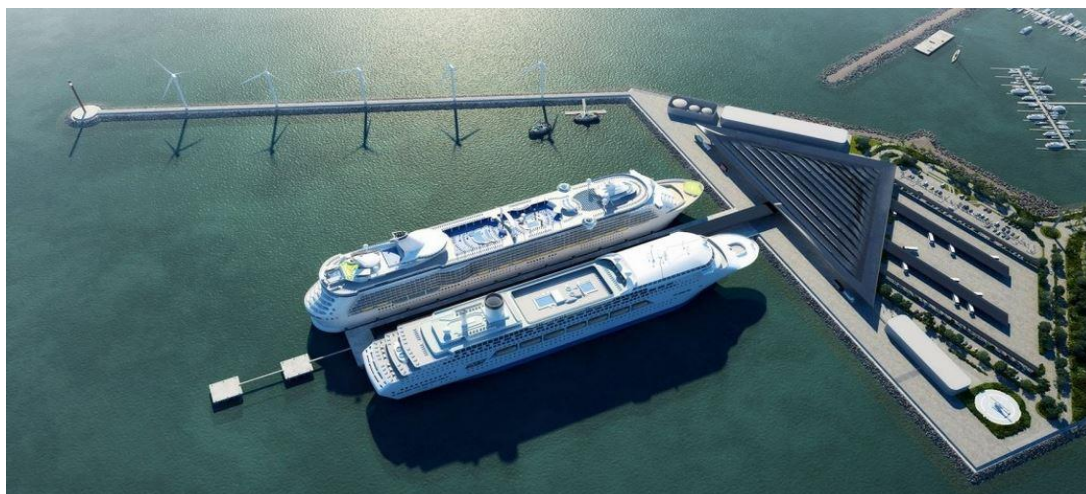


Figura 28. Puerto de Panamá. Primera fase del proyecto de la nueva Terminal de Cruceros que está siendo ejecutado desde el año 2017 con un presupuesto total de 165 millones de euros. La instalación de los 5 molinos está todavía en estudio de viabilidad pues no se contempló en el proyecto inicial. La nueva terminal de Cruceros contará, en la segunda fase, con cinco terminales de atraque en paralelo.

Fuente: Autoridad Portuaria de Panamá.

Enlace: <https://terminaldecruceosdepanama.com/>

Esta nueva terminal de cruceros busca cubrir la demanda por el incremento de tráficos de trasatlánticos en el Caribe. Esto abrirá nuevas rutas para los operadores marítimos y se dotará con las tecnologías más avanzadas en la logística de movilidad de personas, equipajes y suministros. Para desarrollar este proyecto de una forma sostenible e impedir la alta contaminación generada por estos grandes buques será fundamental un suministro eléctrico mientras permanecen en atraque y puedan apagar motores. Esta alta demanda eléctrica sería cubierta por generadores eólicos, en función de la viabilidad.

Estos sistemas eólicos no serán suficiente en muchas ocasiones al no disponer de la presencia de vientos para su funcionamiento y la producción no será constante. Para solucionar esto muchos puertos están optando por una doble, o triple configuración, dependiendo de los recursos naturales que dispongan a su alcance o de su situación geográfica que será clave para una correcta planificación de los sistemas a utilizar.

Algunos de estos sistemas alternativos presentes en entornos portuarios, y utilizados para cubrir la falta de viento, pueden ser los paneles fotovoltaicos o el aprovechamiento de las corrientes marinas. En la **Figura 29**, se indica una instalación con paneles solares en zona portuaria.



Figura 29. Vista aérea actual, ofrecida por Google Maps en agosto 2019, del tejado de la Autoridad Portuaria de Las Palmas de Gran Canaria, se observa antes de la instalación de los paneles solares. En el lado derecho se observa la cubierta del tejado cubierta con paneles fotovoltaicos tras su reciente instalación en el mes de marzo de 2019.

Fuente: Google Maps y Google Images.

Esta instalación, ejecutada por la Autoridad Portuaria de Las Palmas, está compuesta por 72 paneles fotovoltaicos de alto rendimiento y conectados a un inversor trifásico de 20Kw con una potencia total de alrededor de 22 Kwp y casi 40 Megawatios hora cada año. Esto, además de mejorar la factura eléctrica de la Autoridad Portuaria, evitará la emisión de cerca de 13 toneladas anuales de CO₂, según el propio organismo.

Las instalaciones portuarias suelen estar ocupadas por grandes naves o edificios públicos destinados a usos múltiples. Otros son utilizados para diversas prácticas dependiendo de cada actividad, por ejemplo, lonjas, instalaciones náuticas, espacios de parkings para el personal, etc. Un buen aprovechamiento de estos espacios debe estar orientado a la creación de parques solares en aquellas zonas geográficas que permitan una buena producción anual con la posibilidad de inyección a la Red General Eléctrica, o incluso, almacenar una determinada cantidad que posibilite cubrir la demanda en horas sin presencia de sol.

Otro sistema a mayores compatible con una triple configuración en un entorno portuario podría ser la energía proporcionada por el mar.

Para ir concluyendo este apartado sobre los Puertos del Futuro, y las energías renovables marinas, de interés para este trabajo, se expone en la **Figura 30**, dos tipos de sistemas incluidos en el informe¹⁶ de la Unión Europea por su alto potencial energético e incluidos en los planes H2020.

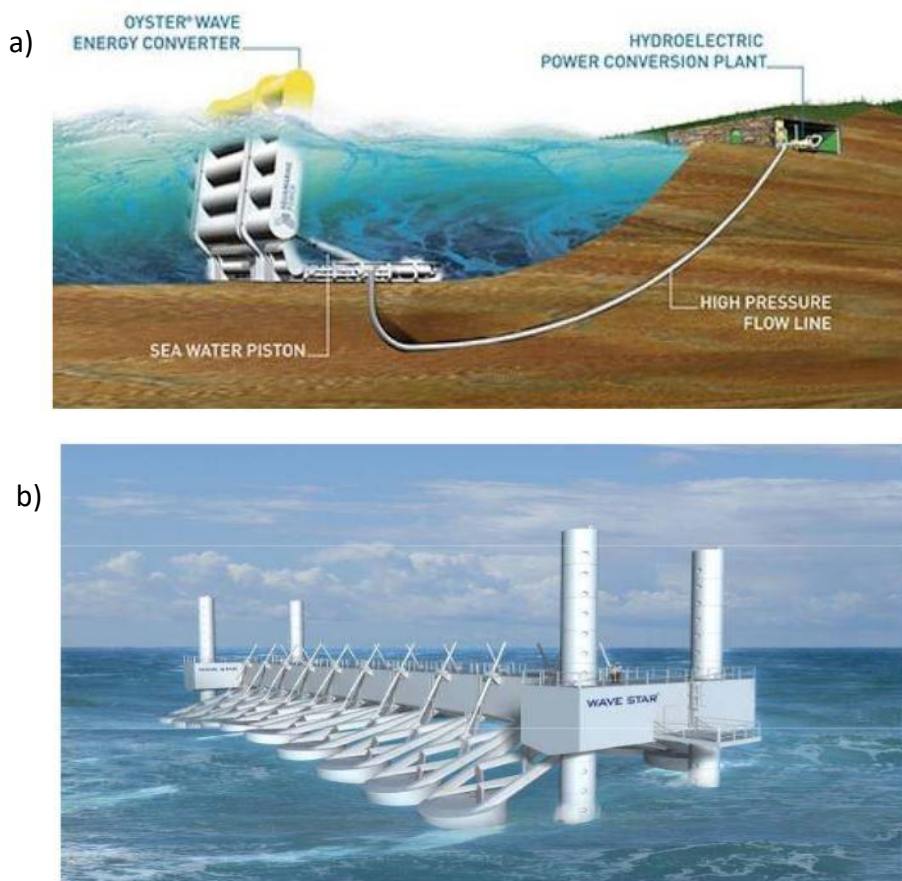


Figura 30. Dos tipos de artefactos que captan la energía mareomotriz mediante dos conceptos distintos. En la imagen a) se observa un captador de olas marinas compuesto por un generador rotacional en la base de la estructura junto a un pistón que ofrece resistencia al empuje de la ola y todo ello comunicado a tierra con un cable subterráneo conectado a una estación transformadora situada en la costa. Potencia 1Mwh. En la imagen b) se observa unos brazos mecánicos sostenidos por una estructura introducida en el mar, los brazos mecánicos responden ante el empuje del mar subiendo y bajando con el oleaje. Potencia 6 Mwh. **Fuente:** Comisión Europea. Informe sobre el Estudio y Lecciones para el desarrollo de la Energía en los océanos. Oficina *Unidad G.3 – Renewable Energy Sources*. Enlace: http://publications.europa.eu/resource/cellar/3a4f6411-6777-11e7-b2f2-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1

Sin profundizar más en este tipo de tecnologías quedan establecidas las principales opciones que son, o pueden ser utilizadas por las diferentes Autoridades Portuarias, en sus planes de desarrollo. Existen otras alternativas que no fueron contempladas al establecer unos parámetros de actuación en este trabajo final y no van más allá de una instalación eólica principal con una fuente secundaria de energía como refuerzo. Fijando un objetivo alcanzable a día de hoy para iniciar la transición energética en los puertos.

¹⁶ **documento:** European Commission, Directorate-General for Research & Innovation. Abril, 2017. Página 11-17. **Título:** "Study on Lessons for Ocean Energy Development- Annexes to the Final Report".

La relación ciudad-puerto también debe favorecer espacios de encuentro, o debate, para escuchar a todas las partes con el fin de impulsar diversas infraestructuras de manera conjunta y bajo una estrategia desarrollada en común en aquellas áreas afines. Uno de los principales problemas de esta Autoridad Portuaria, común a toda la comarca, es su mala red de transporte extendiéndose al puerto exterior (**Figura 32**) que viene realizando el trasiego de mercancía por carretera mediante una flota de camiones diaria.



Figura 32. Vista panorámica de la Ría de Ferrol con el puerto exterior e interior indicados con puntos blancos sobre fondo verde. También puede observarse la ciudad y los espacios destinados a astilleros o actividades náuticas. En color rojo se indica la línea utilizada para transporte por carretera, mientras la línea amarilla y negra, representan la nueva línea de ferrocarril que está ejecutándose hoy en día. La línea blanca y negra indica el tramo de ferrocarril que conecta el puerto con la vía antigua y la estación de tren en la ciudad.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol. Imagen obtenida de la Memoria anual 2018.

Enlace: www.apfsc.com

A la vista de esta planificación ferroviaria se vislumbra no satisfaga los criterios clave para convertirse en un nodo logístico, en un futuro próximo, ante la falta de atractivo que pueda levantar en el nuevo panorama marítimo internacional de contenedores, principalmente, desde dos puntos de vista.

- El primero limita el campo de actuación al establecer una conexión con la línea de ferrocarril antigua que conlleva multitud de inconvenientes por su baja capacidad y principal freno histórico de su expansión lógica hacia el norte de la provincia de Lugo. Quedando desprovisto el puerto exterior de una plataforma logística en el interior, a poca distancia, y conectada directamente con un tren de alta capacidad.
- Una segunda lectura revela los planes del Ministerio de Fomento siguen apostando por fortalecer la expansión del puerto de Ferrol hacia el sur de la provincia cuando son zonas de alta competencia en el tráfico de mercancías generales y cuentan con mejores conexiones terrestres.

Atendiendo a los planes, ya indicados en este trabajo, sobre la ejecución de las infraestructuras establecidas en el Corredor Atlántico para aumentar la eficiencia junto a la competitividad en el transporte parece claro favorecen el tráfico intermodal a través del ferrocarril y transporte marítimo.

Se hace necesaria la intervención del Ministerio de Fomento junto a otros actores económicos implicados en el desarrollo de una infraestructura de alta capacidad, orientada a favorecer la expansión del hinterland del puerto de Ferrol, hacia el Norte, estableciendo conexiones con los diferentes nodos logísticos fijados en los planes de transporte del Estado.



Figura 33. Mapa de infraestructuras del Ministerio de Fomento donde se incluye la configuración final el Corredor Atlántico. El Puerto de Ferrol queda limitado a una red de ferrocarril básica y no incluido en los nodos logísticos.

Fuente: Ministerio de Fomento. Mapas de infraestructuras.

Enlace: https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/111019mapasredestranseuropeastransportes.pdf

En la figura 33 anterior, se aprecia imprescindible una red de comunicaciones terrestres de alta capacidad para una gestión eficaz de las mercancías permitiendo entrar en rutas que demandan plataformas intermodales y en línea con las grandes expectativas depositadas en los nuevos tráficos abiertos a raíz de la ampliación del Canal de Panamá.

En los nuevos escenarios que se plantean, en el futuro próximo, se hace necesario un replanteamiento de los objetivos para invertir la tendencia en el tráfico actual desplazando a un papel secundario el tráfico de graneles sólidos. Además de la infraestructura de transporte requerida para incrementar este crecimiento se hace necesaria una planificación a futuro que permita alcanzar una mayor especialización en las actividades portuarias atrayendo otro tipo de fletes marítimos.

El puerto de Ferrol lideró en muchas ocasiones el crecimiento de la ciudad en el pasado por ser una magnífica puerta de entrada para el comercio y ejerciendo el papel que le corresponde a un puerto por su capacidad de generar un alto impacto económico en su área de influencia. En este sentido debe ostentar ese liderato impulsando la nueva transformación energética de toda la comarca.

En la planificación de los puertos del futuro la relación con la ciudad es clave para un buen desarrollo sostenible. Los planes de desarrollo urbanístico y los planes portuarios deben integrarse buscando la mayor sostenibilidad del entorno e impulsando nuevos modelos con capacidad diferenciadora.

En primer lugar, se proyecta a continuación en la **Figura 34** el plan de infraestructura de alta capacidad de mercancías alternativo al actual siendo básico para convertir al puerto exterior de Ferrol en un nodo logístico con una marcada visión de crecimiento hacia el norte e interior de la provincia de Lugo. Además, podría adaptarse para dar soporte a la demanda de pasajeros que podría verse aumentada existiendo una línea moderna entre Ferrol y Gijón. La actual línea férrea es de vía estrecha, sin electrificar y con tramos que no permiten alcanzar velocidades aceptables para un viaje confortable.

El tiempo actual invertido en tren en el trayecto Ferrol-Gijón puede alcanzar las 17 horas haciendo inviable cualquier expansión hacia la cornisa cantábrica.



Figura 34. En el mapa señalado con el recuadro azul indica de forma orientativa la nueva línea de ferrocarril propuesta para conectar el norte con dos nodos logísticos uno de ellos en el puerto de Ferrol y el otro a la altura de Ribadeo con conexión a Lugo. En la figura señalada en rojo está indicada la planificación actual.

Fuente: Elaboración propia.

De igual modo se planifica un recorrido alternativo de la línea férrea al que está ejecutándose actualmente, indicado en la **Figura 35**, para aumentar la capacidad logística del puerto exterior y su competitividad, al planificar un área específica de contenedores en un polígono industrial cercano abriendo nuevas posibilidades al sector empresarial. El tramo actual en ejecución puede ser utilizado para fortalecer la relación ciudad-puerto,

junto a su futura misión, dando salida a las mercancías y fortalecer el tráfico portuario que conecta con las líneas de transporte al sur.

Los puertos demandan constantemente espacios para su desarrollo ganando terreno al mar, en previsión de ello, se realiza una propuesta para disponer de mayor superficie.

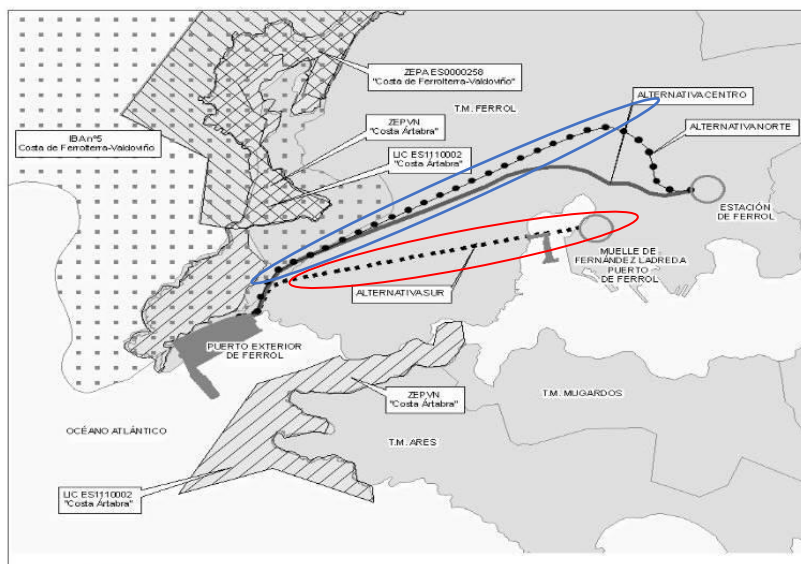


Figura 35. Mapa de la ría de Ferrol con las 3 alternativas de trazados proyectados para conectar el puerto exterior con la estación de trenes de Ferrol. La alternativa Sur indicada con el círculo rojo fue la seleccionada. La propuesta de este trabajo se basará en la alternativa en color azul.

Fuente: Boletín Oficial del Estado (BOE).

Enlace: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/04/06/pdfs/BOE-A-2013-3696.pdf>

Teniendo como base el trazado norte indicado con color azul en la figura anterior se reorganiza la red de transporte para dar salida a las mercancías a una plataforma logística cercana, y desde ella, se inicia la ejecución de la nueva línea hacia el Cantábrico con tiempos de ruta competitivos. Véase la **Figura 36**.

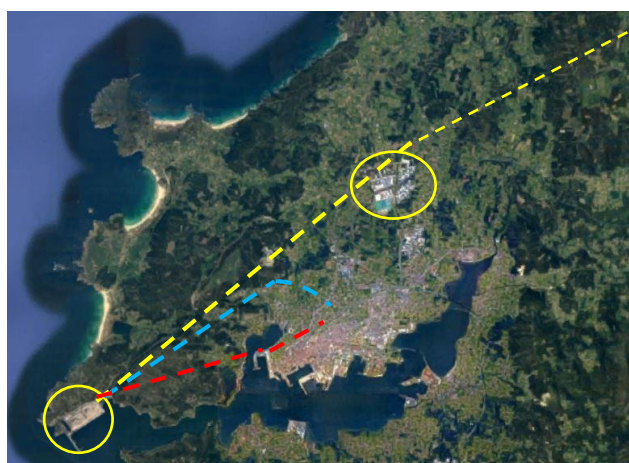


Figura 36. Vista aérea de la comarca de Ferrol. Mediante dos círculos amarillos se representa los espacios destinados al almacenamiento de contenedores. En línea a trazos amarillos se indican los 13 km de vía de tren subterránea conectando el puerto con el polígono Río del Pozo (Narón) para seguir su trayecto uniéndose al norte. La línea roja está en ejecución actualmente y la línea azul, rechazada por el Ministerio, sirvió de base en este trabajo para el posicionamiento como puerto referencia intermodal del norte.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Una vez planteada la nueva línea de transporte, se enmarca un espacio, indicado en la **Figura 37**, para dotar al puerto exterior de una zona logística para el almacenamiento de los contenedores. Este nuevo planteamiento favorece al empresariado al disponer de un enlace ferroviario, sirviendo de atracción a otros inversores por la nueva dimensión que adopta o abriendo nuevas alternativas a empresas tan consolidadas como Zara encontrándose afincada en este polígono industrial.



Figura 37. Vista aérea del Polígono del Pozo en Narón (A Coruña). En un rectángulo azul a cuadros queda enmarcada la superficie seleccionada para servir de plataforma logística de contenedores al Puerto Exterior de Ferrol. La superficie aproximada de este recuadro es de 140.000 m² aprox. En amarillo discontinuo se indica la línea de ferrocarril proyectada hasta el puerto exterior con dirección norte.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Una vez está planteado el nodo logístico en tierra interior, y el transporte, asegurando un flujo rápido de las mercancías, es el momento de proponer una reconfiguración del puerto desplazando mercancías y naves del puerto interior al exterior. Adaptando las instalaciones interiores favoreciendo una integración urbana que impulse la relación ciudad-puerto. Una alternativa factible podría ser reconvertir la zona en un puerto deportivo mejor organizado y con mejor oferta de servicios favoreciendo la creación del pequeño comercio a su alrededor.

La zona de trasatlánticos podría adquirir otra realidad preparando adecuadamente unas instalaciones para acomodar a los viajeros o turistas recreando un entorno más amable. Entre otras medidas que pueden adoptarse con el espacio liberado como la creación de un aparcamiento en la zona portuaria y que puede servir de punto de partida para el ciudadano opte por el desplazamiento a pie.

Se presenta en la **Figura 38** una aproximación imaginaria, de un hipotético puerto interior de Ferrol, en el futuro a través de una mejor integración ciudad-puerto permitiendo un mejor aprovechamiento de los espacios fomentando una mayor interacción del ciudadano con las instalaciones portuarias presentes en el centro de la ciudad.

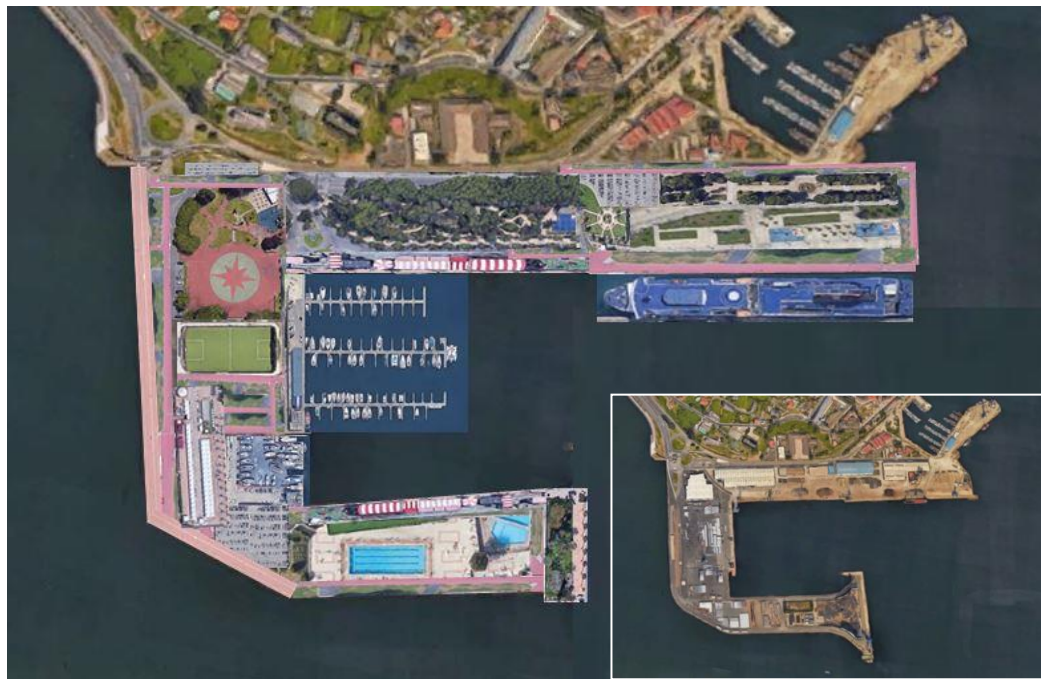


Figura 38. Vista área con el antes y después del puerto interior de Ferrol. En el puerto de referencia en menor tamaño el recinto portuario permanece aislado de la ciudad mediante vallas o verjas mientras en la nueva propuesta el ciudadano participa de unas instalaciones abiertas en la nueva fachada marítima.

Fuente: Google Images. Elaboración propia.

Al no haber un gran número de empresas la propuesta presentada en la figura anterior no supondría un gran impacto en el sector, salvo pequeñas incomodidades por el traslado, y permitiría centralizar todas las descargas de mercancías en el puerto exterior que dispondría de una plataforma logística alternativa, indicada en la *figura 37*, en el polígono industrial Río do Pozo para desarrollar un sistema de flujo de mercancías eficaz.

El puerto exterior de Ferrol, por su disposición geográfica, tiene una situación privilegiada para su inclusión en las citadas *Autopistas del Mar* al aparecer como primer puerto en el norte de Galicia. Esto podría hacer recaer en sus instalaciones muchos fletes provenientes del Norte de Europa para su posterior distribución a otros puertos del sur de la península mediante ferrocarril o en buques más pequeños. Con ello, se descongestiona el tráfico por carretera en las grandes urbes, o las redes de transportes, siendo uno de los grandes problemas según recogen diversos informes ya citados.

En conclusión, vislumbrar estrategias o planes de acción que permitan la gestión sostenible de un puerto con proyección de futuro requiere una conexión intermodal por ferrocarril y la inclusión en los planes TEN-T (*Red Transeuropea de Transporte*).

Para acometer la nueva propuesta de reubicación de las empresas afincadas en el puerto interior aparecen indicadas, en la **Figura 39**, las superficies que se disponen en la dársena exterior. Se llevan a cabo una serie de actuaciones con el fin de reorganizar las instalaciones reestructurando este puerto como un nodo logístico de mercancías generales, priorizando en las mercancías contenerizadas y automóviles. Con ello se persigue un incremento de la especialización del puerto en las mercancías generales que está asociado a un aumento del impacto económico sobre la comarca.

El concepto de “desarrollo sostenible” también está basado en el óptimo empleo de los espacios, tiempos, inversiones económicas, material y en definitiva de un empleo lógico de los recursos e inteligente.



a) Superficie con destino contenerizado b) Superficie con destino no contenerizado

Figura 39. Vista en planta de parcelación del puerto exterior de Ferrol. Se realiza una medida de la superficie útil para determinar los metros cuadrados disponibles para realizar las operaciones marítimas actuales del puerto interior y la posibilidad de incorporar altos volúmenes de contenedores.

En la *imagen a)* se obtiene tras medición un resultado total de 220.000 m² aprox.

En la *imagen b)* se obtiene tras medición un resultado total de 147.000 m² aprox.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

A continuación, en la **Figura 40**, se indican las superficies de parcelación del puerto interior de Ferrol.



Figura 40. Mediciones por parcelas del puerto interior. Medición con la superficie total indicado en rojo.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Atendiendo a estas mediciones presentadas en la figura anterior;

- Parcela 1: 70.000 m² aprox.
- Parcela 2: 99.000 m² aprox.
- Parcela 3: 21.000 m² aprox.
- Parcela 4: 24.000 m² aprox.
- Superficie total utilizable: 213.000 m² aprox.

La superficie total del puerto exterior es de 347.000 m² y, por otro lado, estarían disponibles los 140.000 m² aprox. proyectados anteriormente en el polígono del Río del Pozo (*figura 37* de este capítulo). Sin embargo, se limitará el estudio a la superficie útil del puerto exterior al disponer de los espacios requeridos y no contar con ferrocarril de alta capacidad hasta el polígono. Así aparece indicado en la **Figura 41**, al reubicar las instalaciones del puerto interior con la superficie de cada parcela tras ocupar un área similar en el puerto exterior.

Propuesta de parcelación del P.E. Ferrol

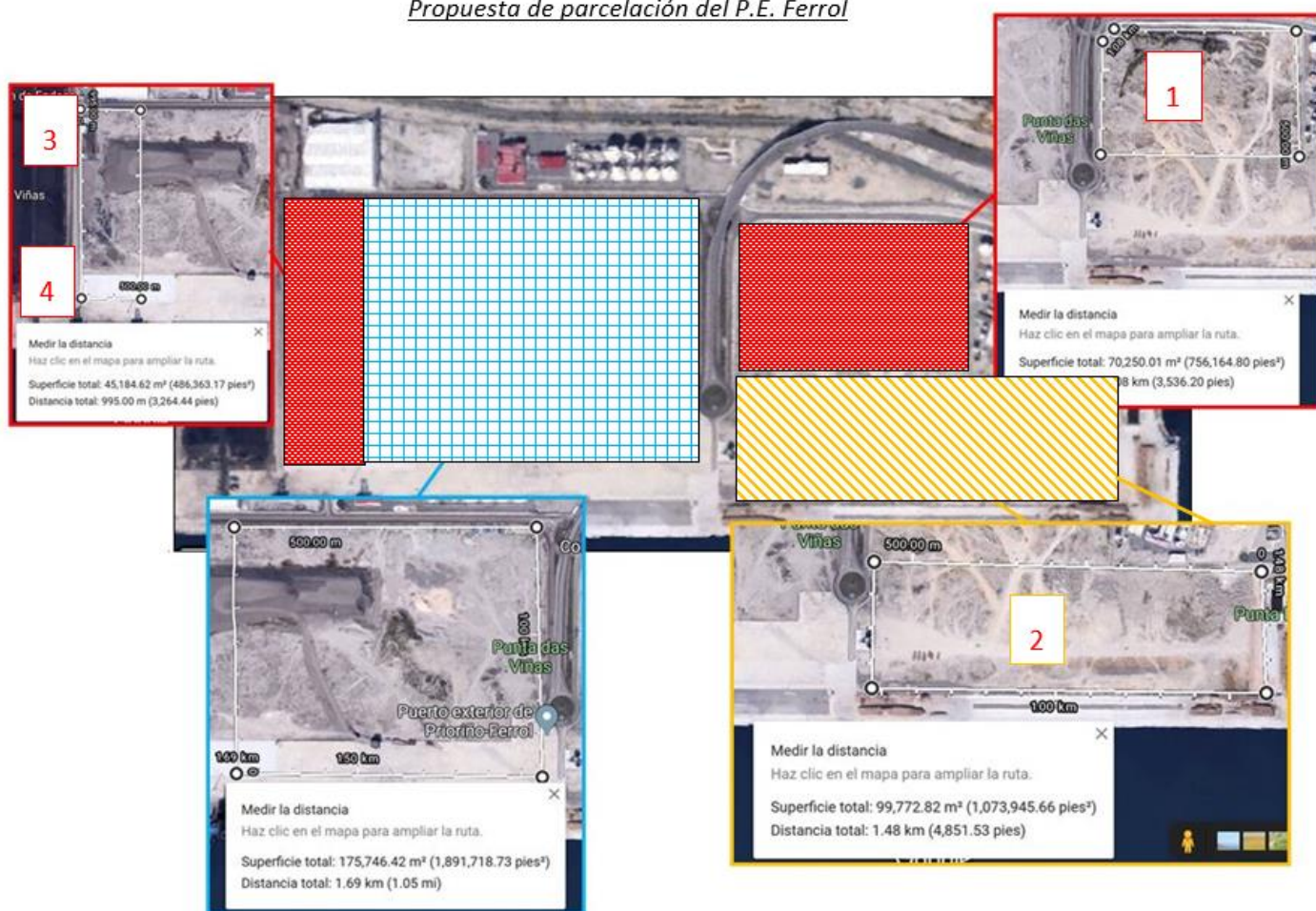


Figura 41. Parcelas del puerto exterior con superficie ocupada con empresas de la dársena interior.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Terminando este análisis sobre la reconfiguración del puerto interior y exterior con el objeto de aumentar las relaciones puerto-ciudad en Ferrol, se expone, en la **Figura 42**, una aproximación sobre el resultado final de esta nueva ubicación de empresas que proyectará una nueva fachada marítima en la ciudad con una integración sostenible del puerto interior.



Figura 42. Vista aérea de las explanadas del P.E. Ferrol tras la reubicación de las empresas del puerto interior. Las empresas y mercancías del puerto interior son asignadas en cada nueva parcela según los metros cuadrados. La parcela 5 se dedica exclusivamente a contenedores junto a la parcela del polígono.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Tras esta planificación se obtiene una superficie (parcela 5, figura 42) de contenedores lo suficientemente amplia para servir como nodo logístico y con la conexión al polígono del Pozo por ferrocarril -subterráneo la mayor parte del trayecto- queda definida la infraestructura logística para proporcionar un servicio competitivo en mercancías contenerizadas manteniendo los volúmenes de descargas de graneles sólidos actuales. Siendo decisiva la iniciativa privada en coordinación con los planes puerto-ciudad y ligada a una apuesta firme del Ministerio de Fomento para alcanzar la inclusión del P.E. Ferrol en el plan de infraestructuras TEN-T. Un Puerto del Estado, de interés general, sujeto al Libro Blanco del transporte (véase **Figura 43**) debe fomentar, entre otros aspectos, el transporte ferroviario, marítimo e intermodal.

7. Transporte multimodal de mercancías: Flete electrónico

Crear el marco adecuado para hacer posible la localización de mercancías en tiempo real, garantizar la responsabilidad intermodal y fomentar el transporte limpio de mercancías:

- Poner en práctica los conceptos de «ventanilla única» y «ventanilla administrativa única» mediante la creación e implantación de un documento de transporte único en formato electrónico (carta de porte electrónica) y la creación del marco adecuado para el despliegue de las tecnologías de seguimiento y localización, RFID, etc.).
- Garantizar que los regímenes de responsabilidad fomenten el transporte ferroviario, el transporte por vía de navegación y el transporte intermodal.

Figura 43. Captura de imagen del Libro Blanco del transporte. Página 20. Recomendaciones para un desarrollo sostenible en el sector transporte. En rojo una de estas directrices.

Fuente: Unión Europea. Libro Blanco del Transporte.

Enlace: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_es.pdf

Para mayor abundamiento, el mismo documento insiste (indicado en la **Figura 44**) sobre la necesidad de desarrollar una infraestructura moderna a través de una financiación inteligente con el objetivo de incrementar la cohesión territorial y crecimiento económico.

35. Corredores multimodales de mercancías para unas redes de transporte sostenibles

- Crear en el contexto de la «red básica» estructuras de corredores multimodales de mercancías para sincronizar las inversiones y las obras de infraestructura y dar apoyo a servicios de transporte eficientes, innovadores y multimodales, incluidos los servicios ferroviarios de media y larga distancia.
- Apoyar el transporte multimodal y el negocio de la expedición de mercancías por vagón completo, impulsar la integración de las vías interiores de navegación en el sistema de transporte y promover la innovación ecológica en el transporte de mercancías. Apoyar la introducción de nuevos vehículos y buques y la readaptación de los existentes.

Figura 44. Captura de imagen del Libro Blanco del transporte. Página 26. Recomendaciones para un desarrollo sostenible en el sector transporte.

Fuente: Unión Europea. Libro Blanco del Transporte.

Enlace: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_es.pdf

Un puerto de interés general sin conexión a la red TEN-T estará expuesto a un crecimiento muy lento con el peligro de quedar obsoleto. En el informe¹⁷ sobre el liderazgo de los puertos en mercancías contenerizadas se cita -*Fernández Laxe*- la preocupación principal de los economistas para el impulso de los puertos, en las economías de escala, reside su inclusión en la red de distribución.

Cita: “Finalmente, la sexta fase, se define como una nueva regionalización; esto es, integrando los centros de distribución interior con las terminales de los puertos gateways. El resultado de esta fase impulsa la formación de una red de centros regionales de carga con una mejor eficiencia en lo tocante a la distribución de mercancías en el interior. En este supuesto, los gateways logran una mejor sincronización con sus hinterlands a través de la construcción y utilización de corredores de circulación de mercancías con elevada capacidad de intermodalidad con el ferrocarril y con las barcas para el transporte fluvial.

Rimmer y Comtois (2009) cuestionan las tesis de Notteboom y Rodrigue, cuando afirman que no hay necesidad de una sexta fase, porque llegan a considerar que la re-regionalización no es algo distinto a la descentralización. El debate se centra, pues, en como evaluar las estrategias que conectan el puerto con los centros de distribución”.

La importancia del transporte intermodal radica en las desventajas que puede acarrear una excesiva dependencia en los graneles sólidos proveyendo a centrales térmicas e industrias pesadas del metal cuando la tendencia es reducir las emisiones CO2 o deslocalizar la producción a entornos más competitivos en costes. Se hace necesaria una diversificación capaz de empujar el crecimiento en otros sectores de alto valor añadido y afrontar épocas de crisis con mayor seguridad ante una escasa demanda de estos graneles secos, sin perder de vista el liderazgo positivo que debe ejercer un puerto en la comarca. Implementar nuevas tecnologías, energías, modelos de negocio, etc favorece el ambiente dinámico de la organización, reduce tiempos, agiliza la toma de decisiones ante fluctuaciones de los mercados y ayuda a transformar la imagen en puerto verde.

¹⁷**Informe:** *González Laxe, F. Novo-Corti, I. (2016). Página 40. Título: “Concentración, especialización y liderazgo de los puertos españoles. Análisis de los efectos de la crisis económica.”*

En siguientes apartados se establece la nueva reorganización energética del puerto exterior de Ferrol mediante el dimensionado de una red de generación distribuida basada en 3 fuentes de energía renovable.

- 1- Eólica
- 2- Cogeneración
- 3- Mareomotriz

Para el aprovechamiento de estas fuentes alternativas se plantean estrategias ya explicadas en capítulos anteriores referenciadas en diferentes puertos modelo. Para ello, el planteamiento en el apartado eólico consistirá en dimensionar los aerogeneradores proponiendo dos alternativas.

- a. Una instalación principal de 2 aerogeneradores en el entorno terrestre de 3 Mw.
- b. Una instalación experimental con 2 aerogeneradores de 3 Mw en el espigón diseñados específicamente para off-shore y orientados principalmente para captar los vientos predominantes del sur.

De igual modo se indican dos alternativas en forma de propuesta:

- Una instalación de cogeneración de refuerzo basado en el reciclaje de aceites, combustibles y desechos orgánicos marinos según convenio MARPOL.
- Una instalación mareomotriz de ensayo complementaria.

Todo ello estará monitorizado por un sistema de medición y control inteligente que permita desarrollar una gestión eficiente de la energía. Al disponer de una alta cantidad de energía debido al ingente suministro de los molinos eólicos, sobrepasando por mucho la demanda eléctrica de la Autoridad Portuaria, se contempla un desvío a un sistema de acumulación conformado por baterías dando plena autonomía al puerto, asimismo, el exceso de energía no cubierto por las baterías será inyectado al sistema de red general dando suministro eléctrico a una cantidad importante de hogares en la ciudad.

La tecnología renovable propuesta va asociada a otros sistemas específicos, empleados por su alto rendimiento en calefacción, como calderas de condensación al recuperar una parte del calor latente, sistemas de freecooling (enfriamiento gratuito por aire exterior) o con sistemas térmicos de biomasa para instalaciones de ACS. Se requiere, por tanto, realizar un estudio de cada instalación buscando alternativas basadas en la cogeneración con presencia de calor, o trigeneración en procesos con frío. Así, dependiendo de la actividad de cada empresa, en presencia de gases de alta o baja temperatura podrían establecerse técnicas con sinergias que permitan incrementar todavía más la eficiencia de toda la instalación portuaria.

5 GENERACIÓN DISTRIBUIDA PUERTO EXTERIOR

En este apartado se hace necesaria una breve introducción sobre la normativa específica aplicable en España en instalaciones con redes de distribución en régimen de autoconsumo conectados a Alta Tensión (AT).

- **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2013.
- **Real Decreto-ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. BOE nº 242 de 6 de octubre de 2018.
- **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción de autoconsumo. BOE nº 423 de 10 de octubre de 2015.
- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº 83 de 6 de abril de 2019.
- **Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (texto consolidado). BOE nº 310 de 27 de diciembre de 2000.
- **Real Decreto 222/2008**, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica. BOE nº 67 de 18 de marzo de 2008.
- **Real Decreto 337/2014**, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. BOE nº 139 de 8 de junio de 2014.
- **Real Decreto 1110/2007**, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (texto consolidado). BOE nº 224 de 18 de septiembre de 2007.
- **Real Decreto Legislativo 2/2004**, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Regulatoria de las Haciendas Locales. BOE nº 59 de 9 de marzo de 2004.
- **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos. BOE nº 140 de 10 de junio de 2014.

Dentro de los planes de transición energética incluido su almacenamiento está la *Generación Distribuida* y se define según el **CIGRE (Consejo Internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos)**:

– “Todos los generadores con una capacidad máxima entre 50 MW a 100 MW, conectados al sistema eléctrico de distribución, y que no están diseñados ni despachados de forma centralizada”.

Ajustándose al marco legal de España se proyecta para el Puerto Exterior una instalación eólica inferior a 50 MW que funcionará en régimen de autoconsumo “con excedentes y no compensación” y una potencia superior a 100Kw. Acogiéndose al contrato más ajustado al interés de la instalación.

En una instalación off-grid (no conectada a la red general) la energía es de origen renovable actuando como una microrred que suministra a un único consumidor que distribuye a los demás usuarios del puerto. Será preciso entonces un sistema de baterías de alta capacidad para el almacenamiento de energía capaz de abastecer a una comunidad de consumidores, en cualquier situación, garantizando una red estable y operativa en un enclave alejado. Esto permitirá potenciar el desarrollo de la propia microrred y obtener diferentes ventajas. Entre ellas se pueden destacar:

- Aumento de la eficiencia energética al reducir las pérdidas en el transporte y distribución en cifras superiores al 5%.
- Incrementa el uso de la energía renovable favoreciendo el desarrollo sostenible y la no emisión de gases efecto invernadero al reducir la dependencia de instalaciones contaminantes, la factura eléctrica y diferentes costes asociados.
- Mejora el desarrollo portuario proporcionando una autonomía energética que podrá adquirir mayor dimensión funcionando en conjunto con otras microrredes de ciudades, polígonos o actores autónomos implicados en la microrred portuaria.
- Facilita la transición energética mediante la implementación de sistemas de gestión e información (véase **Figura 45**) más eficaces que aumentará sus rendimientos gracias a la reducción de los precios en generación y almacenamiento con políticas de I+D que aportan alto valor añadido al conjunto de la economía.
- Aumenta el número de líneas de negocio a través de la producción de energía renovable que puede inyectar a la red general operando como productor, o bien, dando servicio a los buques más antiguos y actuales en atraque. Convirtiéndose en puerto escala de avituallamiento y repostaje eléctrico para la nueva generación de buques inteligentes -Smartship- que vendrán dotados con baterías.



Figura 45. Ejemplo ilustrativo de un sistema de comunicación vertiendo los datos a una nube donde se almacenan y comparten por todos los equipos implicados en el tráfico marítimo. Los puertos realizan la función de nodo logístico controlando faros, rutas, servicios, etc.

Fuente: Google Images.

El marco legal ajustado a este puerto exterior queda delimitado dentro de las competencias directas del Estado en los de puertos de interés general pudiendo conceder permisos adicionales para la explotación e impulso de parques off-shore. Esta planificación se ceñirá a una instalación enmarcada dentro del R.D. 1955/2000 en régimen de *no compensación* en su conexión a red, es decir, es obligatorio realizar una inscripción de alta como productor formalizando un contrato donde se contempla la Normativa de Obligaciones Técnicas y Telemidas aplicables junto al Reglamento Fiscal por actividades económicas de producción eléctrica con las correspondientes obligaciones tributarias.

En el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) aparece reflejado todo el proceso administrativo a través de una guía, indicada en la **Figura 46**. En ella está todo el procedimiento a seguir desde el diseño de la instalación de microrred pasando por los requerimientos y tasas administrativas hasta la inscripción con contrato de productor para esta instalación en autoconsumo “con excedentes”.

Instalaciones en autoconsumo CON EXCEDENTES			
1. Diseño de la instalación			
BT = P≤10 kW	BT = P>10 kW	AT	
Memoria técnica	Proyecto técnico	Proyecto técnico	
Distribuidora			
2. Permisos de acceso y conexión / Avaluos o garantías			
Suelo urbano con dotaciones y servicios requeridos por la legislación		Otra tipología de suelo	
Permisos de acceso y conexión			
BT = P≤15 kW	BT = P>15 kW	AT	BT
Exentas	Sí	Sí	Sí
Avaluos o garantías – 40 €/kW			
BT = P≤15 kW	BT = P>15 kW	AT	BT = P>10 kW
Exentas	Sí	Sí	Sí
Tramitación de acceso y conexión para aquellas instalaciones que lo precisen			
BT = P≤15 kW	BT = 15 kW < P ≤ 100 kW	AT	
RD 1699/2011	RD 1699/2011	RD 1955/2000	
3. Licencia de obras			
Consultar la normativa particular del Ayuntamiento del emplazamiento elegido			
Admón. local			
4. Autorizaciones ambientales y de utilidad pública			
BT = P≤100 kW	BT = P>100 kW	AT	
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
5. Autorización administrativa previa y de construcción			
BT = P≤100 kW	BT = P>100 kW	AT	
Exentas	Sí	Sí	
6. Ejecución de la instalación			
7. Certificados de instalación y/o certificados fin de obra			
BT = P≤10 kW	BT = P>10 kW	AT	
Certificado instalación Instalador autorizado	Certificado fin de obra Técnico competente	Documentación puesta en servicio AT según el Reglamento AT	
8. Inspección inicial e inspecciones periódicas			
BT = P≤100 kW	BT = P>100 kW	AT	
Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
9. Autorización explotación			
BT = P≤10 kW	BT = P>10 kW	AT	
No necesita trámite	Sí	Sí	
Certificado instalación	Consultar CC.AA	Consultar CC.AA	
10. Contrato de acceso			
BT = P≤100 kW	BT = P>100 kW	AT	
Exentas – Comunicación modificación contrato a través de las CC.AA	Exentas – Comunicación cambio contrato	Exentas – Comunicación cambio contrato	
11. Contrato de suministro de energía servicios auxiliares			
Obligatorio salvo los casos donde los servicios auxiliares se consideren despreciables. Se pueden unificar con el contrato de consumo en ciertos casos.			
Distribuidora o Comercializadora			
12. Licencia de actividad			
Acogidas a COMPENSACIÓN	Exentas. Consultar normativa Ayuntamiento		
No acogidas a COMPENSACIÓN	Sí. Consultar normativa Ayuntamiento		
Distribuidora o Comercializadora			
13. Contrato compensación excedentes			
Acogidas a COMPENSACIÓN	Individuales	Sí	
No acogidas a COMPENSACIÓN	Colectivas	Sí. Notificación del acuerdo	
No aplica			
Instalaciones en autoconsumo CON EXCEDENTES			
14. Inscripción en el Registro Autonómico de Autoconsumo			
BT = P≤100 kW	AT		
Trámite de oficio realizado por las CC.AA	Sí		
15. Inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de energía eléctrica			
BT = P≤10 kW	BT = P>10 kW	AT	
Trámite de oficio realizado por las CC.AA que enviarán la información por vía telemática.			
16. Inscripción en el Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía Eléctrica (RAIPRE)			
Acogidas a COMPENSACIÓN	No aplica		
No acogidas a COMPENSACIÓN	Sí. Para P≤100 W trámite de oficio por el Ministerio		
17. Contrato de representación en mercado			
Acogidas a COMPENSACIÓN	No aplica		
No acogidas a COMPENSACIÓN	Sí.		
Comercializadora			

Figura 46. Guía profesional de tramitación del autoconsumo. Página 20 de la guía. Tramitación Administrativa. En esta imagen se muestra el proceso para legalizar la instalación eléctrica y la forma de operar ante el Estado mediante 17 pasos preestablecidos.

Fuente: IDAE

Enlace: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>

Para el tipo de conexión seleccionada es preciso un trámite de inscripción en el registro autonómico de autoconsumo con alta en el RAIPRE (*Registro Administrativo de Instalaciones Productoras de Energía*) a través de dos opciones:

1. Mediante acuerdo con empresa comercializadora para la venta de la energía generada.
2. Realizando el propio puerto exterior la venta directa de energía al mercado de energía tras alta como un sujeto más en el mercado de generación.

En el puerto exterior de Ferrol se dan varios condicionantes favorables para actuar como productor al contar con red de transporte y una subestación de transformación eléctrica, seleccionando la opción en el Registro Administrativo la propia Autoridad Portuaria según sus intereses, pudiendo seleccionar la categoría tipo b¹⁸. Durante la tramitación de un proyecto similar habrá que solicitar el acceso y punto de conexión a la red general donde la empresa distribuidora de la zona debe acreditar las líneas disponen de capacidad suficiente y se ajusta a los requisitos obligatorios por Ley.

Para obtener la Autorización de Explotación, en este proyecto se asume, el Estado o la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao aportan las garantías económicas necesarias a través de resguardo acreditativo por cuantía equivalente y fijada, según IDAE, en 40 euros por Kw. Para la conexión en A.T. (Alta Tensión) uno de los requisitos obligatorios a cumplir es presentar un proyecto técnico firmado y visado por un técnico competente, según el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de Seguridad en Alta Tensión (REAT) que quedan fijadas en la instrucción complementaria ITC-RAT-20 y bajo la *Ley 24/2013, de 26 de diciembre*.

En Galicia este proceso aún no está adaptado al RD 244/2019. La normativa vigente parte de la *Instrucción 3/2018, de 30 de abril, de la Dirección General de Energía y Minas, sobre la tramitación administrativa de las instalaciones de autoconsumo, así como los requisitos técnicos mínimos aplicables a estas instalaciones (DOG nº96 de 22 de mayo de 2018)*.

Uno de los principales objetivos es convertir al puerto exterior en un productor de energía capaz de obtener beneficio con dicha actividad e incluso ganar asociados en la propia ciudad de Ferrol logrando rentabilidad y buen servicio. En un futuro, sufragar los costes de una instalación off-shore de mayor capacidad puede ser un aliciente para los ciudadanos decidan participar en su impulso.

¹⁸ **categoría tipo b:** tipo al cual pertenecerán aquellos casos de suministro con autoconsumo con excedentes, en su apartado iii. "Aquellos en los que, aun cumpliendo con los requisitos previstos en la modalidad tipo a, el consumidor opte por la existencia de dos sujetos: productor y consumidor". Fuente: "MEMORIA DEL ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO DE LA PROPUESTA DE REAL DECRETO POR EL QUE SE REGULAN LAS CONDICIONES ADMINISTRATIVAS, TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DEL AUTOCONSUMO". Ministerio para la Transición Energética.

Enlace: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/participacion-publica/2019_01_29_main_rd_autoconsumo_final_tcm30-486581.pdf

Según especifica la normativa, la potencia total de la instalación eólica junto al sistema de cogeneración y el prototipo mareomotriz no superará los 100MW. La presencia de una subestación transformadora próxima y los análisis de viento de la zona favorecen una instalación terrestre utilizando 4 generadores y con 2 específicos para off-shore¹⁹ con la vista puesta en el futuro desarrollo de un parque marino a varias millas de la costa.

5.1 Emplazamiento.

Esta instalación está planificada, además del servicio eléctrico que proporciona, para servir como test avanzando a enclaves más alejados a la costa obteniendo datos fiables y extrapolables a un parque eólico marino próximo. La situación geográfica aproximada de las turbinas eólicas está indicada en la **Figura 47**.

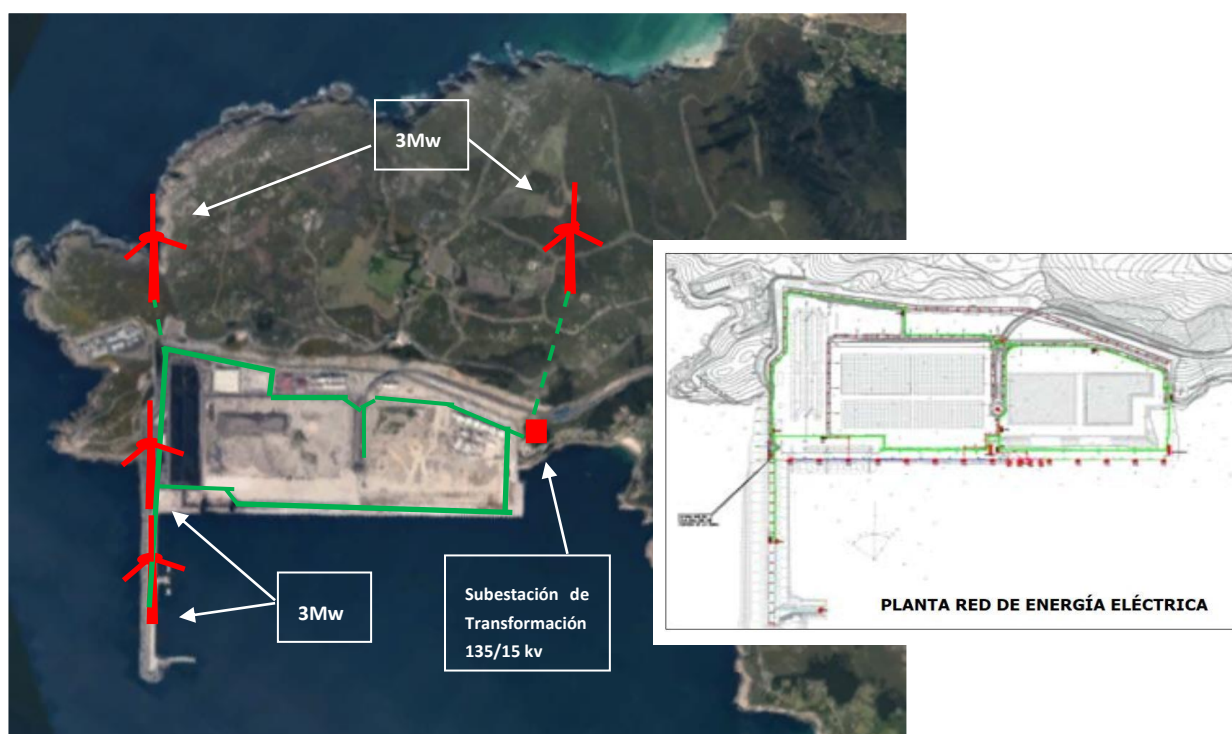


Figura 47. Vista aérea de la zona y el puerto donde están indicados en rojo los 2 molinos de 3 Mw en tierra, los 2 molinos de 3 Mw en el espigón del puerto y la subestación. También aparece indicado un plano en planta de la red eléctrica contenido en el díptico del proyecto de instalaciones del puerto exterior de Ferrol.

Fuente: Google Maps. Elaboración propia. *Fuente plano:* Autoridad Portuaria.

Enlace: <https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2017/07/D%c3%adptico-Proyecto-de-instalaciones-servicios-y-explotaci%c3%b3n-Pto-Exterior.pdf>

Un puerto de estas características podrá satisfacer la demanda de los grandes trasatlánticos y desarrollar en paralelo un plan de transporte portuario con vehículos eléctricos en el propio parque móvil de la Autoridad Portuaria dando suministro eléctrico e impulsando una transición energética en el entorno de la ría de Ferrol y la ciudad.

¹⁹*off-shore:* la decisión última en la selección del generador quedará establecida por las recomendaciones del fabricante. En este caso se opta por turbinas off-shore para una futura reutilización, en un hipotético parque marino cercano, y las condiciones de trabajo a las que estarán sometidos es un ambiente prácticamente marino y bastante hostil.

Algunos de los factores decisivos para la elección del emplazamiento de los molinos eólicos, y que serán objeto de estudio más profundo en apartados siguientes, fueron:

1. El recurso eólico, la zona presenta alto potencial de generación eléctrica al dominar los vientos en dirección Norte y Sur con medias de producción anual rentables.
2. Red de transporte próxima, el puerto cuenta con Subestación de Transformación y tendido eléctrico de diferentes secciones por toda la instalación portuaria. Con la abertura del túnel de tren actual se posibilita una nueva red de alta capacidad, sin costes de excavación, conectada con la ciudad.
3. El transporte del material se realiza por mar, uno de los grandes problemas para la viabilidad de los parques eólicos es la problemática y los costes asociados derivados por el transporte de las palas, góndola o grúas hasta la zona de la instalación del molino. En este caso el material importado se descarga en el mismo puerto y junto al parque eólico. De igual modo su desmantelamiento y posterior regenerado de la zona.
4. Las condiciones del emplazamiento, aunque es necesario desarrollar análisis más específicos en materia ambiental, Red Natura, monumentos, impacto visual, fauna, zona poblada, etc. en una primera aproximación cabe destacar dos de los molinos estarán situados en una antigua zona militar con presencia de restos de baterías defensivas y situado al lado de una instalación de tratamiento de aguas.

5.2 Smartgrid (Redes inteligentes).

Para llevar a cabo una buena gestión de la energía generada por este parque o la consumida por la instalación portuaria, será necesario un sistema TIC de gestión. La propuesta para este parque eólico, y la instalación portuaria, se basa en este tipo de gestión TIC por la tendencia del mercado al fomento de la conexión de un gran número de instalaciones energéticas con funcionamiento poco predecible.

El incremento de la generación distribuida en los mercados implica una necesidad mayor en la automatización de las redes para una mejor conexión e integración en los recursos de energía distribuidos. Aparecen los flujos bidireccionales en la red de transporte de energía que serán sometidos a Telegestión en la media y baja tensión, estableciendo un control sobre las redes al decidir sobre los flujos. Esto requiere inversiones en equipamiento informático, telecomunicaciones, en control de redes y puntos de suministro. Las instalaciones eléctricas irán en paralelo a las redes de telecomunicación. Todo esto propiciará una mayor información y concienciación en el consumidor junto a la apertura de nuevos mercados, productos o servicios al usuario final. Las herramientas necesarias para esta tele gestión de la demanda y oferta estarán fijadas por las

necesidades de la propia red. Con esto se consigue aumentar la competitividad y eficiencia energética en la red evitando pérdidas innecesarias.

Este sistema TIC puede resumir sus funciones en la gestión y tratamiento de datos según indica la **Figura 47**:

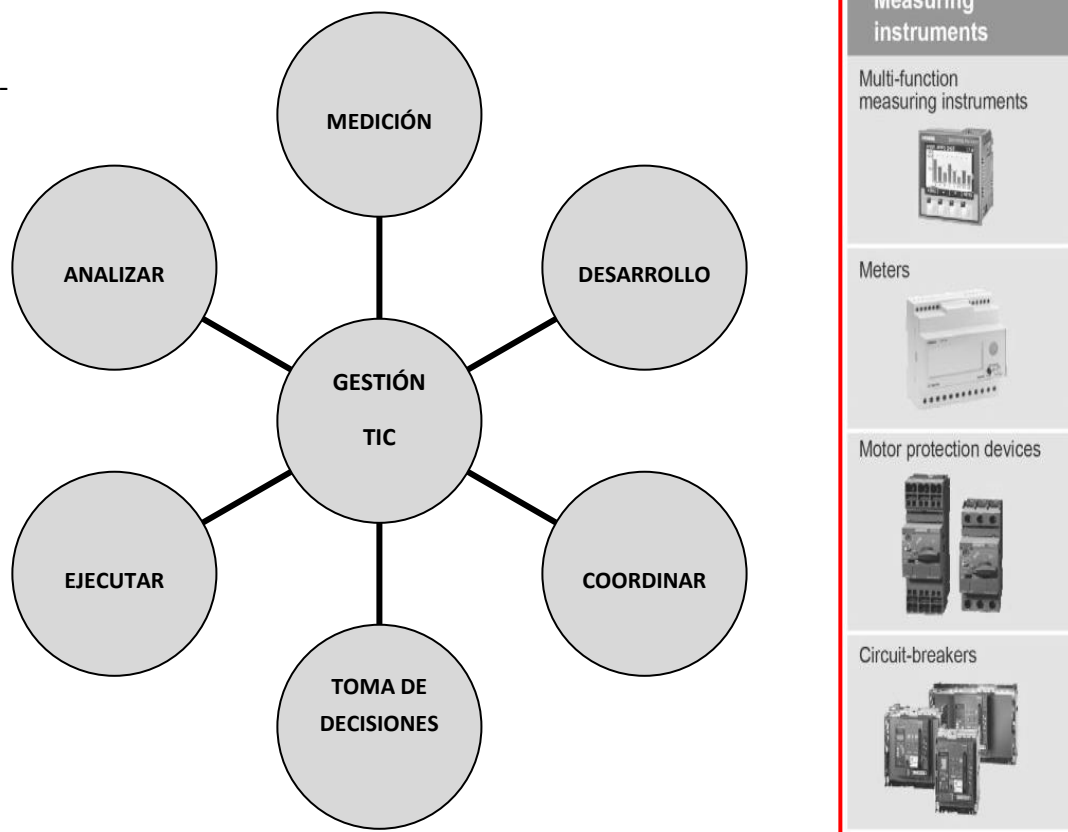


Figura 47. Diagrama de un sistema de gestión TIC donde permite realizar diversas operaciones dando soporte a la Dirección realizando una buena toma de decisiones tras el análisis de los datos. Toda la información es recabada, entre otros, por los equipos indicados en la figura en rojo.

Fuente: Elaboración propia.

Este sistema TIC debe ir acompañado de un Sistema de Gestión Energética donde el puerto tendrá una herramienta para desarrollar e implementar su política empresarial en materia de energía y eficiencia. Reducir el consumo debe ser una prioridad para cualquier ente público o privado desde el punto de vista económico. Todas estas actuaciones son coordinadas a través de un software con el fin de incrementar la eficiencia en las operaciones diarias, reducir costes, mejorar la gestión de facturas, demandas, consumos donde los sistemas de monitorización suelen ir complementados con diferentes aplicaciones digitales que facilitan su uso.

En este sentido serán necesarios equipos de medición que permitan el control y seguimiento de cada operación favoreciendo la resolución de incidencias o a la hora de programar labores de mantenimiento.

También serán precisos programas y softwares especializados en análisis de gran cantidad de datos, siendo elementos clave para la escalabilidad de la instalación:

1. Una buena arquitectura de la nube.
2. Diseño simple y flexible a los cambios.
3. Una jerarquía en la organización.
4. Interfaz de programación (API) para la comunicación entre softwares.

A modo orientativo se indica en la **Figura 48** este modelo de control de los diferentes sistemas conectados a la red inteligente.

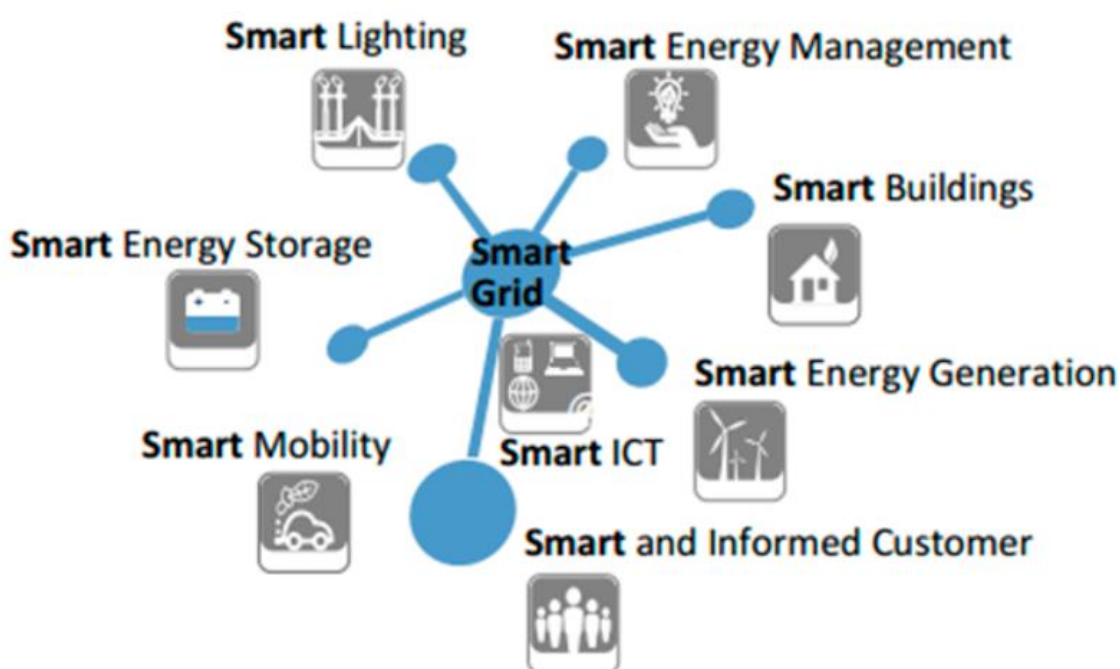


Figura 48. Imagen donde se representa los sistemas implicados en una red de Smart Grid capaz de gestionar multitud de datos para realizar una gestión de la energía eficiente. Por ejemplo, al programar el alumbrado se van apagando determinados focos a medida amanece y reducir la potencia lumínica cada cierto tiempo.

Fuente: Google Images.

Algunos de los equipos necesarios para una red interior de distribución de mediana o baja tensión y presentes en diferentes cuadros eléctricos son:

- Concentrador de medidas
- Supervisor BT
- Bloque de Entradas Digitales
- Equipo de Comunicación GPRSE
- Bornero de Conexiones

Todos estos registros de mediciones, datos, temperaturas, potencias, consumos, demandas, etc. son controladas por una estación modular conectada a servicios WEB y FTP (File Transfer Protocol). El esquema indicado en la **Figura 49** es para una instalación de red interna de consumidores para Media y Baja Tensión.

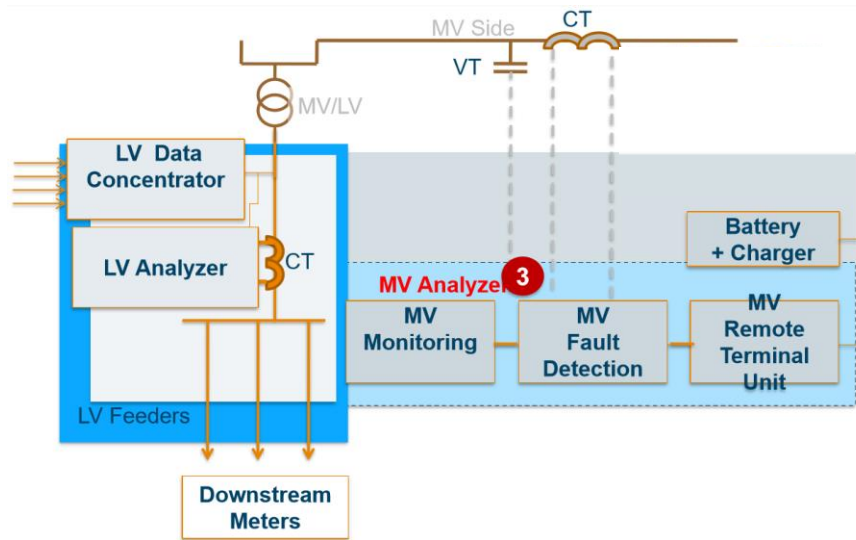


Figura 49. Sistema de análisis para media y baja tensión con concentrador de medidas junto a analizador. En el punto 3 en rojo se indica la zona de media tensión mientras que donde están los alimentadores (Feeders) se corresponde a la zona de baja tensión. Cada uno lleva su CT (Current Transformer).
Fuente: Apuntes asignatura Smartgrid. Máster Eficiencia y Aprovechamiento energético. Universidad de la Coruña.

La regulación y medición de potencia está fijada, véase **Figura 50**, por el Ministerio.

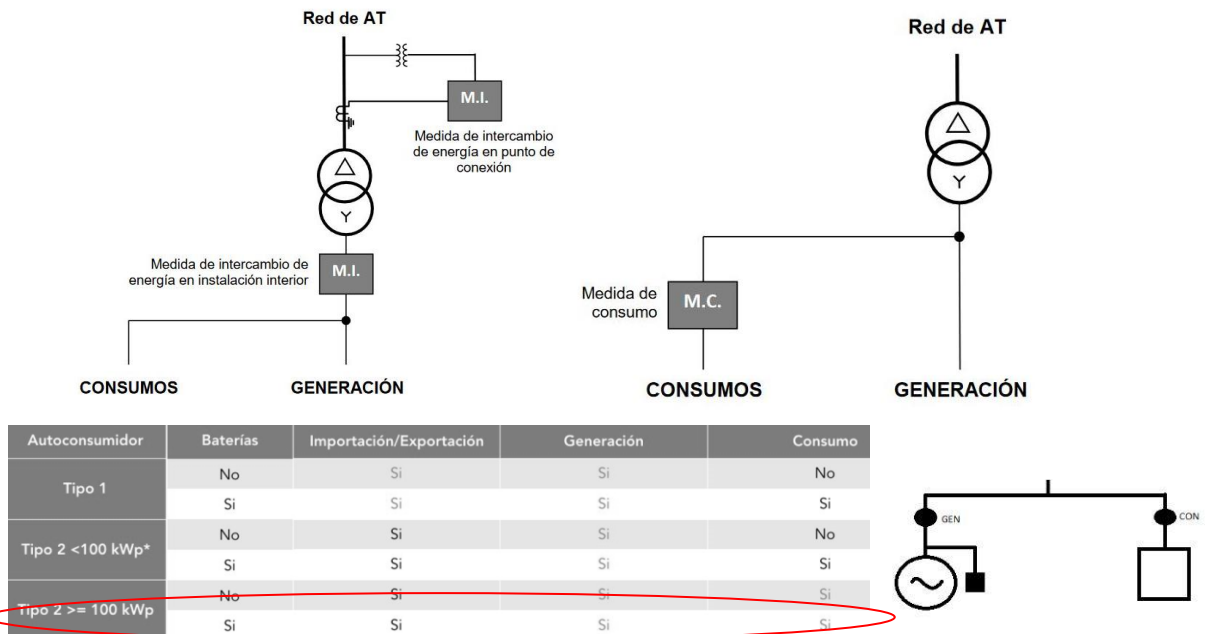


Figura 50. Esquemas de regulación de intercambio de potencia actuando sobre el sistema de consumo en instalaciones conectadas a redes de alta tensión. En círculo rojo el contrato tipo 2 >100Kw con baterías.

Fuente: Ministerio para la Transición Energética.

Enlace: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/participacionpublica/2019_01_29_main_rd_autoconsumo_final_tcm30-486581.pdf

En esta distribución de la energía inteligente es necesaria una planificación de cómo se comportará la microrred y el flujo de energía. Para ello será preciso planificar un código de actuación dando prioridad a sistemas imprescindibles para el funcionamiento del puerto y su seguridad ante posibles fallos de suministro eólico por falta de viento.

Se puede observar, en la **Figura 51**, una propuesta de *Smartgrid* para el puerto exterior con una distribución interna de energía en las instalaciones.

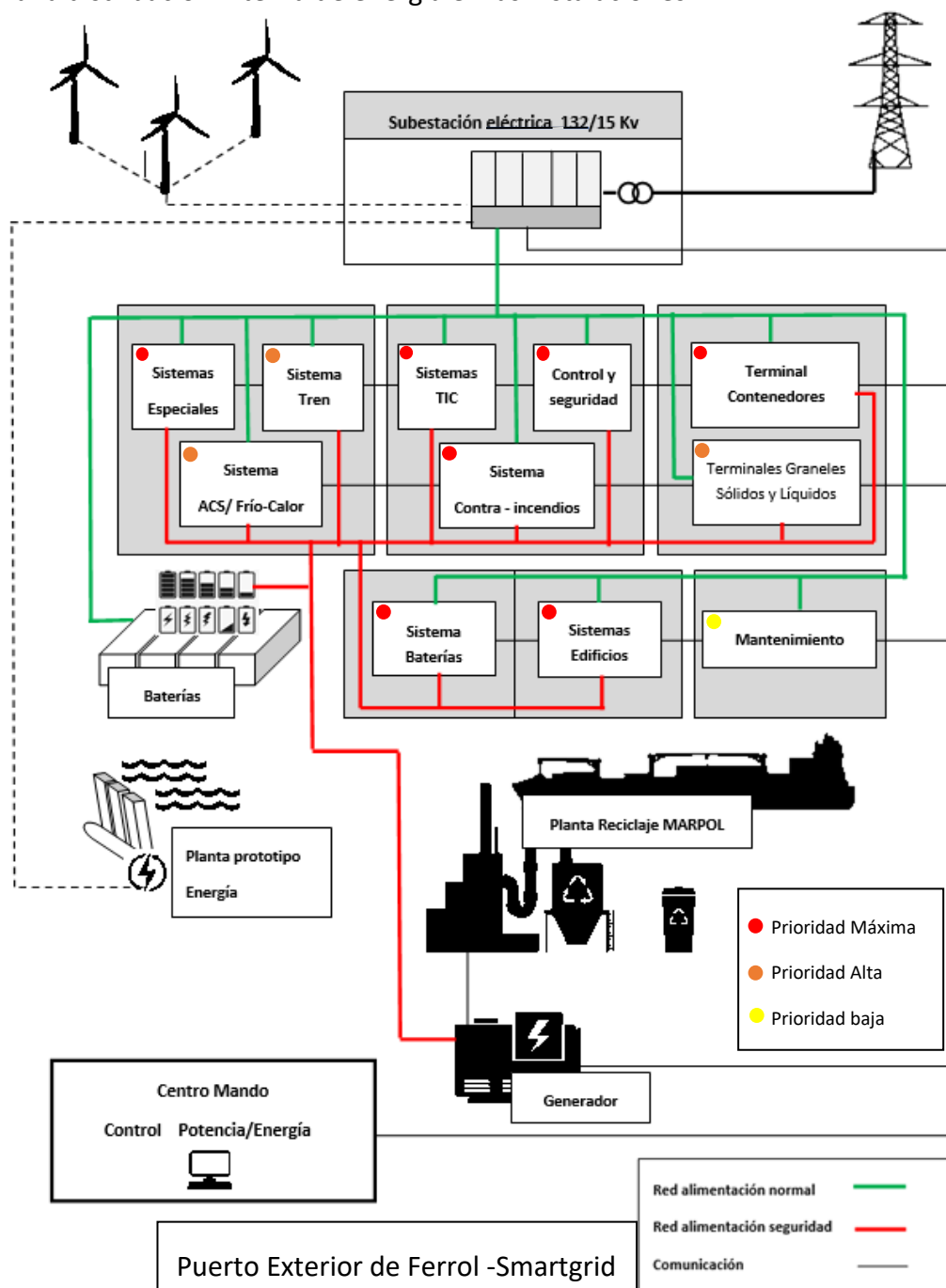


Figura 51. Smartgrid de energía para régimen normal y de seguridad gestionado con sistema TIC. Se indican el Parque eólico, la planta de cogeneración y la planta prototipo mareomotriz. La planta de cogeneración no está planificada para inyectar electricidad a red, sólo alimenta el puerto y las baterías. En caso de emergencia se corta suministro por zonas según importancia empezando por la zona de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de sistema Siemens.

Una red de Smart Grid tendrá el objetivo de gestionar multitud de datos y allanar los picos de la curva de demanda eléctrica, indicada en la **Figura 52**, mediante diferentes tipos de tarifarios. A través de técnicas de gestión de datos se podrán crear previsiones de consumo más precisas al disponer de multitud de variables transmitidas por los medidores, contadores inteligentes o analizadores pudiendo realizar un análisis profundo y más fiable al realizado mediante lectura manual de los datos.

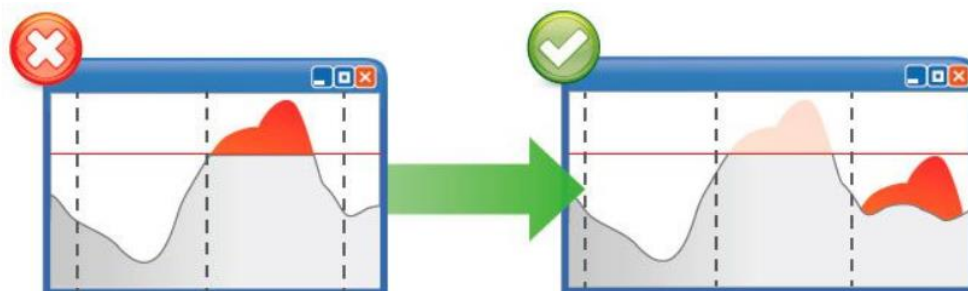


Figura 52. Ejemplo didáctico de una Curva de Demanda de consumo. En el primer ejemplo el pico se encuentra fuera del rango de tarifa contratada. Mediante un sistema SmartGrid la gestión de datos permite situar ese consumo en horarios controlados abaratando la factura eléctrica.

Fuente: Google Images.

El allanamiento de esta curva en uso doméstico permite grandes ventajas tanto para el consumidor reduciendo su factura de luz mediante hábitos de consumo planificados y para la compañía eléctrica suministradora al bajar la carga en la red general. Por tanto, el uso de Redes Inteligentes lleva asociado una reducción del consumo y menos emisiones de CO₂. De acuerdo con esto, el Puerto Exterior, implementando una red de generación distribuida obtendrá las siguientes funcionalidades;

- Incrementar el tratamiento de información digital y control de tecnologías al mejorar la eficiencia, seguridad y fiabilidad de la red eléctrica. La optimización de la red se realiza mediante sistemas operativos dinámicos bajo vigilancia informática.
- Facilidad para priorizar en las energías limpias focalizando sobre la demanda eléctrica al promover consumos más eficientes y descentralizado de la red general
- Impulsar tecnologías inteligentes que realicen registros en tiempo real a través de procesos automatizados fluyendo la información en sentido bidireccional. Asimismo, alienta la investigación en baterías o sistemas de almacenamiento al facilitar la gestión de la energía en los picos de consumo.
- Influenciar al entorno de la Autoridad Portuaria bajo una infraestructura donde los usuarios integren medidores inteligentes en elementos de consumo.
- Generación de bases de datos e información para administrar el consumo de la instalación y desarrollo de arquitectura digital conectando equipos a red.

Este sistema contará con un Nodo de interoperabilidad en el edificio de control que gestionará la energía a través de un protocolo de comunicaciones, véase **Figura 53**, mediante conectividad con diferentes equipos. Estos protocolos están regulados por la IEC TC 57 (*International Electrotechnical Commission Technical Committee*) estableciendo una forma general de actuar sobre la red de comunicaciones del sistema eléctrico. Los principales protocolos en Smart Grid suelen ser:

- IEC 60870-5 (WG3) *Comunicación SCADA de control de datos sobre líneas TPC/IP.*
- IEC 60870-6 (WG7) *Inter Control Communications Protocol (ICCP). Redes WANs.*
- IEC 61970 / 68 (WG14) *Energy Management/Common Information Model (CIM)*
- IEC 61968 (WG14) *Distribution Energy/ Common Information Model (CIM)*
- IEC/TR 62357 (SAO) *Service Oriented Architecture*
- OPENADR *Open Automated Demand Response*
- OCPP *Open Charge Point Protocol*

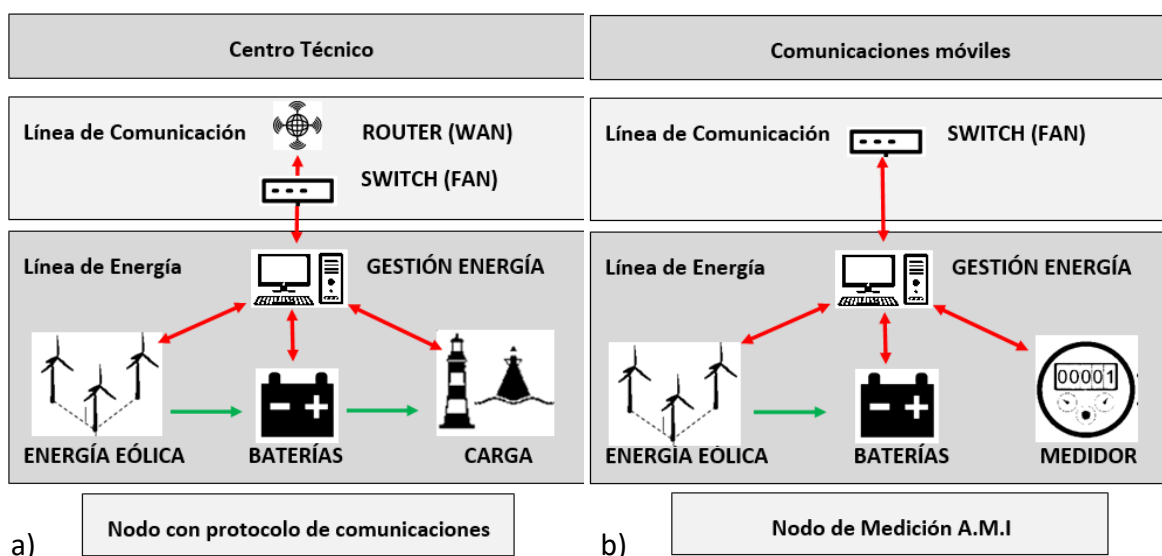


Figura 53. a) Nodo con servidor de gestión de iluminación portuaria (Faros, boyas, señalizaciones luminosas) conectados a una red de nivel superior (WAN). b) Nodo de medición de flujo de potencia y energía en zona asignada, dispositivo con infraestructura de medida avanzada (AMI) permitiendo leer en cada nodo el flujo de energía. Estos nodos permiten la integración de las energías renovables y sistemas de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En esta transición energética hacia la descarbonización y la descentralización de la generación eléctrica junto a unos consumidores más participativos los puertos tienden a una transformación en microrred autónoma de energía con alto potencial para el fomento del desarrollo sostenible. Según lo explicado en la gestión de esta energía habrá

medidores que ofrecerán lecturas de consumo para aplicar los coeficientes de pérdidas según normativa.

Todos los consumidores, por tanto, acogidos a un régimen de autoconsumo están obligados a disponer de un equipo de medida bidireccional en el punto frontera, o en su defecto, un medidor en cada uno de los puntos frontera que se establezcan en la red. Esto permitirá el control de la demanda de cada consumidor dentro de la microrred portuaria y una mejor gestión de la energía reactiva. Es importante tener en cuenta los peajes y cargos fijos o variables asociados a fuentes renovables son inferiores, o nulos, en instalaciones auxiliares de producción a partir de energías limpias. De igual forma en los sistemas de cogeneración sujetos a equipos de medida en punto frontera los cargos fijos y variables serán nulos.

Para verificar la condición de Tolerancia en régimen permanente del sistema se realiza un ensayo²⁰ siguiendo una secuencia de operaciones consistente en conectar el generador a ensayar a una fuente de energía capaz de generar la potencia requerida para la prueba, seguidamente, conectar el generador a la red a ensayar estableciendo el valor de carga (indicados en la **Figura 54**) y permaneciendo a la espera dos segundos antes de iniciar el muestreo. Una vez se inicia la prueba se mide la potencia intercambiada realizando medidas cada 50ms y aplicando una incertidumbre mayor o igual al 0,5%.

Régimen de conexión	Fase R	Fase S	Fase T
Monofásico.	90÷100%		
	10÷20%		
	0		
Trifásico.	90÷100%	90÷100%	90÷100%
	10÷20%	10÷20%	10÷20%
	0	0	0
	90÷100%	60÷70%	60÷70%
	60÷70%	60÷70%	60÷70%
	30÷40%	60÷70%	60÷70%
	0	60÷70%	60÷70%

Figura 54. Tabla con la definición de Cargas establecidas por la normativa. Se indican los valores en % sobre la potencia nominal del generador a ensayar.

Fuente: Boletín Oficial del Estado (B.O.E A-2019-5089)

Enlace: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-5089&p=20190406&tn=6>

En respuesta ante desconexiones de carga el sistema de limitación de potencia debe garantizar el generador reajusta su producción en régimen permanente en menos de 2 segundos. La tensión en la red interior del puerto estará acogida a magnitudes de potencias inferiores a 100kw tomándose en el lado de red del interruptor automático general para las instalaciones de alta tensión o en los interruptores principales de los generadores en redes de baja tensión. La frecuencia de protección para reconexión se establece en medidas igual o menor a 50Hz según indica la **Figura 55**.

²⁰**ensayo:** Protocolo establecido por ley y recogido en el BOE A-2019-5089. Página 35709.

Parámetro	Umbral de protección	Tiempo máximo de actuación
Sobretensión –fase 1.	Un + 10%	1,5 s
Sobretensión – fase 2.	Un + 15%	0,2 s
Tensión mínima.	Un - 15%	1,5 s
Frecuencia máxima.	50,5 Hz	0,5 s
Frecuencia mínima.	48 Hz	3 s

Figura 55. Protecciones de la conexión máxima y mínima frecuencia (50,5 Hz y 48 Hz con una temporización máxima de 0.5 y de 3 segundos respectivamente). Valores de máxima y mínima tensión entre fases (1,15 Un y 0,85 Un). En baja tensión se generaliza para todos los demás niveles.

Fuente: B.O.E A -2011-19242.

Enlace: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-19242-consolidado.pdf>

Según el BOE A-2019-5089 existen unos niveles de tensión para operar en régimen de autoconsumo donde el puerto exterior operará como consumidor en Baja (hasta 1Kv) y Media tensión (>1Kv y <36Kv) en la microrred interior **-Figura 56-** y en Alta Tensión (entre 36Kv y <200Kv) en régimen de productor vertiendo a la red los excedentes. El rango de potencia instalada en esta planificación portuaria, según la normativa aplicable, se sitúa en un rango superior a 1 Mw.

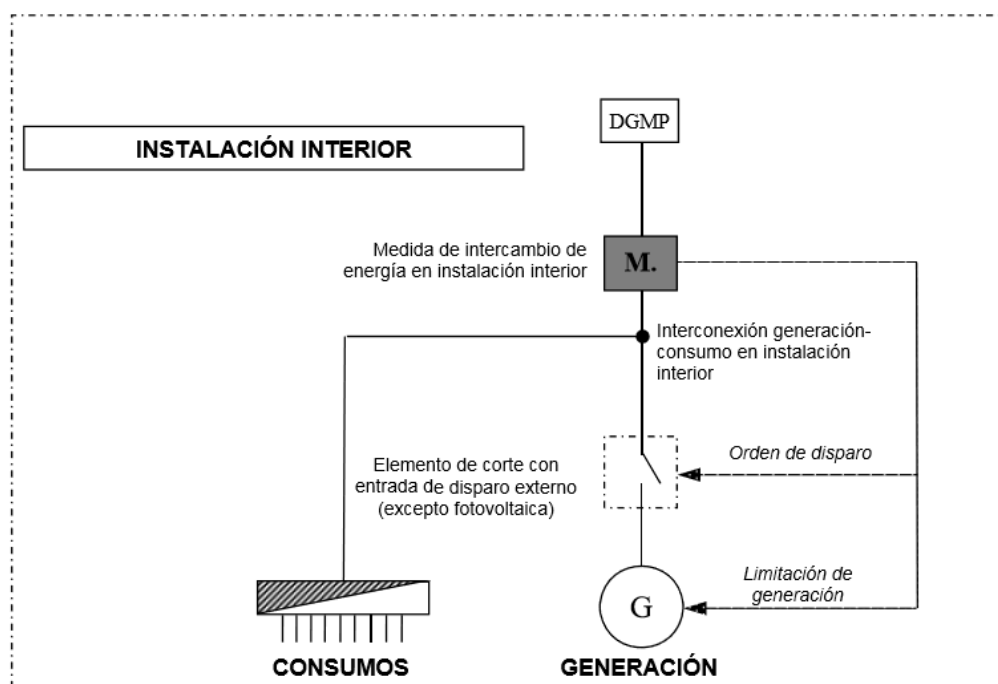


Figura 55. Esquema recogido en el BOE A-2019-5089 sobre instalaciones conectadas a redes de baja tensión con equipo de medida de intercambio de energía.

Fuente: BOE A-2019-5089.

Enlace: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-5089&p=20190406&tn=6>

Existen diferentes configuraciones en la *Guía Técnica de aplicación al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* o en la *Guía de Autoconsumo del IDEA (Figura 56)* seleccionando para la instalación del puerto exterior de Ferrol un esquema, basado en los

ejemplos de las mencionadas guías, aunque ajustado a nuestro modelo según se puede comprobar en la **Figura 57** para la propuesta de la Autoridad Portuaria de Ferrol.

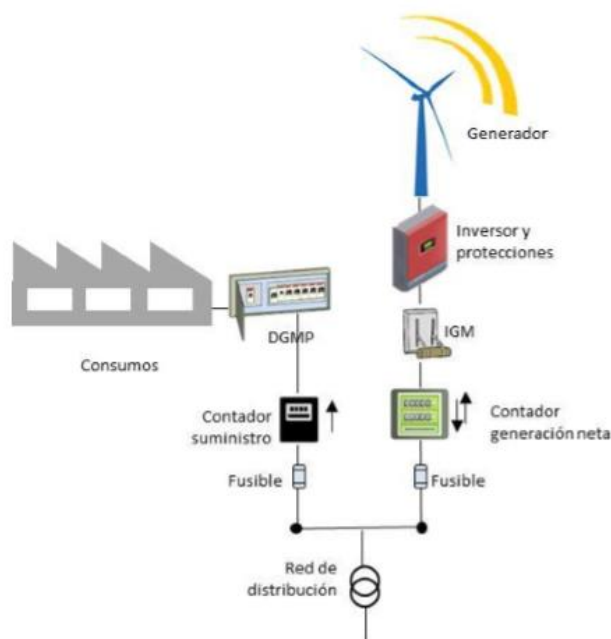


Figura 56. Instalación prototipo expuesta en la Guía IDAE de autoconsumo reflejando un esquema basado en la energía eólica, sin almacenamiento, conectada a una red próxima en régimen de autoconsumo con excedencia. Se indica la secuencia de equipos de medición y protección.

Fuente: Guía para la tramitación de Autoconsumo IDAE.

Enlace: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>

Propuesta Esquema Red Generación Distribuida Puerto Exterior Ferrol

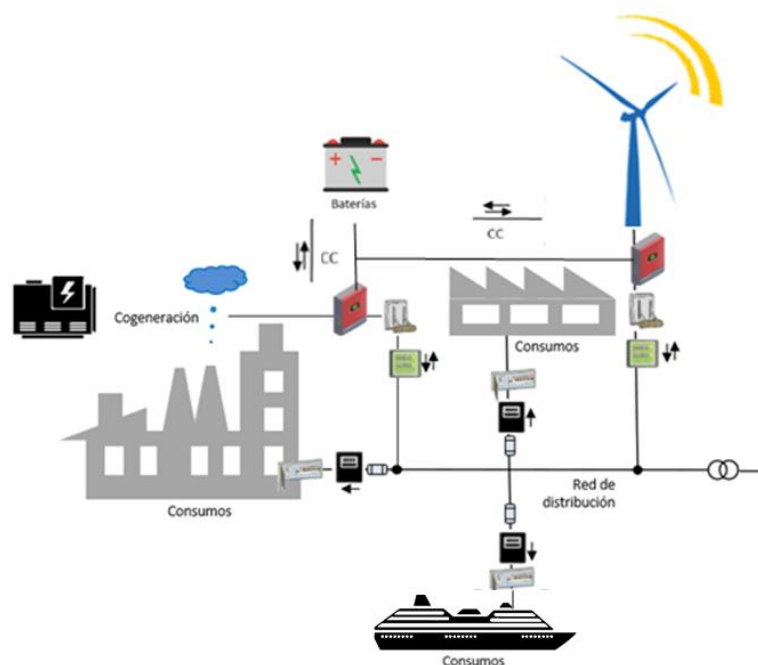


Figura 57. Ejemplo de un esquema para una Red de Generación Distribuida portuaria con sistema de cogeneración basado en residuos recogidos en MARPOL y una fuente principal de generación eólica. La microrred está conectada a un sistema de almacenamiento por baterías.

Fuente: Elaboración propia a partir de esquema IDAE.

Recapitulando lo expuesto en este apartado, la red de información (TIC) y energía para la microrred de la Autoridad Portuaria de Ferrol propuesta en este trabajo podría aproximarse al esquema indicado en la **Figura 58** y alcanzar el concepto de **Smart Port**.

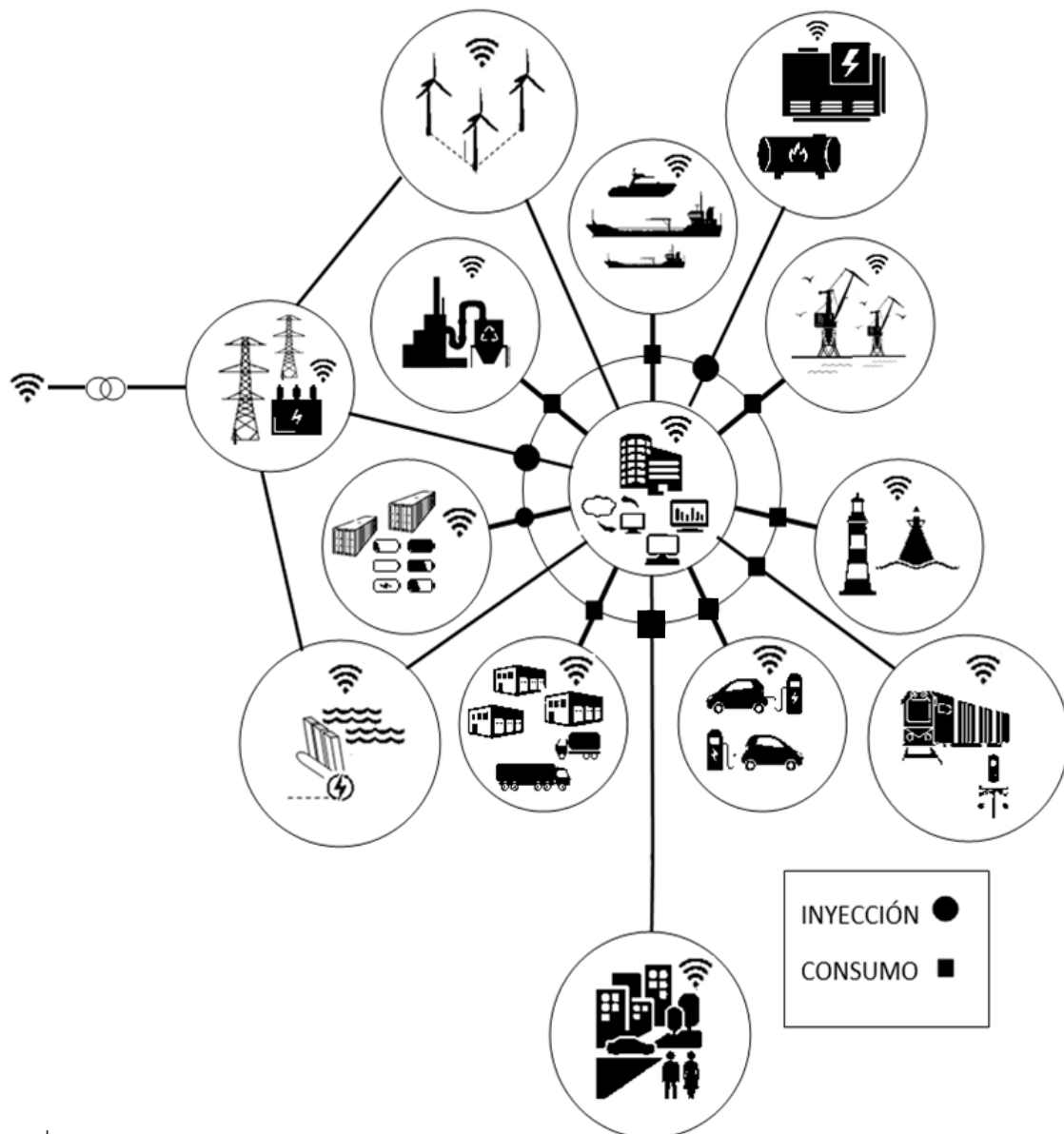


Figura 58. Smart Grid → Smart Port. Red de generación distribuida con sistema TIC de gestión energética. Propuesta de esquema para la Autoridad Portuaria de Ferrol. En la microrred la Autoridad Portuaria gestiona desde la nube todos los datos recogidos de las redes conectadas a ella. La energía estará gestionada desde el control de mando (centro de la imagen) controlada a través de los sistemas TIC y con capacidad de comunicación bidireccional contribuyendo a allanar la curva de demanda y a reducir CO₂. Las líneas negras representan tendido eléctrico y cables de comunicación simulando las conexiones a un anillo eléctrico de la microrred gestionado desde el control de potencia en el centro de la imagen. Inyecta energía a dicho anillo 2 instalaciones, aparte de las baterías, según se indica en la figura:

1. La subestación eléctrica, propiedad de la Autoridad Portuaria, a través de energía eólica y marina.
2. La planta de cogeneración de residuos MARPOL. No contempla inyección a red general de energía

Fuente: Elaboración propia

5.3 Sistema de almacenamiento de energía. Baterías.

Para que el Puerto Exterior disponga de autonomía energética se planifica un sistema de almacenamiento basado en baterías de la familia Li-Ion (**Figura 59**). Debido a su reducción de costes en los últimos 10 años, y la experiencia adquirida en el desarrollo de esta tecnología, se facilita la integración en sistemas de microrredes al resultar ya competitiva. Aunque una nueva generación de sistemas de almacenamiento está por llegar se opta por un sistema ya utilizado en diferentes plantas eólicas, de acuerdo con los estándares definidos en este trabajo.



Figura 59. Contenedor de baterías de la marca SAFT de Li-Ion. Con capacidad para almacenar 2,5 Mw de energía y un rendimiento de 1,2 Mw de potencia. Es capaz de realizar varios ciclos diarios donde los tiempos de descarga suelen estar entre las 2 y 4 horas. Este tipo de Baterías suele implementarse en sistemas energéticos con gran orientación industrial. Su competidor Tesla tiene propuestas competitivas con rendimientos superiores y módulos de hasta 5 Mw con ciclos de descargas de hasta 6 horas.

Fuente: SAFT Batteries.

Enlace: <https://www.saftbatteries.es/>

Estos sistemas disponen de tecnología para interactuar con los sistemas Smartgrid pudiendo controlar unidades de baterías de forma independiente y monitorear la carga-descarga, o incluso, supervisar mediante analizadores el estado general ayudando a programar el mantenimiento. Son de fácil y rápida instalación pudiéndose colocar diferentes módulos o contenedores para aumentar la capacidad de almacenamiento de la instalación y permitir la autonomía energética.

Existen por la condición, geográfica favorable, de los puertos exteriores en la costa marítima otros sistemas de almacenamiento basados en el aire comprimido mediante bolsas o tanques especialmente ubicados en el fondo marino y conectados a tierra a través de múltiples tecnologías. Se indica, en la **Figura 60**, el proyecto REMORA basado en almacenamiento de aire comprimido mediante turbinas de bomba y cámara de compresión. El proyecto, tras los ensayos del prototipo, indica eficiencias superiores al 70% comparado con otros sistemas de almacenamiento mostrándose muy competitivo.



Figura 60. Representación gráfica del proyecto REMORA. En la imagen se aprecia un tanque en el lecho marino donde es almacenado el aire comprimido. La Bomba empuja en la cámara de compresión el aire contenido en el tanque. Para recuperar la energía eléctrica se utiliza el proceso inverso utilizando equipos eléctricos y electromecánicos que permiten convertir el aire comprimido en electricidad o viceversa. Según se indica en el proyecto existe una configuración estándar fijando una relación de 15 tanques por plataforma de almacenamiento. Equivalente a: 15 Mw - 90Mwh – 6 horas de descarga.

Fuente: Segula Technologies

Enlace: https://www.segulatechnologies.com/es/innovation_project/remora/

En el puerto exterior se implementará un sistema de baterías dimensionado para proporcionar autonomía energética a sus instalaciones. Para ello se recurre a una Curva de Carga de una instalación industrial estándar con el objetivo de cubrir mediante baterías aquellas horas de demanda eléctrica donde el viento no esté presente. Esto permitirá allanar la Curva sin necesidad de recurrir a la Red Eléctrica.

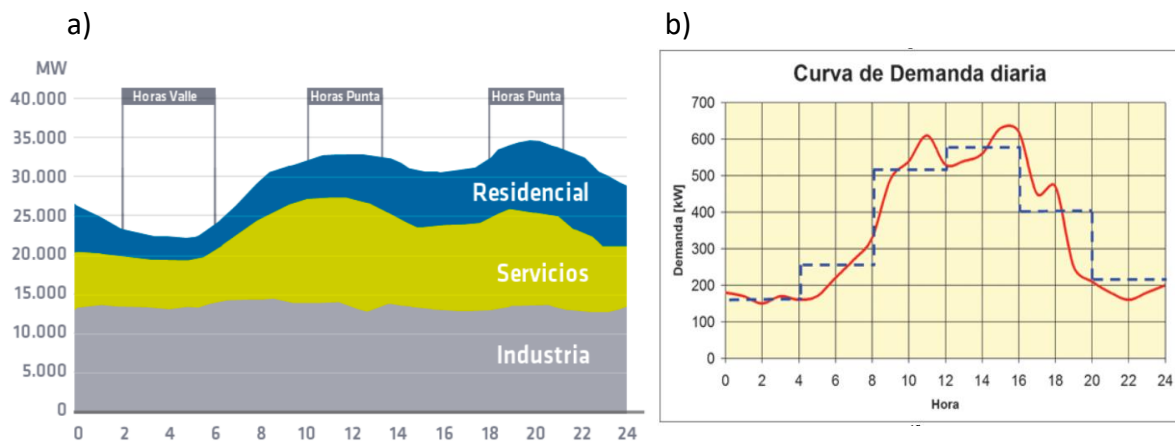


Figura 61. Curvas de Demanda eléctrica.

En la curva a) se muestra una relación de las curvas de demanda por sector residencial, servicios e industria. El puerto exterior está incluido en el sector industria.

En la curva b) se muestra un escenario supuesto de una empresa que opera en el sector industrial. Donde la curva roja representa la demanda eléctrica y la línea a trazos la discretización de las pérdidas en su consumo eléctrico. Esta última curva de demanda será utilizada como ejemplo para dimensionar el parque eólico y sistema de almacenamiento.

Fuente: Figura a): Red Eléctrica España. Figura b) Guevara Vicuña, Cristián. "Métodos prácticos para lograr ahorros de energía eléctrica".

Según lo indicado, en la **Figura 61.b**, se utilizará la Curva de Demanda diaria de una empresa tipo que opera en el sector industrial con el propósito de allanar la curva mediante la implementación de un sistema de baterías con celdas de media tensión.

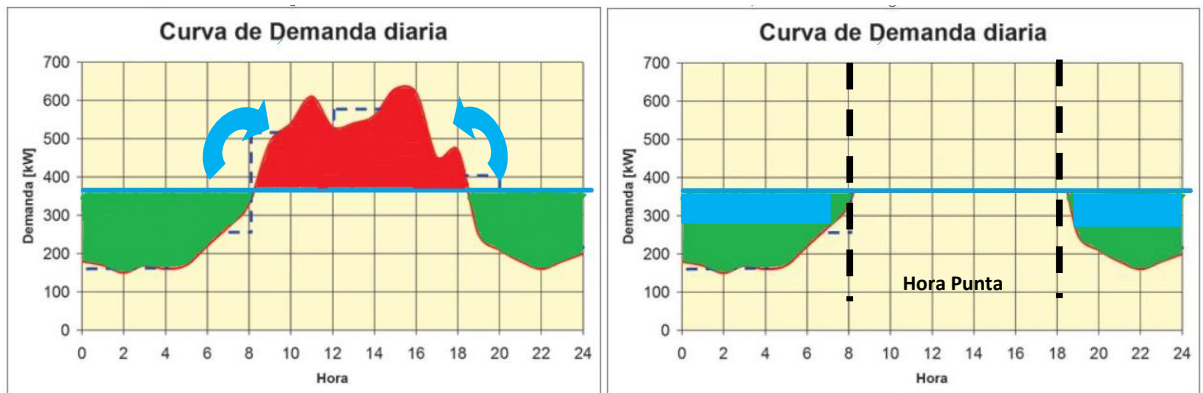


Figura 61. b. En la imagen se presenta la nueva curva de demanda allanada (derecha) tras la instalación de un sistema de baterías. En la izquierda con los picos de consumo y en la derecha sin ellos. En color rojo se representa la parte no cubierta por la energía eólica en un día representativo sin viento desde las 8.00 am hasta las 18.30 pm de una jornada laboral. En color verde está representada la reserva de energía eólica almacenada y que podrá ser utilizada para cubrir la demanda representada en color rojo. (En azul la energía transmitida y consumida en baterías).

Fuente: Elaboración propia.

Este estudio de la curva de demanda respecto a las baterías tendrá relevancia a la hora de planificar el consumo de los vehículos eléctricos de los trabajadores del puerto, en situación de carga, o los propios buques mediante la función OPS (*Onshore Power Supply*), indicado en la **Figura 62**, donde los buques se conectan a la red eléctrica del puerto permitiendo detener los motores auxiliares y evitando la emisión de CO₂ a la atmósfera en sus tiempos de atraque al apagar máquinas.

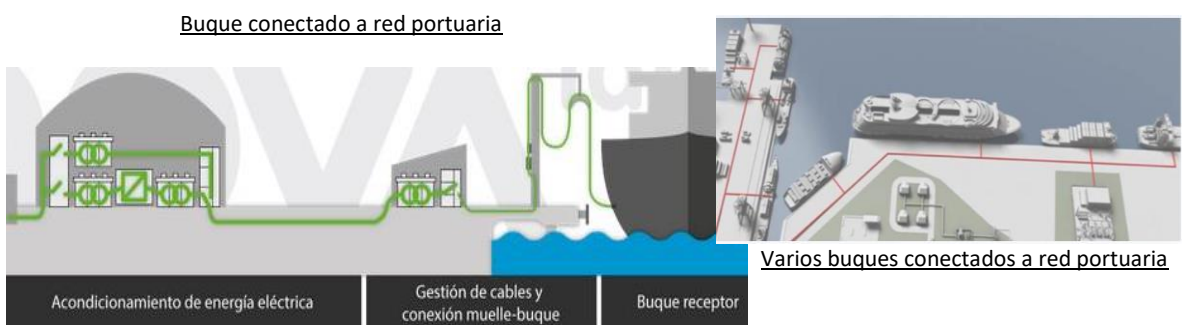


Figura 62. Sistema OPS (*Onshore Power Supply*) utilizado en diferentes puertos del mundo. El buque atracado apaga máquinas y recibe suministro eléctrico del puerto para mantener activos los servicios del buque imprescindibles durante la estancia en puerto.

Fuente: Google Images.

La demanda de toda la infraestructura deberá ser cubierta por las baterías en ausencia de viento y activando la planta de cogeneración si fuera preciso para atender los altos requerimientos de la instalación en momentos de baja producción eólica.

Según lo indicado, el nuevo replanteamiento del puerto debe disponer de un espacio para albergar las baterías y equipos de servidumbre necesarios para su funcionamiento.

En la siguiente **Figura 63** (ya indicada en el apartado 4.2 de este trabajo) se habilita una zona especial con un espacio suficientemente amplio para acomodar las baterías que estarán integradas en el sistema de generación distribuida del Puerto Exterior de Ferrol.



Figura 63. Vista aérea del Puerto Exterior de Ferrol con la nueva planificación incluyendo las empresas del puerto interior indicadas por las Zonas 1, 2, 3 y 4. En el rectángulo de color verde se indica el espacio acondicionado para las baterías que contará con 2100 m², es decir, espacio suficiente para albergar casi 150 contenedores de baterías con capacidad de 2,5 Mw cada contenedor y un almacenamiento de todo el conjunto de baterías cercano a los 365 Mw. El emplazamiento escogido para las baterías está situado a 150 metros de la central de transformación de la Autoridad Portuaria, indicada en la figura con un triángulo en color amarillo.

Fuente: Elaboración propia.

Este sistema de almacenamiento dispondrá de 2 fuentes de suministro de energía en forma de energía eólica y con energía de cogeneración a través de una planta de reciclaje facilitando el suministro.

Esta planta de cogeneración podrá trabajar en diferentes modos según intereses de la Autoridad Portuaria y socios implicados, por ejemplo, el suministro eléctrico de las instalaciones y de calor para calefacción u otras necesidades como agua caliente sanitaria, etc. hasta el almacenaje de la energía, o como último escenario, inyectando a red eléctrica para su venta.

Existen programas de software específicos para este tipo de planificaciones tanto técnicas como económicas que permiten realizar estos proyectos desde las primeras fases de diseño hasta plantas ya operativas integrándose sin dificultad con los demás sistemas y facilitando en gran medida el dimensionado de toda la instalación.

5.4 Sistema de cogeneración de refuerzo.

La demanda eléctrica de una infraestructura del tamaño del puerto exterior y planificada para atender un gran número de tráficos de manera continuada precisa de sistemas de refuerzo que permitan asegurar la estabilidad en el suministro eléctrico de forma eficaz. De acuerdo con esto y atendiendo al entorno o recursos disponibles en el propio puerto se proyecta un sistema de reciclaje in situ aprovechando las instalaciones MARPOL para crear una sinergia entre ambas autoridades con beneficios mutuos. En esta línea, es preciso mencionar, los desperdicios generados por los buques son altamente contaminantes dependiendo de una política estatal para su adecuado tratamiento.

Actualmente el Puerto de Ferrol cuenta con el “*Plan de Recepción de Desechos y Residuos Generados por Buques del Puerto de Ferrol (PRDRB)*” integrándose en el convenio internacional MARPOL 73/78 a través del operador MARPOL FERROL SL y en cumplimiento con el *Real Decreto 1381/2002* de 20 de diciembre sobre instalaciones portuarias mediante trasposición de la *Directiva Europea 200/59/CE “sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos generados por buques y residuos de carga”*.

En este sentido, y de acuerdo con el PRDRB, el puerto cuenta con un operador autorizado y con los permisos necesarios para el tratamiento de determinados residuos según la tipología de buques que atiende en dichas instalaciones. En la **Figura 65** aparece esta relación de autorizaciones donde se engloba el Tipo C dentro del Convenio MARPOL I que hace referencia a los desechos procedentes de las sentinas de la cámara de máquinas, equipos de depuración de combustible o aceites de motores.

PRESTADOR/LICENCIATARIO	LICENCIA	MARPOL I			MARPOL IV	MARPOL V
		TIPO A	TIPO B	TIPO C		
MARPOL FERROL, S.L	2022 ma0004	--	--	X	X	X

AÑO	MARPOL I		MARPOL IV		MARPOL V		MARPOL VI	
	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³
2009	21	294	-	-	371	464	-	-
2010	23	227	-	-	248	548	-	-
2011	85	886	-	-	396	626	-	-
2012	195	1.824	-	-	581	1.168	-	-
2013	193	1.682	-	-	493	866	-	-
2014	158	1.503	-	-	481	1.284	-	-
2015	184	1.438	-	-	472	1.557	-	-

Figura 65. Tabla con las Licencias de MARPOL FERROL SL con las que opera en las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Ferrol con vigencia hasta 2024. Dispone de autorización para recibir residuos de combustible y aceites fijados en el MARPOL I, recogida de aguas sucias procedentes de espacios sanitarios, lavadoras, etc. según el MARPOL IV y basuras sólidas según MARPOL V. Aparece reflejado el número de actuaciones desde el año 2009 hasta el año 2015 según los diferentes procedimientos MARPOL.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol.

Enlace: <https://www.apfsc.com>

Existen otros prestadores de servicios dentro de la Autoridad Portuaria como Navantia, Reganosa, Forestal del Atlántico o cofradías de pescadores y asociaciones náuticas. Realmente de interés para este proyecto son los gestionados en el Puerto Exterior por MARPOL FERROL S.L pudiendo fijar un acuerdo entre ambas partes para el suministro de aceites, o combustibles reciclados, para implantar una central de cogeneración eléctrica que satisfaga las demandas energéticas de la infraestructura portuaria.

Esta variedad de deshechos, obtenidos de los buques, son filtrados por decantación y tratados con multitud de procedimientos permitiendo obtener unos subproductos con altos potenciales térmicos para su uso como combustible industrial y entre otros usos como aceites lubricantes. Actualmente, la Autoridad Portuaria no cuenta con una planta de generación eléctrica (véase **Figura 66**) según indican en su Memoria Anual de 2017 con fecha de publicación en 2018.

- *Informar sobre medidas de ahorro de combustible introducidas por la Autoridad Portuaria, como, por ejemplo:*
 - *Actualización del parque de automóviles o embarcaciones*
 - *Optimización de alumbrado, indicando en que ha consistido*

Apéndice: Transparencia Activa en la Información. Los datos en detalle.
 Appendix: Active transparency in the information. Data in detail

Datos actualizados a 31/12/2017



- *Generación propia de energía eléctrica, indicando el método utilizado.*
 - *Optimización de sistemas de climatización, indicando en que ha consistido.*
- (Sin contenido)

Figura 66. Captura de imagen de la Memoria Anual de la Autoridad Portuaria de Ferrol. Páginas 106-107. Se indican las actuaciones a informar por parte de la Autoridad Portuaria en su desempeño ambiental en el área de consumos. En el punto “*Informar sobre medidas de ahorro de combustible..*” se reflejan 4 puntos de actuación determinados como “sin contenido”. Puede observarse (marcado en rojo) la Autoridad Portuaria no dispone de generación eléctrica propia o no actualizó el parque de vehículos.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol. Memoria Anual 2017.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

Al disponer de un recurso muy apreciable -tras su reciclaje- por su alto potencial energético, indicado en la **Figura 67**, como son los aceites usados de origen industrial siendo incluso capaces de competir con los combustibles tradicionales se hace conveniente una instalación de cogeneración capaz de asegurar la demanda térmica y eléctrica. Esto además proporcionará una reducción significativa en la tasa de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros.

La búsqueda de sinergias entre operadores públicos y privados debe finalizar con alternativas sostenibles que proporcionan mayor eficiencia a ambas partes en sus procesos diarios.

a)

PRODUCTO	PODER CALORÍFICO (BTU)	PRECIO POR GALÓN
Aceite usado tratado	103530	2100
Crudo Rubiales	150600	4735.95
Fuel Oil	152206	4862.00
ACPM	142844	4685
Gas (m3)	35315	800.00
Crudo castilla	14041	4689.42

b)

	ACEITE USADO (sin tratar)	ÁCIDO ARCILLA	EXTRACCIÓN POR SOLVENTE	A.C.P.M
Densidad	0.91 gr/cm ³	0.876 gr/cm ³	0.868 gr/cm ³	
Viscosidad	471.4 cp	364.2 cp	344.5 cp	
Poder calorífico	10,8633 KJ/gr	11,8847 KJ/gr	10,8887 KJ/gr	27,4979 KJ/gr

Figura 67. Características técnicas de los aceites usados con el Potencial calorífico.

En la Tabla a) se realiza una comparativa entre el aceite usado tras ser reciclado con los combustibles tradicionales más habituales.

En la Table b) se realiza una comparativa de las cualidades técnicas entre diferentes aceites según el tratamiento de reciclaje al que fueron sometidos.

Fuente: Ing. Delgado, Emilio. 2007. Páginas 111 y 114. Artículo: "COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS A PARTIR DE ACEITES USADOS CON TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA".

Enlace: http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-6/r6_art11.pdf

El impulso de una planta de cogeneración parece justificado, atendiendo a los datos de los consumos en gasoil y gasolina aportados por la Autoridad Portuaria, a la hora de incorporarlos en la planificación de este trabajo de Fin de Máster desde una visión global del conjunto de la infraestructura. Para ello se propone una planta de cogeneración, indicada en la **Figura 68**, con la capacidad necesaria para sostener la demanda eléctrica diaria de toda la instalación portuaria y diferentes equipos auxiliares, vehículos, grúas.

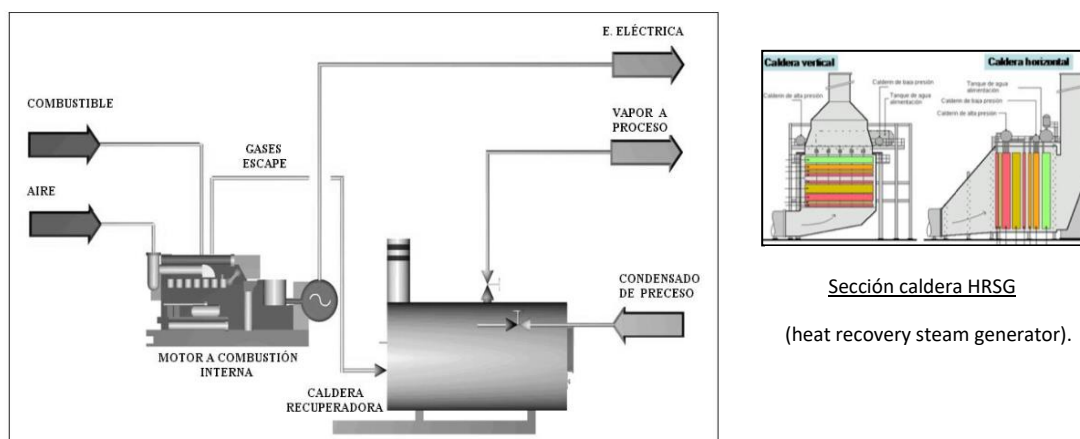


Figura 68. Esquema de una Planta de cogeneración con caldera de recuperación. Un combustible alimenta un motor que genera electricidad y los gases de escape son desviados a una caldera de recuperación aumentando la temperatura del fluido (agua, aceite) generando vapor que puede turbinarse.

Fuente: Google Images.

Según se indicó en la figura 68 anterior, el motor es alimentado por un combustible que puede ser perfectamente un combustible reciclado de las aguas de sentina de los buques según recogidas MARPOL citado ya en este trabajo. Otra ventaja del uso de este sistema de cogeneración es la planificación de una caldera de recuperación basada en aceites térmicos, tras ser estos reciclados de los aceites usados de los buques, igualmente según MARPOL. Favoreciendo in situ la valorización de los subproductos obtenidos del proceso de reciclaje evitando con ello la emisión de gases en el transporte a plantas lejanas para su procesado, algunas a cientos de Km.

El procedimiento consistirá en accionar el motor con el combustible reciclado, éste moverá un generador que producirá electricidad derivada directamente a la subestación de transformación de la autoridad portuaria y a las baterías. En otro proceso, los gases de escape salen del motor a altas temperaturas y son dirigidos a una caldera de recuperación donde está contenido el aceite térmico reciclado. Este aceite tiene una serie de ventajas en comparación con las convencionales permitiendo a alta temperatura de evaporación trabajar a presiones moderadas, esto significa un menor número de elementos en el equipo, su mantenimiento es menor y el comportamiento de trabajo es más homogéneo.

Una vez el aceite de la caldera de recuperación es calentado por los gases de escape del motor se inicia una nueva etapa con intercambiadores generando vapor de agua para turbinar. Este vapor de alta temperatura (para turbina de gas a partir de aceites destilados y potencias superiores a 10Mw) puede ser reutilizado para generar otra vez electricidad al turbinarlo o destinar el calor para calefacción o agua caliente sanitaria.

Título Ind.	Unidades	Fórmula	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo gasoil Calefacción y ACS	L/año	Suma (litros consumidos)	5.829	8.300	5.700	9.800	11.600	10.900	7.935
Consumo gasoil+gasolina Transporte	L/año	Suma (litros consumidos)	27.630,36	28.127,36	24.121,33	21.447,52	20.750,48	19.673,29	19.247,51

Fuentes de consumo	% del total
Calefacción/Agua Caliente Sanitaria 7,935	28
Vehículos 18525,5	65
Embarcaciones 722	3
Generadores 858	3
Otros usos 535	1
Tipo de combustible	% del total
Gas natural	--
Gas propano	--
Gasolina	10
Gas-oíl en	90
Otros	--

	2014	2015	2017
Consumo total de combustibles en m3	32.350	32.313	28.575
Superficie zona de servicio en m2	1.555.483	1.555.483	1.555.623
Ratio m3/m2	0,02079	0,02077	0,018

Figura 69. Indicadores de consumos internos de la Autoridad Portuaria en combustibles recogidos en la Memoria Anual 2017 de APFSC.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

En la **Figura 69**, se presentó los diferentes tipos de consumo internos en combustibles de la Autoridad Portuaria de Ferrol representando un 65% del total el combustible de vehículos frente al 28% de calefacción y agua caliente. Esto podría ser sostenido íntegramente por el equipo de cogeneración sustituyendo los vehículos actuales por una nueva generación de eléctricos.

Según el desglose presentado por la Autoridad Portuaria el grueso del consumo interno de gasoil en el año 2017 fue de unos 27000 litros. En la **Figura 70**, se indica también el consumo total en electricidad de toda la Autoridad Portuaria.

	2014	2016	2017
Consumo en Kwh	1.861189	2.028.245	1.941.196
Superficie zona de servicio en m2	1.555.483	1.555.483	1.555.623
Ratio Kwh/m2	1,19	1,30	1,25

Figura 70. Consumos de electricidad de la Autoridad Portuaria de Ferrol desglosados por año. Se observa un consumo representativo anual entorno a los 2 Gwh.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol. Memoria Anual 2017.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

Teniendo en cuenta estos consumos de electricidad y combustible se indica a continuación en la **Figura 71** una cifra orientativa aportada por la Autoridad Portuaria de Ferrol del gasto total (interno/externo) en euros anual en suministros y consumos.

	2017	2016
7. Otros gastos de explotación	(4.104.329,84)	(3.928.825,58)
a) Servicios exteriores	(2.320.866,71)	(2.336.168,90)
1. Reparaciones y conservación	(978.948,55)	(870.410,44)
2. Servicios de profesionales independientes	(114.779,42)	(242.268,06)
3. Suministros y consumos	(476.424,85)	(506.121,13)
4. Otros servicios exteriores	(750.713,89)	(717.369,27)

Figura 71. Captura de la sección gastos de la Memoria Anual 2017 de la APFSC. Se indica en rojo el gasto en Suministros y consumos de 476424 euros en 2017 y superando los 500000 euros/año en 2016. En esta partida están englobados los gastos de combustible, electricidad y otros suministros no especificados por la Autoridad Portuaria por lo que estas cifras servirán como orientativas en este trabajo.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol. Memoria Anual 2017.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

Atendiendo a estos gastos se realiza a continuación un desglose de los consumos anuales e importes por su origen. Se realizará este estudio por el tipo de tarifa aplicada incluyendo todos los gastos de la partida interna y externa atendiendo a la Memoria Anual de 2017 de la APFSC. Tras esto se hará una comparativa con los originados por un gran puerto como el de Barcelona extrayendo una media orientativa que permita hacer un primer dimensionado de la **Planta de Cogeneración en Ciclo Combinado** a partir del reciclaje de combustibles y aceites. De igual modo, si fuera procedente el uso de biodiésel a partir del reciclado de aceites de cocinas atendiendo siempre a las características y disponibilidad de los equipos de cogeneración en el mercado. El aumento de la eficiencia estará garantizada al aprovechar los propios residuos in situ tras su reciclaje y abaratando la factura del combustible utilizado en la cogeneración o como aditivos industriales.

Una vez establecidas las nuevas funciones o capacidades futuras del nuevo puerto y conociendo los consumos de la Autoridad Portuaria (**Figura 72**) se puede realizar una aproximación a la producción diaria y anual necesaria en la nueva configuración permitiendo un primer dimensionado del grupo de cogeneración.

Título Ind.	Unidades	Fórmula	Descripción	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumos propios de electricidad (Tipo D Listado de Aspectos Ambientales)	KW*h	Suma (KW*h consumidos)	Consumos propios de electricidad de la Autoridad Portuaria	1.622.044	1.670.463	1.955.129	1.782.953	1.650.478	1.861.189	2.028.245	1.941.196

Figura 72. Consumo interno en millones de Kw/h/año de la Autoridad Portuaria situándose por encima de los 2Gwh/año.

Fuente: Autoridad Portuaria APFSC. Memoria Anual 2017.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

- Consumo eléctrico medio Autoridad Portuaria aprox. 1.815.000 Kwh/año.
- Consumo gasoil medio Autoridad Portuaria aprox. 31.000 litros/año y en Kwh tras cambio de unidades:
 - 1Kwh = 860 Kcal
 - PCI gas oil automoción: 7200 Kcal/litro
- Cálculos unidades: 31000 litros/año x 7200 Kcal/litro = 223.220.000 Kcal/año

$$\frac{223.220.000 \text{ kcal/año}}{860 \text{ kcal}} = 259.534 \text{ kwh (consumo gasoil)}$$

- Consumo total interno Autoridad Portuaria: 1.815.000 Kwh/año + 259.534 Kwh/año =

2.074.534 Kwh/año

El desglose del consumo eléctrico externo también se indica en la Memoria Anual de 2017, reflejado en la **Figura 74** siguiente:

				2015	2016	2017	
Consumo eléctrico Alumbrado	Kwh	Kwh	Consumo eléctrico del Alumbrado en el Puerto Exterior y Puerto Interior		433.284	560.844	725.752
Consumo eléctrico externo	Kwh	Kwh	Consumo de electricidad de terceros. Se incluye tanto la energía eléctrica suministrada a terceros, como la energía eléctrica consumida por las principales terminales portuarias (Endesa, Forestal, Reganosa, San Cibrao).		1.079.545	1.375.232	1.228.297

Figura 74. Consumos relativos a iluminación de la Autoridad Portuaria de Ferrol y a los externos consumidos por los operadores de las instalaciones. El consumo sólo en iluminación ascendió a 725.752Kwh/año.

Fuente: Autoridad Portuaria de Ferrol. Memoria Anual 2017.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2018/11/memoria-apfsc_web_2017-completa.pdf

Consumo Total anual eléctrico (interno/externo)

Suma total: 1.815.000 Kwh/año + 725.752Kwh/año + 1.228.297 Kwh/año =

4.028.583 Kwh/año

Consumo Total Eléctrico de la Autoridad Portuaria
(interno/externo/iluminación/combustibles)

4 Gwh/año

Según esto, la Autoridad Portuaria podría operar bajo el contrato para instalaciones superiores a 450Kw enmarcado en la Tarifa 6.1.A, indicado en la **Figura 73** siguiente.



Figura 73. Contrato para grandes industrias con potencias superiores a 450 Kw.

Fuente: Aura Energía.

Enlace: <https://www.aura-energia.com/tarifas-luz-industria-peninsula/>

Por ello, el consumo de Iluminación y Externo en 2017 (Precio Fijo-Tarifa P2) fue:

- Consumo total iluminación: 725.752Kwh/año x 0,099703 €/kwh = 72.359,65 €/año
- Consumo externo total eléctrico: 1.228.297 Kwh/año x 0,099703 €/Kwh = 122.464,89 €/año
- Consumo interno total eléctrico: 1.815.000 Kwh/año x 0,099703 €/Kwh = 180.960,95 €/año
- Consumo por potencia aprox. (>450Kw) = 95.658 €/año

Gasto Total puerto (interno/externo/iluminación/potencia) según tarifa media (0,099703 €/Kwh):

375.785,485 €/año

Al no disponer de las demandas de consumos y suministros se toma de referencia para el gasto total la media de los dos últimos ejercicios (2016-2017).

Gasto Total Autoridad Portuaria consumos: **491.272,99 €/año**

Puede observarse la factura en iluminación se incrementa cada año al igual el consumo eléctrico externo suministrado a terceros en las propias instalaciones portuarias. Esto es relevante si aumentan considerablemente las capacidades operativas del puerto atrayendo nuevos clientes y disparando la demanda del consumo eléctrico, por ejemplo, con la nueva generación de buques y los mencionados sistemas OPS (suministro eléctrico del puerto al buque) mientras realiza las maniobras de carga o descarga, entre otros servicios no contabilizados por no estar disponibles hoy en día.

Conociendo estos números, a grandes rasgos, el generador tendrá que cubrir esta demanda más las solicitudes extra de baterías y buques en carga o servicio de atraque, vehículos eléctricos o multitud de exigencias que estarán presentes en la nueva configuración aumentando este consumo a cifras bastante más elevadas, situándose en los grandes puertos del mundo el consumo en cifras superiores a los 15-20 Gwh/año. Por ejemplo, para entender un poco las posibles demandas, un buque trasatlántico puede superar unos consumos equivalentes a los 11 Mw/día mientras que la estimación de consumo para las grúas pórtico de carga y descarga al mover un contenedor es de 8 kwh.

Si la explanada del Puerto Exterior de Ferrol cuenta con 290.000 m² y la superficie de cada contenedor es de aproximadamente 30 m² estará capacitado para almacenar mínimo 10.000 contenedores en ella. Si dispone de 3 grúas de altas prestaciones permitiendo realizar 30 movimientos cada hora, durante 24 horas a pleno rendimiento, se obtiene un consumo de las 3 grúas aproximado a 17500 Kwh/día para un puerto con tráfico medio.

Teniendo estas cifras a modo orientativo, el puerto de Ferrol, puede llegar a triplicar su consumo actual a pleno funcionamiento. Un puerto de primer orden como el de Barcelona (véase **Figura 75**) tiene consumos superiores a los 10 Gwh anuales entre la demanda eléctrica y combustibles (670000 Kwh anuales aprox.).

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, 2013-2017 (kWh)

	2013*	2014*	2015*	2016	2017
Port de Barcelona	9.125.171	9.086.416	8.276.038	7.794.150	7.447.035

*Hasta 2015 se incluye el consumo del Port Vell

Tipología de consumo	% sobre el total
Alumbrado público de viales y explanadas	25,72
Oficinas (iluminación, climatización, etc.)	54,89
Estaciones de bombeo de aguas	4,26
Faros y señalización marítima	1,23
Otros (red ferroviaria, casetas de telecomunicaciones, estaciones meteorológicas, cámaras de videovigilancia, etc.)	13,89

Figura 75. Tabla de consumo eléctrico del Puerto de Barcelona desglosado por tipos. Este puerto ha incrementado el tráfico de contenedores y está implementando políticas en eficiencia, por ejemplo, instalando puntos de recarga para vehículos eléctricos o embarcaciones náuticas, esto incrementará su consumo eléctrico del puerto hasta los 12Gwh/año según previsiones

Fuente: Autoridad Portuaria de Barcelona. Memoria Anual 2017.

Enlace: <http://opendata.portdebarcelona.cat/Memories/Corporativa/es/PortBcn-MemoriaAnual-2017-castellano.pdf>

Yendo de nuevo a la curva de demanda tipo de la industria (**Figura 76**) al realizar un análisis en profundidad para el dimensionado del grupo de cogeneración es preciso disponga de capacidad para soportar la demanda en el pico de consumo más alto.

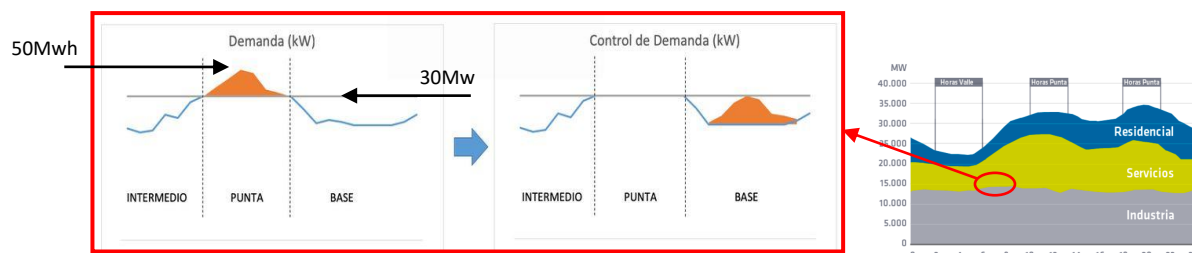


Figura 76. Representación gráfica de optimización de los picos de carga (en naranja) en una industria tipo al trasladar el consumo al horario base más económico. Estos picos serán soportados por el suministro de las baterías o la planta de cogeneración en ausencia de viento. El pico para la autoridad portuaria se estima entre 30-50Mwh/día a plena carga y se indica con flechas de manera hipotética para un gran puerto.

Fuente: Elaboración propia a partir de gráfica tipo industria de Masi-technology.

Atendiendo a todo esto, si se proyecta el consumo de la Autoridad Portuaria de Ferrol (hoy, por ejemplo, no cuenta con gastos derivados del tren que sí tendrá en el futuro inmediato) basado en altas demandas propias de una operatividad cercana al 100% de las instalaciones (hoy se sitúa en torno al 30-40% de ocupación) se basará en una demanda intermedia (**Figura 77**) entre el Puerto de Barcelona y la demanda actual del puerto de Ferrol.

Por tanto, el dimensionado de la demanda eléctrica será:

	Consumo Eléctrico	Gasto
Puerto Barcelona	12 Gwh/año	1.196.436 €/año
Puerto Ferrol	4 Gwh/año	491.272 €/año
Media Portuaria (Proyecto)	8 Gwh/año	843.854 €/año

Figura 77. Consumo y gasto total proyectado para el dimensionamiento de un Puerto intermedio con nuevas capacidades a partir de la media de consumos entre el Puerto de Ferrol y el Puerto de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia.

Se proyecta por tanto una Planta de cogeneración en ciclo combinado para el puerto exterior con la potencia necesaria para cubrir la demanda eléctrica de toda la infraestructura portuaria futura suministrando calor a procesos de empresas o mercancías refrigeradas, sistemas de calefacción, agua caliente y procesos de reciclado de aceites-combustibles usados que se reutilizarán en la propia planta como combustible primario, incrementando la eficiencia en todos los procesos portuarios al transitar in situ hacia una economía circular. Esta línea de estudio fija como punto de partida para la nueva instalación un consumo de **8 Gwh/año** y un gasto de aprox. **900.000 €/año**.

La elección del equipo se realiza en base a altas prestaciones y la eficiencia que debe cumplir bajo todos los requisitos de trabajo y emisiones. La alta adaptabilidad del grupo seleccionado (**SGT-800 de SIEMENS**, véase **Figura 78**) ante multitud de escenarios junto a su potencia permite una primera aproximación para el dimensionado final de la Planta de cogeneración en ciclo combinado de este trabajo. Bajo estudios más rigurosos y teniendo en cuenta diferentes parámetros no contemplados en el estudio, como diferentes actividades empresariales específicas en las instalaciones portuarias no consideradas, pueden condicionar la elección de otro grupo de cogeneración más conveniente.

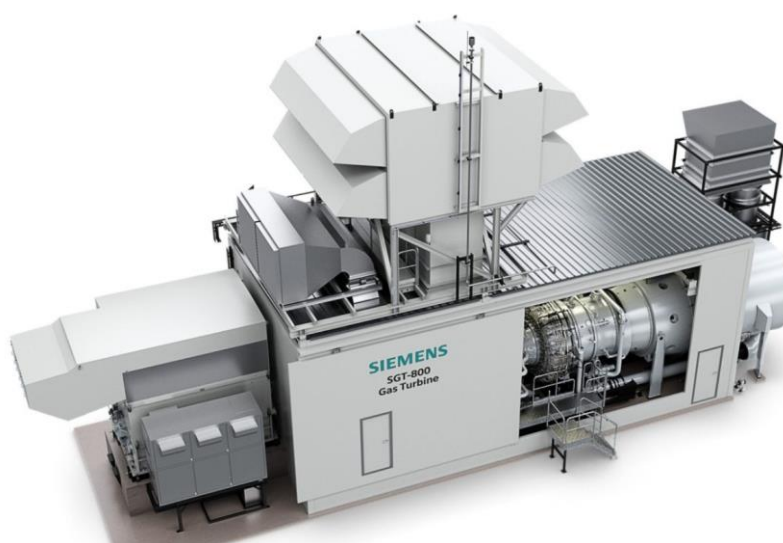


Figura 78. Planta de cogeneración en ciclo combinado de Siemens. Modelo SGT-800. Esta planta de cogeneración funciona con turbina a gas y permite utilizar diferentes combustibles como el Diésel N.2 o Fueloil pesados. También permite el trabajo en dual (gas/fuel). La temperatura de los gases puede alcanzar los 565°C con rendimientos entorno al 40% a 6608 r.p.m y frecuencias de 50/60Hz. Sus medidas son 20,8 x 7,3 x 6,6 (metros).

Fuente: Siemens.

Enlace: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-800.html>

En la **Figura 79**, se indican 4 tipos del modelo SGT-800 de Siemens según su potencia.

	57.0 MW version	54.0 MW version	50.5 MW version	47.5 MW version
Net plant output	80.7 MW(e)	75.9 MW(e)	71.4 MW(e)	66.6 MW(e)
Net plant heat rate	6,207 kJ/kWh	6,427 kJ/kWh	6,530 kJ/kWh	6,693 kJ/kWh
Net plant efficiency	58.0%	56.0%	55.1%	53.8%
Bottoming cycle type	3PNRH	2PNRH	2PNRH	2PNRH
SCC-800: Performance data for 1x1 combined cycle power plant				
Number of gas turbines	1	1	1	1

Figura 79. Ficha de características técnicas de la Planta de Generación SGT-800. Elección 50.5Mw versión en ciclo simple y con capacidad de entregar en ciclo combinado 71,4Mw cubriendo los picos de demanda de toda la instalación portuaria. Trabajo horas mínimas para ser rentable >5000 horas.

Fuente: Siemens.

Enlace: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-800.html>

Este primer dimensionado se realiza a partir de una planta tipo, indicada en la **Figura 80**, basada en una gran industria con demandas de energía y calor muy elevadas. En principio se dimensiona una planta de cogeneración similar para la Autoridad Portuaria con capacidad de inyectar electricidad a red general para su venta.

CONCEPTO	CANTIDAD	%
Inversión	15.400.000 €	8,03%
Intereses	5.400.000 €	2,82%
Mantenimiento de las turbinas de gas y vapor	9.310.000 €	4,86%
Mantenimiento de otro equipos	1.720.000 €	0,90%
Costes de personal	2.930.000 €	1,53%
Compra de combustible	154.200.000 €	80,41%
Gastos generales y otros	1.100.000 €	0,57%
Seguros	1.700.000 €	0,89%
TOTAL	191.760.000 €	100,00%

Figura 80. Presupuesto tipo de una planta de cogeneración en ciclo combinado con turbina de gas y turbina de vapor contrapresión con una potencia de 16Mw eléctricos y 29 Mw térmicos. La vida útil de estos ciclos combinados está actualmente entre los 20-25 años, aunque empresas como Iberdrola están elevando a 50 años la vida útil. Se observa un alto desembolso en combustible para el funcionamiento de la planta, siendo el 80,41% de la inversión, señalado con flecha roja.

Fuente: Comunidad de Madrid. Guía de la Cogeneración.

Enlace: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015249.pdf>

La ventaja competitiva en esta planta de cogeneración, a diferencia de la planta tipo, radica en el bajo impacto que tendrá en la instalación la compra de combustible. Esto se debe al propio reciclado de los residuos de los buques que se reutilizarán de combustible primario en la planta de cogeneración, como aceites lubricantes para maquinaria o aditivos para mantenimiento. Además, dispone de trigeneración para procesos en frío.

La Autoridad Portuaria de Ferrol como otras instalaciones cobra una tarifa, estipulada de carácter general (véase **Figura 81**), por la recogida de residuos en sus instalaciones según el buque atracado y su GT (Gross Tons o Arqueo Bruto). Además, a las empresas prestatarias de servicios de recogida de residuos en sus instalaciones también le aplica diferentes tarifas (**Figura 82**).

Unidades arqueo bruto del buque (GT)	Tarifa fija
Entre 0- 2.500	1,5
Entre 2.501- 25.000	$6 * 0,0001 * GT$
Entre 25.001- 100.000	$(1,2 * 0,0001 * GT) + 12$
Más de 100.000	24

Figura 81. Tarifa fija para buque en cada escala según coeficientes y arqueo bruto del buque. El valor de la cuantía básica se establece en 80 euros.

Fuente: APFSC. Plan de recepción de desechos y residuos generados por Buques. Puerto de Ferrol.

Enlace: https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2017/07/1894-plan_-de_-recepcion-de_-desechos-de_-buquesparte-memoria.pdf

MARPOL V		SERVICIO PORTUARIO _ MARPOL FERROL SL			
SERVICIO	M3 DE RESIDUO SÓLIDO	TARIFA MÁXIMA (€)			
Recogida de residuos en los muelles del Puerto Interior de Ferrol en horario de 7:30H a 19:00 de lunes a viernes	Hasta 1m3	105	MARPOL I (TIPOS A y B)	FORESTAL DEL ATLÁNTICO	
	de 1m3 a 2m3	165		Hasta 12 horas	
	de 2m3 a 3m3	225		Precio por hora (desde 13:00 a 24:00)	
	A partir de 3m3 por cada m3 o fracción	60		Precio por hora a partir de la hora 24	
Servicios prestados por tierra en Reganosa o en Forestal		Recargo 50%	Por tiempo de estancia	2369,7€	
Servicios prestados en el Puerto Exterior		Recargo 20%		263,3€	
Retraso en el servicio debido al prestador del servicio		Descuento 10% por hora de retraso (máx. 50%)	Por volumen descargado	626,0€	
Retraso en el servicio debido al buque		Recargo 10% por hora de retraso (máx. 50%)		4212,8€	
Servicios prestados en días laborables fuera del horario ordinario		Recargo 25%		6,32€/m³	
Servicios en sábados, domingos y festivos		Recargo 40%		8,43€/m³	
Servicio de desechos de cocina de buques procedentes de países extracomunitarios que requieren medidas especiales		Recargo a determinar según costes de eliminación del residuo		12,84€/m³	

Figura 82. Tasas y tarifas aplicadas a los operadores por la Autoridad Portuaria de Ferrol tras el tipo de servicio MARPOL realizado. Tarifas en base a los m³ o al tiempo de estancia en la instalación.

Ejemplo de tarifas indicadas a los operadores MARPOL FERROL SL y FORESTAL DEL ATLÁNTICO.

Fuente: APFSC. Plan de recepción de desechos y residuos generados por Buques. Puerto de Ferrol.

Enlace: <https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2017/07/1894-plan-de-recepcion-de-desechos-de-buquesparte-memoria.pdf>

Según el número de servicios MARPOL realizados por la Autoridad Portuaria de Ferrol y ya visto al inicio de este apartado de Sistemas de cogeneración de refuerzo (véase **Figura 83**) tenemos un número de intervenciones total en 2015 de 2.995 actuaciones.

AÑO	MARPOL I		MARPOL V	
	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³	Nº SERVICIOS	VOLUMEN m³
2009	21	294	371	464
2010	23	227	248	548
2011	85	886	396	626
2012	195	1.824	581	1.168
2013	193	1.682	493	866
2014	158	1.503	481	1.284
2015	184	1.438	472	1.557

Figura 83. Número de servicios según las licencias MARPOL para tratamiento de residuos, reflejando las actuaciones en MARPOL I y V, referentes a los residuos de combustibles, sólidos y orgánicos de los buques.

Fuente: APFSC. Plan de recepción de desechos y residuos generados por Buques. Puerto de Ferrol.

Enlace: <https://www.apfsc.com/wp-content/uploads/2017/07/1894-plan-de-recepcion-de-desechos-de-buquesparte-memoria.pdf>

Si de referencia se utilizan los precios actuales (**Figura 84**) para los combustibles que utiliza una planta de cogeneración se puede obtener una relación de ahorro anual según los litros recogidos actualmente por la Autoridad Portuaria mediante el convenio MARPOL, en los libros I y V de dicho reglamento.

Con impuestos (*)		
Tipo	€/l	c€/kWh
Gasóleo C	0,814	7,58
Gas Licuado Petróleo (motor)	0,726	11,00
	€/t	c€/kWh
Fuelóleo	551,65	5,17

Figura 84. Relación de precios con impuestos de los combustibles a mayo de 2019.

Fuente: IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Enlace: https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/combustibles_y_carburantes_mayo_2019.pdf

Recapitulando, y teniendo en cuenta para la valoración energética 2/3 de estos 3000 m³ de residuos son recuperables para su uso, se puede realizar una primera aproximación;

- 2995 m³ x 2/3: 1996,67 m³ de desperdicios reutilizables como combustible

$$\text{Conversión unidades: } 1.996,67 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3} = 1.966.000,67 \text{ litros}$$

- 1 litro de fueloil = 0,845 kilos

$$\text{Conversión unidades: } 1.966.000,67 \text{ litros} \times 0,845 = 1.621.000,67 \text{ kg}$$

1.621 Tn

Esto equivaldría a un ahorro en euros según la tarifa y el combustible a utilizar de:

- **Gasóleo C:** 1.966.000,67 litros x 0,814 €/litro = 1.626.287 €/año (2017)
- **Gas Licuado:** 1.966.000,67 litros x 0,726 €/litro = 1.427.316 €/año (2017)
- **Fueloil:** 1.621 Tn x 551,65 €/T = 894.223 €/año (2017)

Para una vida útil de 35 años y sin tener en cuenta el incremento porcentual de los combustibles anual, se obtiene:

- **Gasóleo C:** 1.626.287 €/año (2017) x 35 años = 56,9 millones de €
- **Gas Licuado:** 1.427.316 €/año (2017) x 35 años = 49,9 millones de €
- **Fueloil:** 894.223 €/año (2017) x 35 años = 31,3 millones de €

Sabiendo estas cifras generalistas a partir del número de servicios MARPOL de la APFSC en 2017 y basándose en la planificación de doblar el consumo eléctrico actual situándose en un puerto intermedio entre Barcelona y el actual de Ferrol (ya explicado en este capítulo), se proyecta de igual modo para 35 años duplicar el número de servicios MARPOL, de los libros I y V. Según esto, se obtiene:

- **Gasóleo C:** 56,9 millones de € x 2 = 113,8 millones de €
- **Gas Licuado:** 49,9 millones de € x 2 = 99,8 millones de €
- **Fueloil:** 31,3 millones de € x 2 = 62,6 millones de €

Por tanto, y resumiendo, a los 35 años y con casi un 85% de ocupación del Puerto Exterior de Ferrol se prevé ahorrar en compra de combustible mediante el reciclado de los residuos MARPOL y tras realizar una media entre los tres combustibles, pues podría optarse por uno u otro combustible, dependiendo del valor de las tarifas en un hipotético mercado futuro se obtendría un ahorro total de:

92.060.000 €

Resulta una cantidad nada despreciable que permite amortizar la inversión de la planta a corto plazo y considerando el poder calorífico de los aceites reciclados es similar a otros combustibles con menos emisiones. Esta energía está sujeta a tasas reducidas o primas por cogeneración justificándose una alternativa, en principio, competitiva y sostenible.

Reestructurando esta inversión a grosso modo y aplicando el descuento por reutilizar combustible reciclado (**92.060.000 €**) sobre el valor total de la compra de combustible de una planta de cogeneración tipo (**154.200.000 €**) aparece en la **Figura 85** la relación del nuevo presupuesto.

CONCEPTO	CANTIDAD
Inversión	15.400.000 €
Intereses	5.400.000 €
Mantenimiento de las turbinas de vapor y gas	9.310.000 €
Mantenimiento de otros equipos	1.720.000 €
Costes de personal	2.930.000 €
Compra de combustible	62.140.000 €
Gastos generales y otros	1.100.000 €
Seguros	1.700.000 €
Total	99.700.000 €

Figura 85. Presupuesto planta cogeneración en ciclo combinado para el grupo Siemens STG-800. Todas las partidas se mantienen igual excepto la partida de Compra de Combustible tras reducir el descuento por reutilizar combustible reciclado de la propia instalación portuaria tras el número de servicios Marpol. El presupuesto tipo total de una planta de estas mismas características es de 191.760.000 € en toda la vida útil con plazo de amortización de media a 20-25años. Esta nueva planta podría amortizarse en mitad de tiempo.

Fuente: Elaboración propia a partir del presupuesto de una planta tipo.

Para la optimización del “Dumping” o exceso de energía generada no consumida por la infraestructura portuaria, tras el llenado de las baterías, se contempla la opción de inyectarse a red el sobrante de energía, por todo ello, y ante la reducción significativa de presupuesto en una central Tipo de cogeneración por el empleo de combustibles reciclados se hace interesante estudiar la posibilidad que ofrece la empresa SIEMENS basada en una configuración con ciclo combinado 2x1 (véase **Figura 86**) con potencia de salida de 157 Mw(e) y caldera HRSG de recuperación de calor.



Figura 86. Configuración ciclo combinado 2x1 de la empresa SIEMENS con potencia de salida de 157 Mw(e) con una eficiencia neta de central superior al 56,7%. Capaz de alcanzar en el ciclo calor y electricidad combinados (CHP) una eficiencia superior al 90%. Desarrollado a partir del Grupo SGT-800. La planta puede refrigerarse con agua del mar minimizando el coste por agua pública. La planta puede utilizar aceites reciclados en su O&M. Se muestra cuadro con salida de potencia para dimensionado de plantas en G.D.

Fuente: SIEMENS.

Enlace: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/energia/generacion/turbinas-de-gas/sgt-800.html>

5.5 Transporte y servicio portuario sostenible.

Volviendo al transporte y a los diferentes servicios portuarios que engloban toda la infraestructura portuaria, se hace preciso recalcar, el ordenamiento del tráfico terrestre y marítimo en torno a las instalaciones portuarias es fundamental para reducir consumos y emisiones. Una de las diferentes alternativas en las planificaciones estratégicas de la movilidad sostenible en los puertos y que se están implementando actualmente son los vehículos eléctricos (**Figura 87**) y esto conllevará un aumento de la demanda eléctrica.



Figura 87. En las fotografías se pueden observar estaciones de carga para vehículos eléctricos. Muchos puertos como el de Barcelona ya recogen en sus planes estratégicos su uso. En la figura inferior derecha se representa el concepto proyectado para el Puerto Exterior de Ferrol basado en la energía eólica.

Fuente: Imágenes puerto de Barcelona y Google Images.

El fomento del servicio público mediante línea férrea también está contemplado en este trabajo manteniendo el consumo de la línea electrificada del tren e inyectando en los convoyes del tren energía para almacenar en vagones provistos con contenedores de baterías impulsando de igual modo el tren eléctrico (**Figura 88**). En este sentido cabe mencionar Alemania está desarrollando una nueva generación de trenes con baterías para desarrollar un extra de potencia y reducir de manera significativa los consumos.

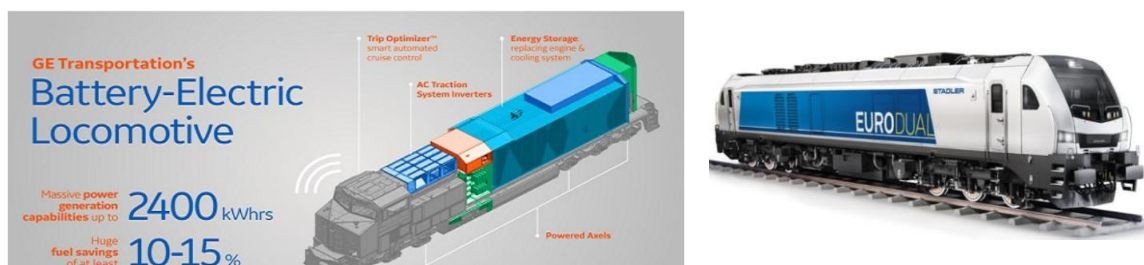


Figura 88. Sistema de General Electric basado en baterías para alimentar el tren. Las nuevas locomotoras de mercancías ya están diseñadas para modos duales diésel-eléctricos, pudiendo recorrer distancias únicamente con el motor eléctrico. En la derecha se presenta el nuevo modelo de máquina para mercancías con motor híbrido.

Fuente: Google Images.

Otra de las actuaciones a realizar en esta línea es sustituir todos los equipos del puerto (véase **Figura 90**) movidos por combustibles fósiles como grúas, carretillas, tolvas y diferente maquinaria utilizadas en los procesos de carga y descarga.

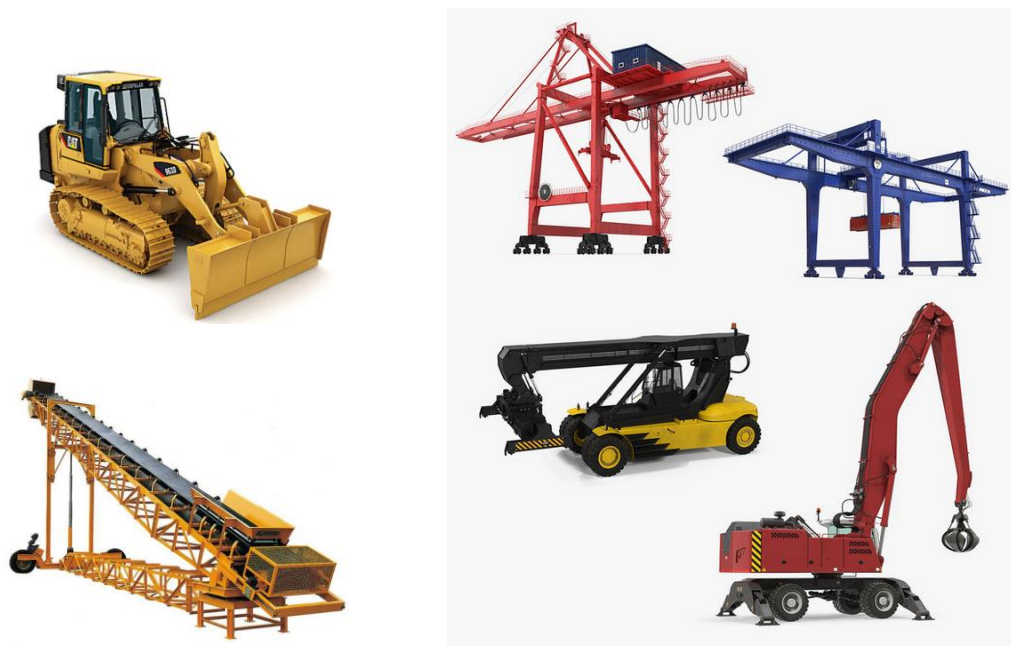


Figura 90. Imágenes con diferente maquinaria típica utilizada en los puertos para el trasiego y manipulación de mercancías. Pueden observarse diferentes grúas, palas excavadoras, carretillas, cintas transportadoras. Todos estos equipos pueden estar alimentados únicamente por energía eléctrica generada por los molinos eólicos y cogeneración.

Fuente: Google Images.

Por terminar este apartado cabe mencionar los empleados y trabajadores del puerto pueden utilizar líneas de tren eléctrico para desplazarse desde la terminal interior a exterior conformadas por la máquina y dos vagones de pasajeros. De igual modo, la Autoridad Portuaria puede impulsar diferentes medidas de uso del transporte público como autobuses eléctricos, o motocicletas eléctricas, a disposición de los usuarios del puerto en la dársena interior para desplazarse por el casco urbano.



Figura 91. El autobús eléctrico es una buena alternativa de uso público para el desplazamiento entre instalaciones portuarias y urbanas. Los autobuses y motocicletas eléctricas son una realidad en muchas ciudades y la capacidad del parque eólico sumado a la planta de cogeneración puede ejercer de fuerza tractora para impulsar la movilidad sostenible en toda el área de influencia portuaria.

Fuente: Google Images.

En este proyecto y debido a la alta cantidad de energía generada se presenta también la posibilidad de fomentar la navegación interna en las aguas de la ría de Ferrol con embarcaciones eléctricas con baterías incorporadas. Desde los buques de servicios portuarios remolcadores, barco del práctico, dragas u otros servicios presentes hasta las embarcaciones de recreo. Facilitando el acceso a red, a este tipo de transporte marino, el impacto en reducción de los consumos del tráfico portuario sería bastante elevado. Si además se planifica una ruta marítima mediante Ferries eléctricos entre Ferrol-Coruña (**Figura 89**), u otras localizaciones próximas (Sada, Ares, Pontedeume) se podría crear un nuevo servicio competitivo y que permitiría desplazar a los combustibles fósiles de las carreteras. El fomento de estas líneas además permitiría crear nuevos puestos de trabajo fomentando el uso de buques de uso público de tamaño medio totalmente eléctricos.



Figura 89. Representación sobre mapa satelital de la nueva ruta marítima entre Ferrol y los puertos de Coruña, Ares y Sada. El E-ferrie Soeby-Fynshav está equipado con baterías de 4 Mw válido para conexiones medias de 10,7 millas náuticas y una autonomía de 20 millas náuticas entre recargas. La distancia entre el Puerto de Ferrol y Coruña es de 6 millas náuticas pudiendo hacer ida y vuelta de manera autónoma. Pertenece a la naviera danesa Aeroe kommune. El proyecto se encuentra englobado en el programa H2020 de la UE. En las otras imágenes se muestra los diferentes tipos de embarcaciones (embarcaciones náuticas, motos acuáticas, remolcadores, etc) que pueden operar únicamente con suministro eléctrico proporcionado por los molinos del puerto o la planta de cogeneración en ciclo combinado.

Fuente: Elaboración propia. Google Images. Aeroe kommune E-ferries.

Enlace; <https://www.aeroekommune.dk/>

5.6 Estimación y dimensionado del parque eólico

En la búsqueda de una visión global, y en la mejora de la competitividad, la energía es fundamental para abrir nuevos escenarios en el desarrollo de las sociedades. En los próximos años, la transición energética exigirá a multitud de empresas y administraciones públicas una adaptación de la nueva realidad en sus políticas de energía.

Se presenta en la **Figura 93** el aspecto final de la instalación con el objetivo de facilitar la comprensión de este proyecto.



Figura 93. Vista panorámica del Puerto Exterior de Ferrol recreando el proyecto propuesto en este TFM tras la instalación de 4 molinos eólicos. El parque, en principio, cuenta con una potencia total de 14Mw y su distribución consiste en:

2 molinos de aprox. 3Mw en tierra.

2 molinos de aprox. 3Mw en el espigón diseñados para off-shore.

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

En este sentido, se planifica un parque eólico como fuente primaria de energía para las instalaciones de la Autoridad Portuaria y con capacidad para sostener diferentes infraestructuras con los servicios futuros facilitando el posicionamiento de la marca como Puerto Verde.

Esta nueva realidad ya es constatable en los países nórdicos con importantes navieras que cada vez exigen más compromiso y eficiencia en los puertos donde operan. Por todo ello, y tras lo explicado durante este TFM, se proyecta esta planta eólica permitiendo obtener beneficios con la venta de electricidad. Siendo desde un punto de vista estratégico una oportunidad de negocio ante la incertidumbre de la Central de As Pontes y la falta de competidores en la zona.

Se pretende, según esto, la Autoridad Portuaria desarrolle una nueva actividad empresarial rentable, con buenas perspectivas de futuro, al realizar la función de una Central Eléctrica.

El dimensionado es orientativo evaluando el potencial eólico de la zona propuesta.

Debido a las extraordinarias condiciones climatológicas (**Figura 94**) se opta por la instalación de un parque eólico capaz de aprovechar los vientos de la cornisa Ártabra.

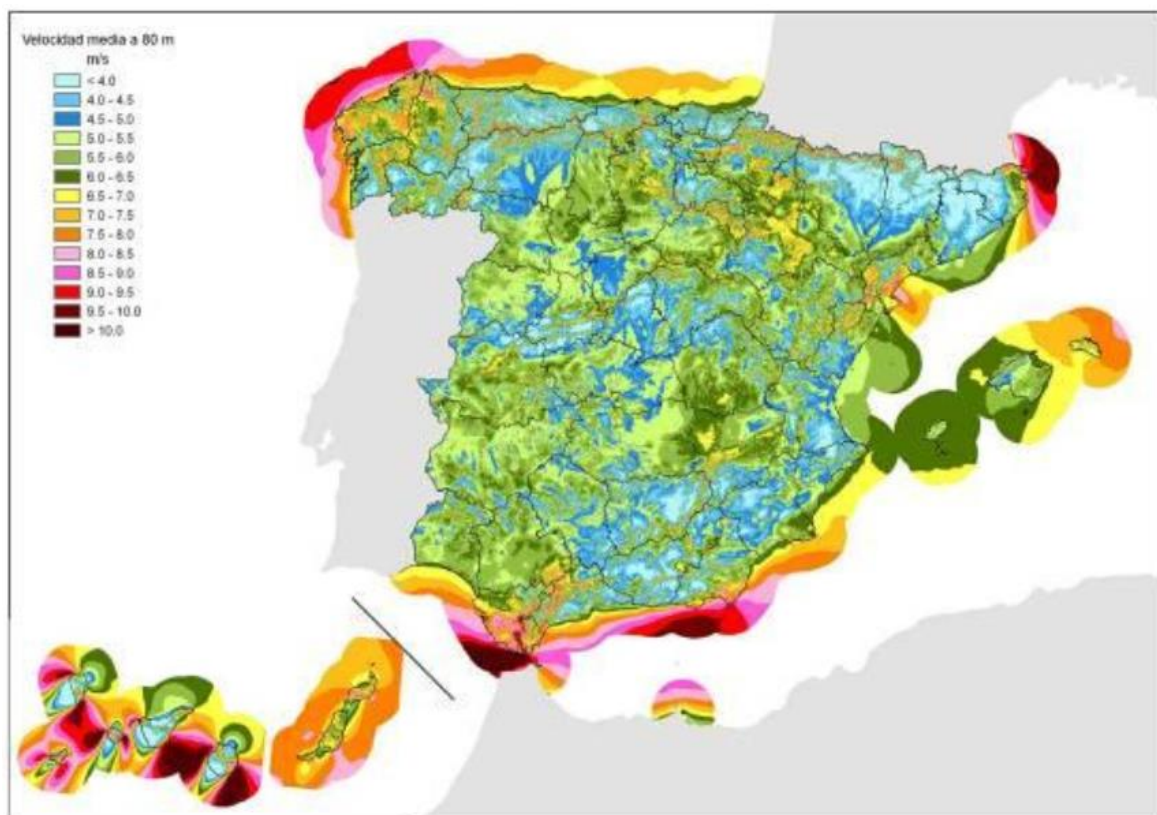


Figura 94. Mapa de las zonas de viento explotables en España a 80 metros de altura. La costa gallega presenta medias de viento importantes entre 7 y 9 m/s para los parques eólicos convirtiendo a Galicia en una de las zonas con mejores coeficientes para el aprovechamiento de este tipo de energía.

Fuente: IDAE. Anexo III. Cartografía.

Enlace: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/ISA-Anexo III Cartografía 20110630 475a6139.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/ISA-Anexo%20III%20Cartografia%2020110630%20475a6139.pdf)

Con dicha información es posible realizar una primera aproximación para evaluar el Potencial eólico del emplazamiento a partir de las velocidades medias de la zona a estudiar. Mediante la fórmula siguiente se obtiene la Potencia Eólica en la zona propuesta a una velocidad media del viento establecida según diferentes análisis previos:

$$I = 0,593 * (0,5 * 1,25 * v^3) \quad (1)$$

I = Potencia eólica

Coefficiente de Betz= 0,593

Densidad viento = 1,25

v^3 = velocidad media del viento en la zona al cubo

Por tanto, es necesario, antes de cualquier cálculo realizar una valoración de la Velocidad media en la zona (**Figura 95**) a partir de estudios cartográficos y Atlas de vientos.

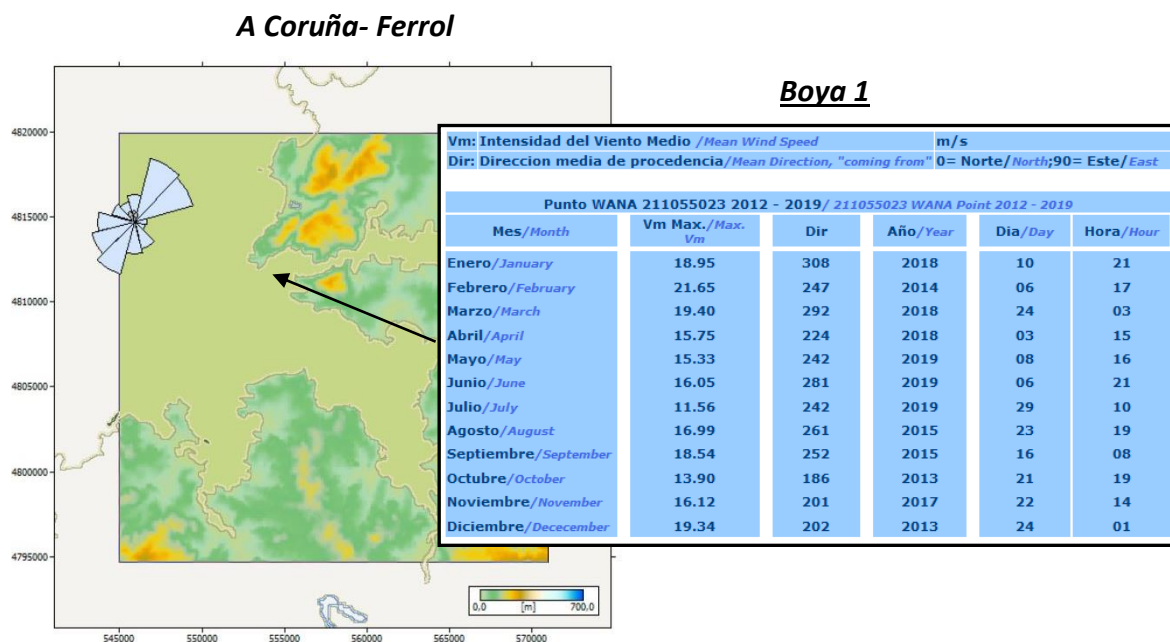


Figura 95. Mapa de situación de la zona a estudiar. Atlas de viento costero en el Golfo Ártabro. Tabla de intensidades de vientos medios recogidos por la estación de la Boya 1.

Fuente: Meteogalicia (mapa). Puertos del Estado (Tabla)

Enlace: https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/meteo/proyectos/energymare/Atlas_Vento_Galicia.pdf

Será necesario realizar dos análisis para cada emplazamiento, esto se debe a la diferencia de altura que habrá entre los molinos situados en tierra y los molinos situados en el espigón. Aunque no es objeto de este estudio un análisis profundo del parque eólico se indica en la **Figura 96** el desnivel existente entre los emplazamientos que determinarán la altura total de la torre del molino. Esto tiene su importancia tanto en la producción final como en el coste de la estructura a utilizar y se tendrá en cuenta.

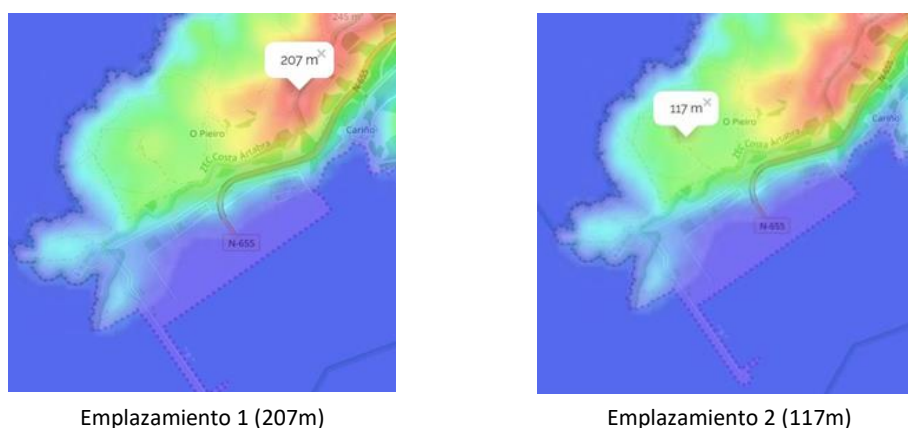


Figura 96. Mapa de elevación del terreno en el P. E. Ferrol. El espigón está situado a nivel del mar. Las dos turbinas terrestres de 3 Mw estarán situadas a 207 y 117m respectivamente sobre el nivel del mar.

Fuente: Elaboración propia mediante aplicación Google.

²¹WASP: Wind Atlas Analysis and Application Program

Continuando con el estudio presentado por Meteogalicia en el Atlas de Vientos de Galicia, se muestra en la **Figura 97** el recurso eólico a 120 metros de altura sobre el nivel del mar.

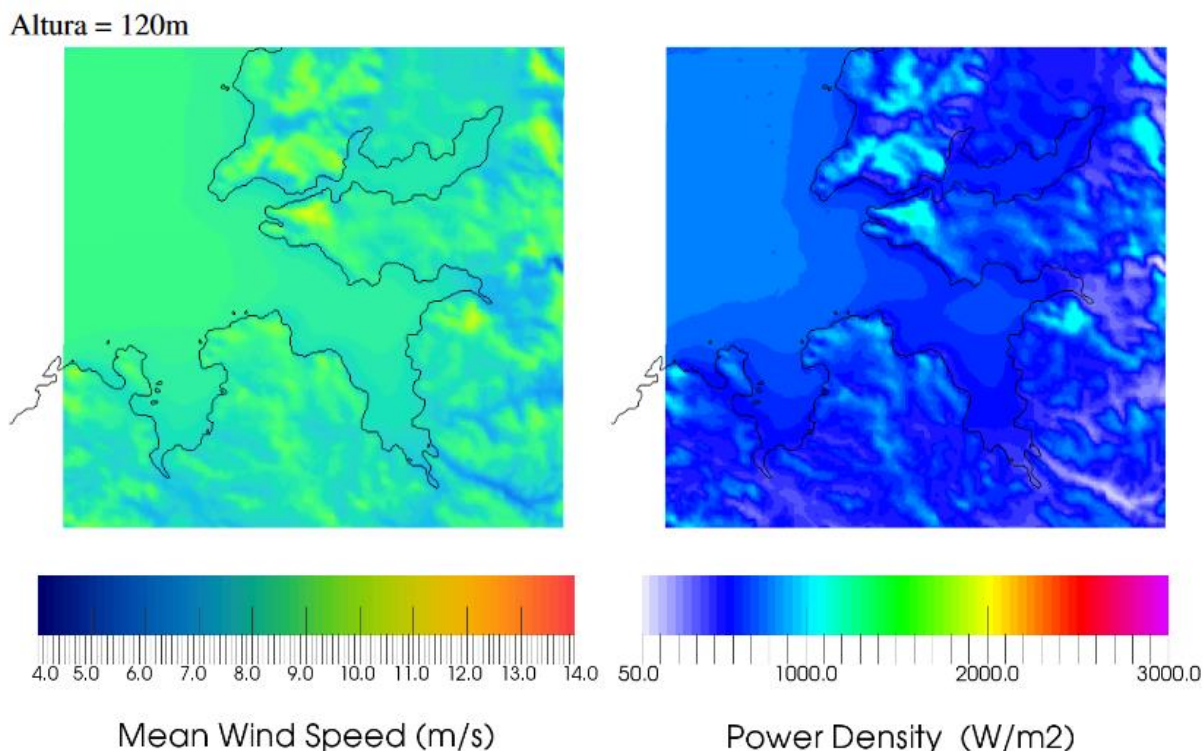


Figura 97. En los mapas de la izquierda se presenta el recurso eólico con velocidades media representando la intensidad de color una velocidad para cada zona del mapa. En los mapas de la derecha se muestra la potencia del recurso eólico según la densidad del viento en esa zona.

Fuente: Meteogalicia

Enlace: https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/meteo/proyectos/energymare/Atlas_Vento_Galicia.pdf

Atendiendo a esta información se plantea instalar las 4 turbinas a una altura mínima de 120 metros por ser la mejor situación de todas para las turbinas en el espigón. Las turbinas en tierra estarán situadas por encima de esta altura al estar situadas a 100 y 200 metros respectivamente sobre el nivel del mar. En la **Figura 99** se indican las distancias recomendables entre molinos para no interferir entre ellos.

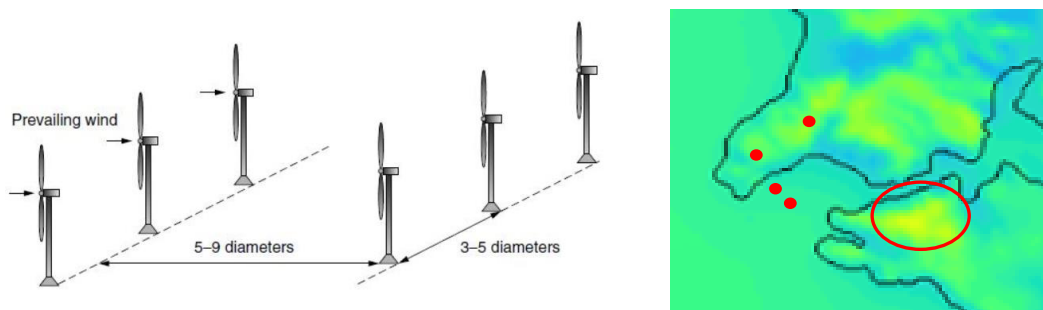


Figura 99. Ilustración de la disposición de los molinos para su correcto funcionamiento evitando interferir unos con otros. Detalle realizado de la Ría de Ferrol sobre el Atlas de Meteogalicia a 120 m. Con puntos rojos se indica aproximadamente la zona donde estarán situados los molinos. El área de mayor recurso, en círculo rojo, está situada en antigua zona militar abandonada, aunque ya pertenece a otro municipio.

Fuente: Google Images y elaboración propia.

Según esto, se realiza ahora la primera aproximación del Potencial eólico fijando las velocidades medias de referencia en la zona y estimadas según el Atlas de Meteogalicia.

- Velocidad media molinos 3 Mw a 120 m $\rightarrow V_m = 9,5$ m/s
- Velocidad media molinos 3 Mw a 120 m $\rightarrow V_m = 8,5$ m/s

Aplicando la fórmula (1) anterior se obtiene el Potencial Eólico para los emplazamientos seleccionados:

1. Emplazamiento terrestre ($V_m = 9,5$ m/s);

$$I = 0,593 * (0,5 * 1,25 * 9,5^3)$$

$$\text{Resultado Potencial eólico} \rightarrow I = \mathbf{317,7 \text{ W/m}^2}$$

2. Emplazamiento espigón ($V_m = 8,5$ m/s);

$$I = 0,593 * (0,5 * 1,25 * 8,5^3)$$

$$\text{Resultado Potencial eólico} \rightarrow I = \mathbf{227,6 \text{ W/m}^2}$$

Si atendemos a la rentabilidad de los parques eólicos destinados a la generación eléctrica, según el Estado de la Técnica actual, las cifras de Potencial Eólico de una zona rentable deben ser superiores a los 200 W/m^2 . Por tanto, ambos emplazamientos, se sitúan por encima del margen mínimo exigible para la explotación comercial.

A modo orientativo, indicado en la **Figura 100**, se presenta un mapa de producción anual.

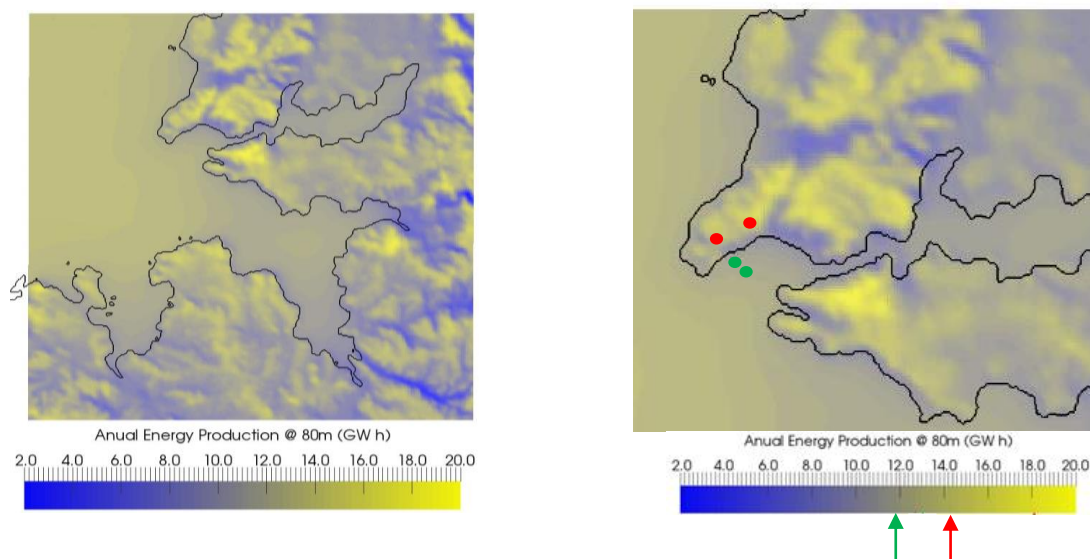


Figura 100. Mapa estándar representando mediante colores la producción media anual en la zona a 80 metros de altura para una turbina tipo de 3 Mw. A la derecha se presenta un detalle del emplazamiento del parque señalando con puntos rojos y verdes la situación de los molinos. La flecha verde y roja indica la cantidad de producción eléctrica anual para una turbina de 3 Mw tipo.

Fuente: Meteogalicia

Enlace: https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/meteo/proyectos/energymare/Atlas_Vento_Galicia.pdf

En este sentido, de los datos aportados hasta ahora, se puede concluir a modo orientativo la Producción anual aproximada a 80 metros sobre el nivel del mar, para una turbina tipo de 3 Mw, es:

→ Emplazamiento terrestre: 14,3 Gw h

→ Emplazamiento espigón: 11,8 Gw h

Producción anual total en ambos emplazamientos (Meteogalicia): **26,1 Gw h**

Tras esta primera toma de contacto con el recurso del emplazamiento es importante conocer la Frecuencia de vientos y la presencia de rachas superiores a los límites de trabajo establecidos para cada equipo eólico. Para ello se utilizarán dos fuentes de información:

- Datos históricos de la Estación de Monteventoso, hoy cerrada.
- Boyas marinas actualmente utilizadas como estaciones de medición equipadas con anemómetro.

Los datos históricos de la Estación de Monteventoso (240 m) en cuanto a rachas de viento (véase **Figura 101**) son de relevancia pues es la Estación con mayor medición de número de rachas de viento superior a 60 Km/h de componente S y SSO, con un total de 200 días al año (175, 5 favorables para la energía eólica) y una velocidad media del viento de 29 Km/h (8 m/s) con rachas de media a una velocidad de 58, 7 Km/h (16,3 m/s).

Velocidad media del viento y frecuencia de las rachas extremas en Galicia en el periodo 1984-1997

	Velocidad media del viento (km/h)	Velocidad media de las rachas maximas	Velocidad más alta alcanzada (km/h)	Nº días/año con rachas >60 km/h	Nº días/año con rachas >80 km/h	Nº días/año con rachas >100 km/h
Monteventoso	29	58.7	174	119.4	56.5	24.7
A Coruña	16	39.3	130	42.2	7.8	1.1
Santiago	14	36.5	120	20.5	4.5	0.8
Vigo	14	36.3	122	18.7	2.8	0.4
Lugo	13	32.6	115	13.6	0.6	0.2
Pontevedra	8	29.6	115	10.7	0.6	0.3
Ourense	7	27	90	3.6	0.3	0

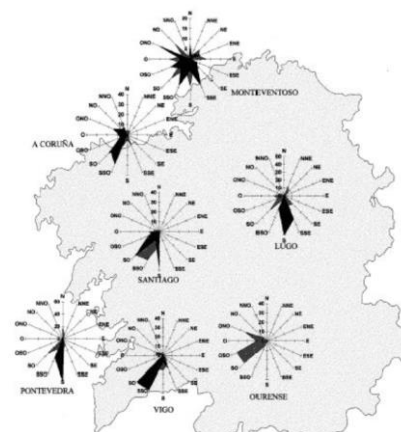


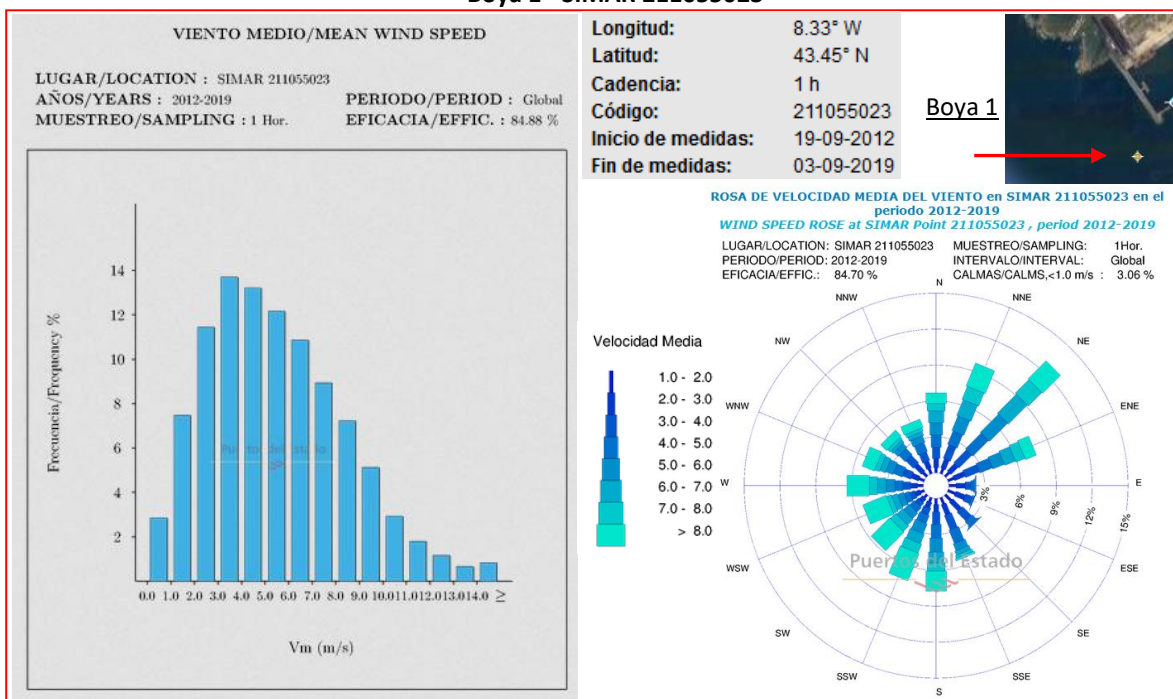
Figura 101. Histórico de la Estación de Monteventoso (Ferrol). La situación de esta Estación, hoy no operativa, se encuentra a 850 metros de distancia del emplazamiento propuesto para una de las turbinas de 3 Mw. Con una diferencia de nivel de 58 metros entre ambas localizaciones. Según este cuadro se dispone de 175, 5 días con intensidades aprovechables superiores a 60 Km/h (16,6 m/s) y a 80 Km/h (22,22 m/s). A 100 Km/h (27 m/s) la máquina corta su funcionamiento por seguridad de la propia instalación eólica. Se presenta también el mapa de Galicia con la Rosa de los Vientos de las 7 Estaciones de medición que existían en 1997, indicando la dirección del viento y su intensidad para todas las componentes Sur.

Fuente: Martí Ezpeleta, Alberto. Rachas Máximas y temporales de viento en Galicia. Revista Lurralde, nº 21 (1998) pp. 262-280. Departamento Xeografía (USC).

Enlace: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Rachas-temporales-viento-Galicia.pdf>

En referencia a las boyas marinas (indicadas coordenadas en **Figura 102**) se obtienen las mediciones de dos estaciones de referencia para el Puerto Exterior a nivel de mar. La primera boya (SIMAR 211055023) situada próxima al espigón y la segunda boya (SIMAR 3027035) más alejada de la costa.

Boya 1 - SIMAR 211055023



Boya 2 - SIMAR 3027035

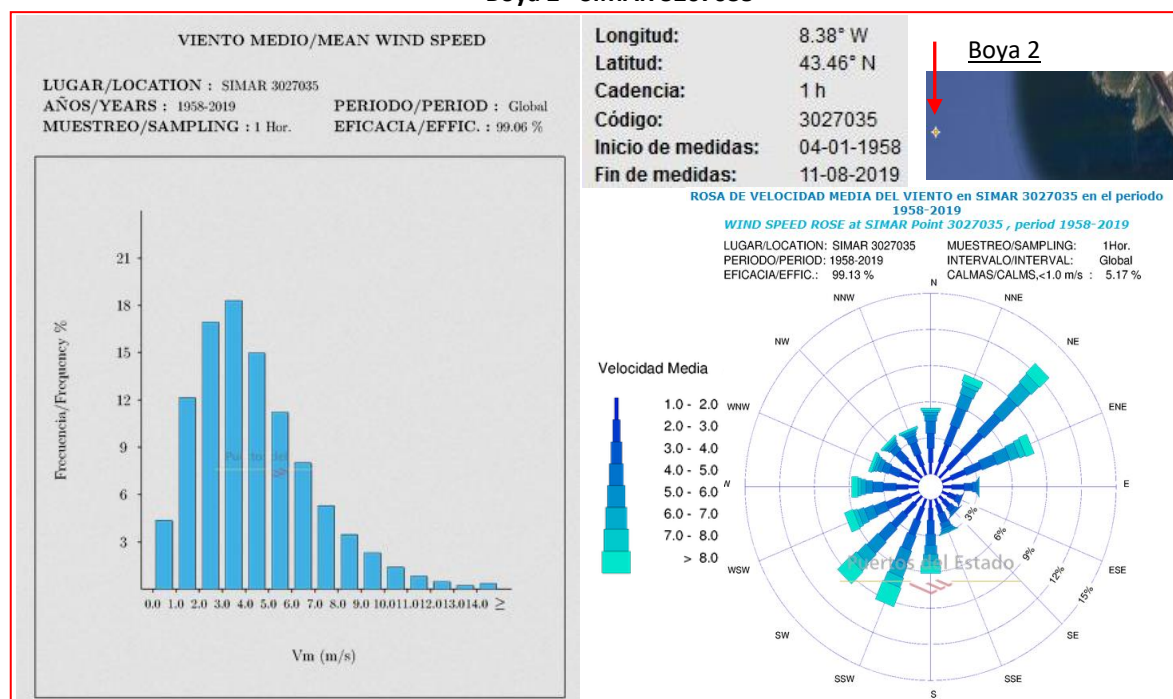


Figura 102. Datos históricos de las dos boyas. La Boya 1 recoge una serie histórica desde 2012 hasta 2019. La Boya 2 recoge series desde 1958 hasta 2019. Se presenta Tabla de Frecuencias y Rosa de los Vientos para cada estación marina. El número de medidas permite mejorar el análisis del recurso eólico.

Fuente: Puertos del Estado.

Después de un análisis rápido de la Tabla de Frecuencias se advierte la Boya 1 (cerca del espigón) se comporta mejor en un rango de velocidades más amplio. Mientras la Boya 2 presenta frecuencias más elevadas a velocidades bajas. Esto es importante para la producción eléctrica que es directamente proporcional al cubo de la velocidad. Atendiendo a esto se toma como referencia para el cálculo de producción eléctrica la Boya 1, respondiendo a unos valores más fiables por su cercanía, aunque no en el tiempo.

5.7 Impacto Ambiental

Este es uno de los aspectos más importantes de la planificación de este proyecto y se han tenido en cuenta múltiples variables como el Impacto Visual (molinos visibles desde la Playa de Doniños), afectación a monumentos, impactos sobre la fauna, biodiversidad de aves marinas, etc. En la **Figura 103**, se muestran los planes de protección que aplican a la zona del emplazamiento seleccionado para los molinos terrestres, siendo afectada por dos planes únicamente:

1. Zonas de Especial Protección dos Valores Naturais (ZEPVN)
2. Zonificación del Plan Director Red Natura 2000

En definitiva, este proyecto quedaría sujeto para su aprobación a una autorización especial de la Administración Pública. Relativo a esto, es importante indicar la instalación se proyecta como un parque de prueba y generador de recursos con la previsión de reutilizar sus turbinas tras acondicionamientos necesarios en un parque eólico off-shore, como se indicó a lo largo de este TFM.

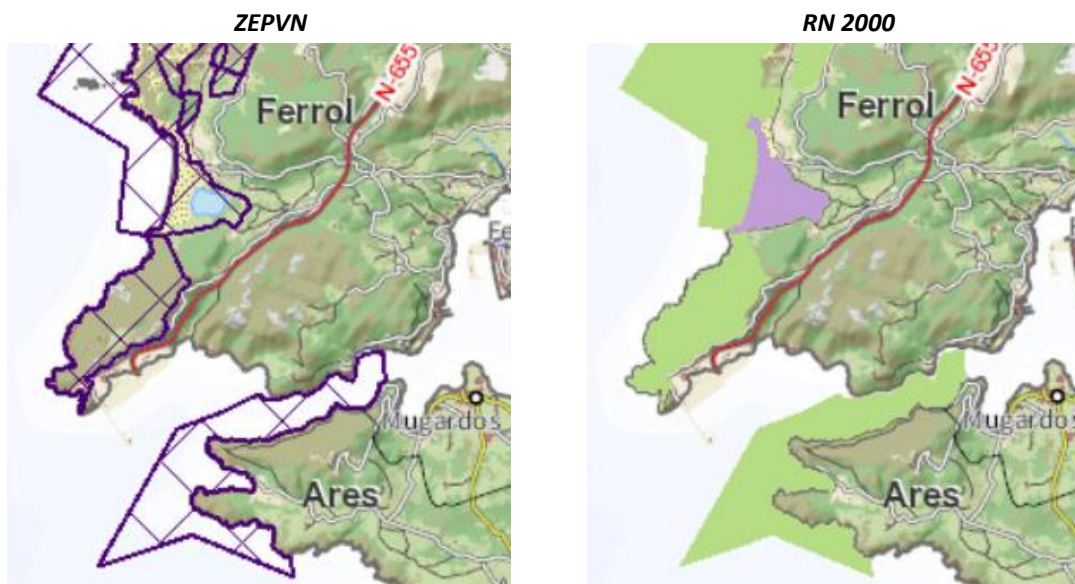


Figura 103. Mapa del área de Ferrol afectada por las Zonas con interés natural y dentro de los planes especiales de protección y Red Natura 2000. Los cuadros representan las zonas afectadas por el ZEPVN y el color verde la RN 2000, ambas superpuestas. Los molinos en el espigón no entran en las zonas protegidas.

Fuente: Xunta de Galicia. Visor.

Enlace: <https://mapas.xunta.es/visores/conservaciondanaturaleza/>

A mayor abundamiento en esta problemática ambiental, se referencia el parque estará situado en una zona de gran actividad industrial junto a los límites de la zona portuaria. La importancia de esto radica en la contaminación generada por el tráfico de graneles sólidos, fundamentalmente por derivados del carbón, originando una gran fuente de partículas en suspensión bajo la influencia de los vientos. Puede observarse, en la **Figura 104**, una simulación numérica del comportamiento de los áridos en la zona de influencia portuaria, abarcando la zona seleccionada para el parque eólico.

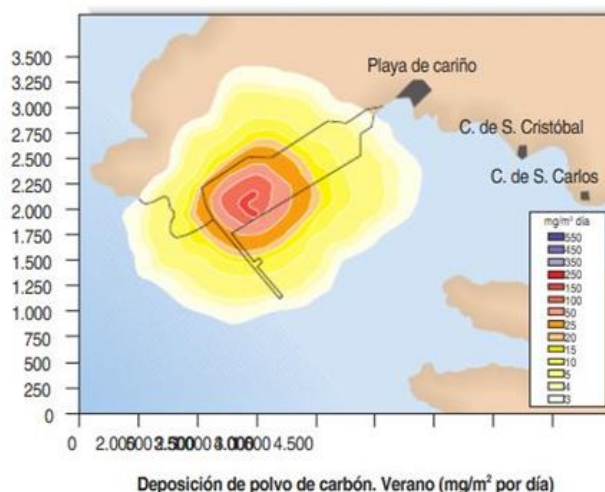
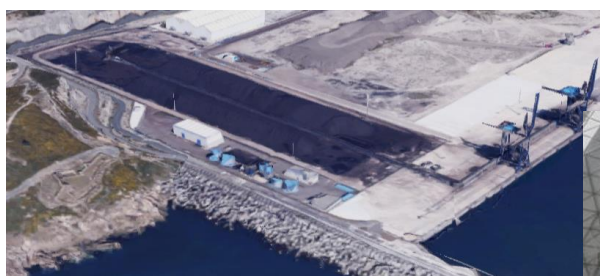


Figura 104. Simulación numérica realizada por la Autoridad Portuaria tras análisis del Impacto ambiental contenida en el anteproyecto de la ampliación del Puerto Exterior de Ferrol. Tras el análisis realizado por el software se observa la gran deposición de contaminantes de carbón proyectada en la zona de influencia.

Fuente: García Villar, José Ignacio. Artículo: "Una de las mayores actuaciones de ingeniería marítima que se han desarrollado en España".

En el presente, y tras varios años de actividad, aún no se han tomado medidas al respecto y como puede observarse, en la **Figura 105**, los gráneles sólidos derivados del carbón se acumulan en la explanada portuaria de Ferrol. Se indica también una propuesta correctiva utilizada en otras instalaciones similares en el tratamiento de estos minerales mejorando sustancialmente las condiciones ambientales.



Propuesta correctiva

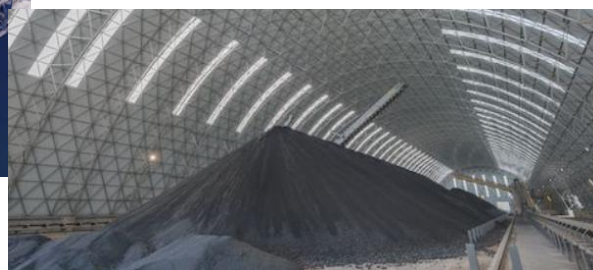


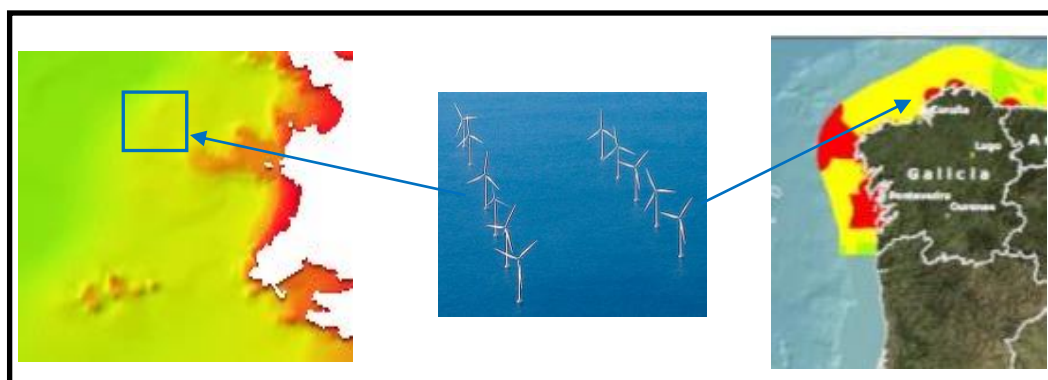
Figura 105. Imagen aérea de las instalaciones de Ferrol con derivados del carbón al aire libre e imagen de una con silo preparada convenientemente para minimizar el impacto ambiental.

Fuente: Google Images.

Por ello, habría un margen de justificación para la autorización del parque eólico si éste conlleva una reducción en la importación de derivados del carbón para quemar en las centrales Térmicas (gases efecto invernadero asociados) en paralelo a una reducción de las partículas en suspensión. En función de la sostenibilidad podría estar justificado el parque eólico temporal si propicia el cambio de paradigma planteado para este puerto.

A continuación, y para terminar este apartado referido al impacto ambiental, se propone la opción de desmantelar el parque tras su amortización empleando una parte anual de los beneficios para acondicionar un parque eólico marino futuro (véase **Figura 106**). Simplemente se hará referencia de una manera visual para dejar planteado el paso último que debe encaminar la Autoridad Portuaria de Ferrol en su expansión. Se presenta también a modo orientativo el análisis de corrientes marinas y zona planificada para la instalación de un prototipo de energía mareomotriz, ya indicado en apartados anteriores.

Parque eólico off-shore (Costa Ártabra)



Prototipo energía mareomotriz. (Espigón)

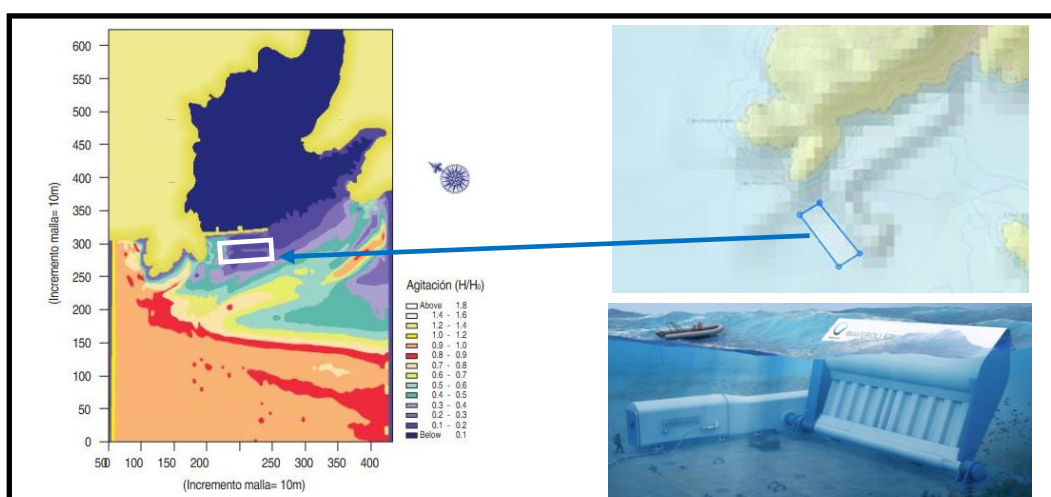


Figura 106. En la imagen superior se indica un detalle del mapa batimétrico de la plataforma continental en la zona Ártabra junto a un mapa de zonas óptimas para la instalación de parques eólicos off-shore. En la figura inferior se muestra un estudio del comportamiento del oleaje en el puerto exterior junto al lugar reservado para el equipo mareomotriz. El oleaje se convierte óptimo en la zona del espigón según recomendaciones del fabricante al no ser una zona con grandes alturas de ola.

Fuente: IDAE. Mapa de zonas eólicas marinas.

5.8 Estimación de Producción – Dimensionado molinos

A partir de la Tabla de Frecuencias proporcionada por la Boya 1 (SIMAR 211055023) y la tabla de intensidades medias del viento representativas para esa zona, y tras introducción de los parámetros C (valor del cruce de la intersección) y K (pendiente de la línea recta en la gráfica) se puede determinar la Distribución de Weibull cubriendo las posibles variaciones de viento producidas a lo largo del año. En la **Figura 107**, se indica las curvas características que deben ajustarse al histograma lo mejor posible.

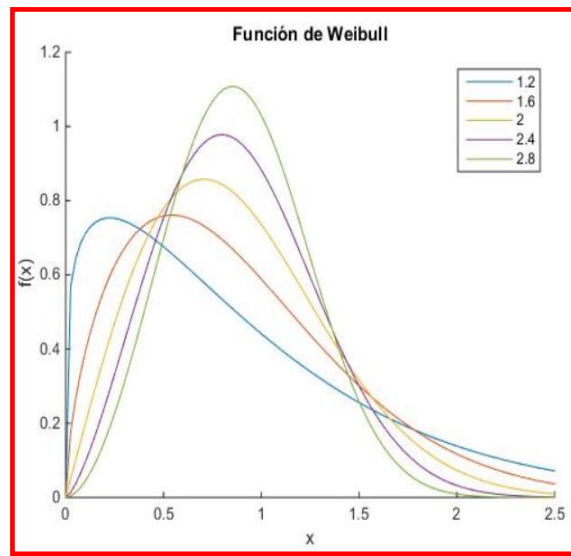


Figura 107. Funciones de Weibull según el parámetro K. El histograma de frecuencias de viento medio debe solaparse con la función de Weibull que mejor se adapte a cada caso.

Fuente: Google Images.

Aplicando esto al emplazamiento a dimensionar se obtiene la Función de Weibull representativa, indicada en la **Figura 108**, para una K = 2.

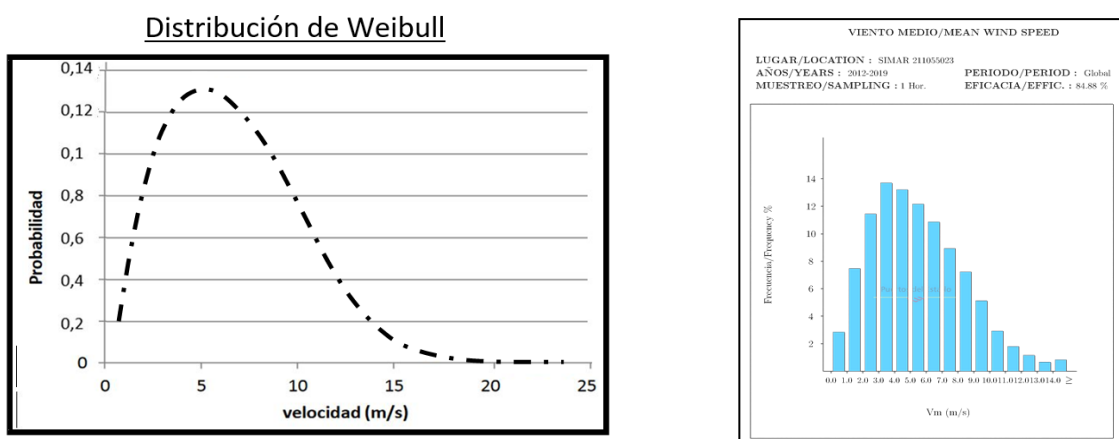


Figura 108. Cálculo de la Función de Weibull a partir del histograma de frecuencias del viento y la tabla de velocidades medias representativas para esa zona.

Fuente: Elaboración propia.

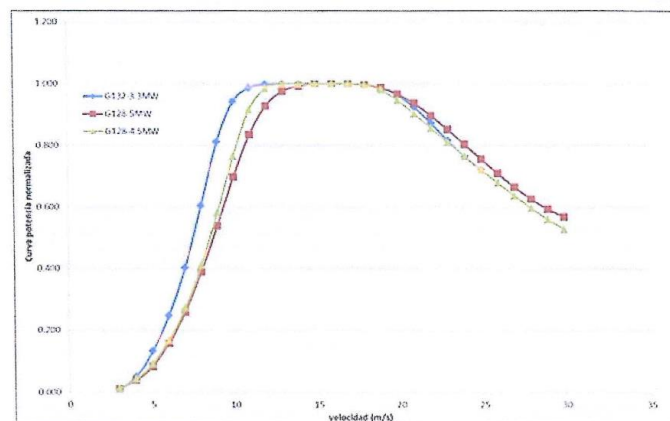
Los molinos seleccionados en primera instancia para este emplazamiento son los siguientes modelos:

- a) 2 unidades Siemens Gamesa SG132 - 3.4 Mw
- b) 2 unidades Vestas V112 -3.0 Mw (off-shore)

Características Gamesa SG132 – 3.4 Mw

Datos generales

Potencia nominal	3.465 MW
Clase de viento	IEC IA/IIA
Potencia flexible	3.3-3.75 MW
Control	Pitch y velocidad variable
Temperatura operativa estándar	Rango desde -20°C hasta 30°C (1)
Generador	
Tipo	Doblemente alimentado
Tensión	690 V AC
Frecuencia	50 Hz/60 Hz
Clase de protección	IP 54
Factor de potencia	0,925 CAP-0,925 IND en todo el rango de potencias (2)
Rotor	
Diámetro	132 m
Área de barrido	13.685 m ²
Densidad de potencia	253,20 W/m ²



Curva de Potencia turbina comparativa G132 – 3.4/G128 – 5.0/G128 – 4.5 Mw

Gamesa dispone de un catálogo de molinos adaptable a la intensidad de los vientos indicado en la **Figura 109**. De este modo y con los datos obtenidos del análisis de la zona se escoge el equipo más adecuado para las condiciones de trabajo.

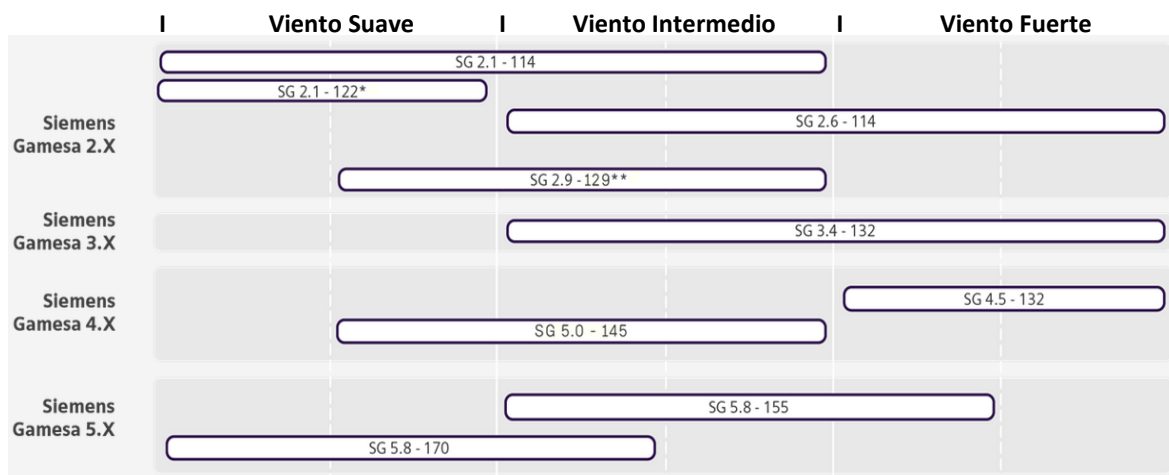
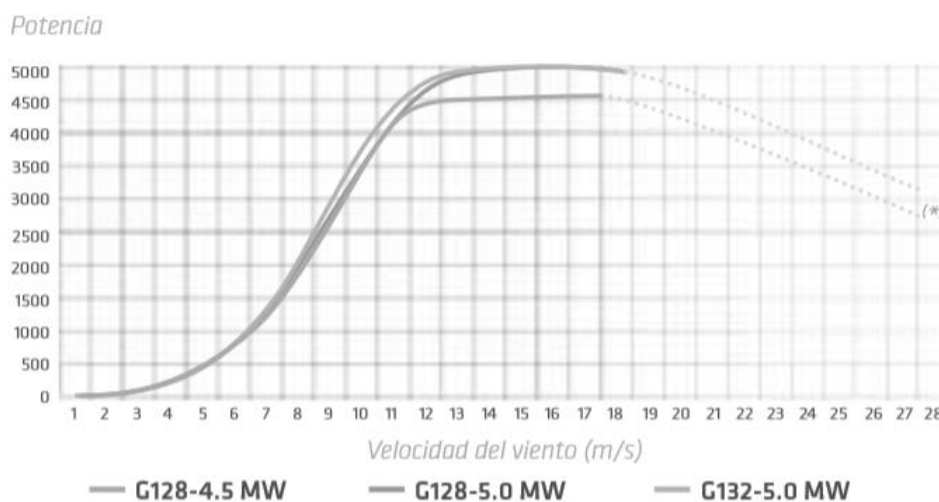


Figura 109. Comparativa de turbinas Gamesa en función de la intensidad del viento. Aunque en este proyecto se escogió la turbina SG132-3.4Mw por ajustarse a los requerimientos deseados. La última decisión para la selección de un molino eólico quedará condicionada a expensas del asesoramiento técnico de la empresa suministradora pudiendo proponer una opción más adecuada.

Fuente: Siemens Gamesa.



Comparativa entre curvas de potencia para 3 equipos Gamesa similares.

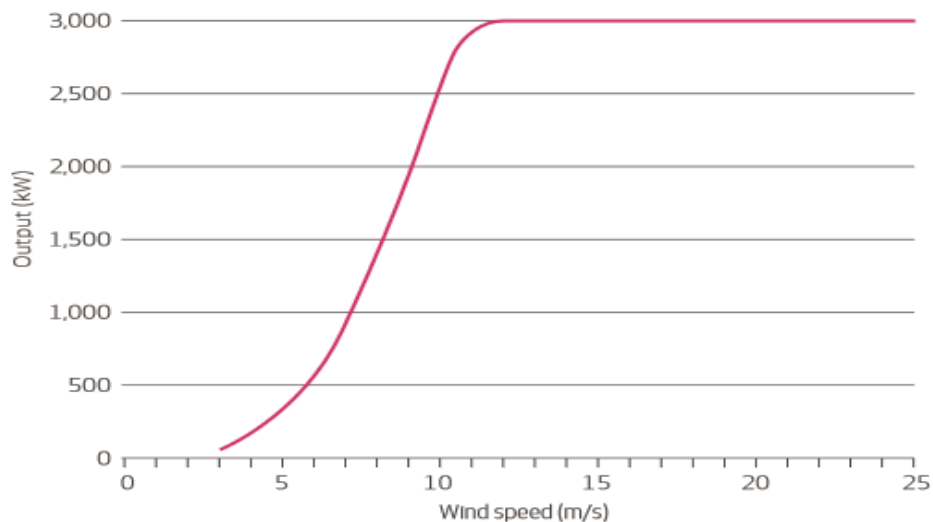
Se pretende adecuar la Curva de Potencia a las 3 velocidades representativas de cada molino eólico buscando la mejor configuración para extraer el máximo rendimiento del emplazamiento. Estas velocidades de referencia son:

- *Velocidad de arranque:* velocidad a la que comienza a funcionar el molino.
- *Velocidad nominal:* velocidad a la que el molino alcanza la Potencia Nominal.
- *Velocidad de corte:* velocidad a la que el molino se detiene por seguridad.

Características Vestas

V112-3.0 MW Offshore

Power regulation	pitch regulated with variable speed
Operating data	
Rated power	3,000 kW
Cut-in wind speed	3 m/s
Rated wind speed	12 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Wind Class - IEC	S
Operational temperature range	standard range -20°C to 40°C
Rotor	
Rotor diameter	112 m
Swept area	9,852 m ²
Operational interval	6.7 to 17.7 rpm
Nominal revolutions	14 rpm
Tower	
Type	tubular steel tower
Hub heights	site specific
Electrial	
Frequency	50 Hz
Converter type	full scale converter
Generator type	permanent magnet generator



Curva de Potencia V112 – 3.0 Mw Off-shore

La producción de energía de la turbina determinará el rendimiento del parque y su capacidad de amortización en ese emplazamiento. Tras el primer tanteo en la aproximación del dimensionado se constató el parque superaría los 200W/m² asegurando la viabilidad.

El dimensionado planteado es a nivel orientativo y son necesarios estudios más rigurosos sobre el terreno realizando multitud de mediciones. Las velocidades del viento son tomadas por una boya a nivel del mar, por tanto, estas cifras pueden variar significativamente aplicando las correcciones y factores aplicables en un dimensionado tipo para un proyecto de un parque eólico con vientos a alturas superiores a 80 metros.

Por todo ello, se realiza una comparativa entre 3 turbinas de diferentes potencias para los datos obtenidos a partir de la boya seleccionada cerca del espigón. Los modelos comparados son los dos seleccionados y descritos anteriormente junto a otra turbina de mayor potencia (5 Mw), los modelos implicados en este análisis son los siguientes:

- Modelo G132 - 3.5 Mw
- Modelo V112 - 3.0 Mw Off-shore
- Modelo G128 - 4.5 Mw.

Según la estación seleccionada de medición Boya 1 (**SIMAR 211055023**) se obtienen los siguientes registros históricos de frecuencias de viento **Figura 110**, que aplicarán a un total de 8760 hora de trabajo.

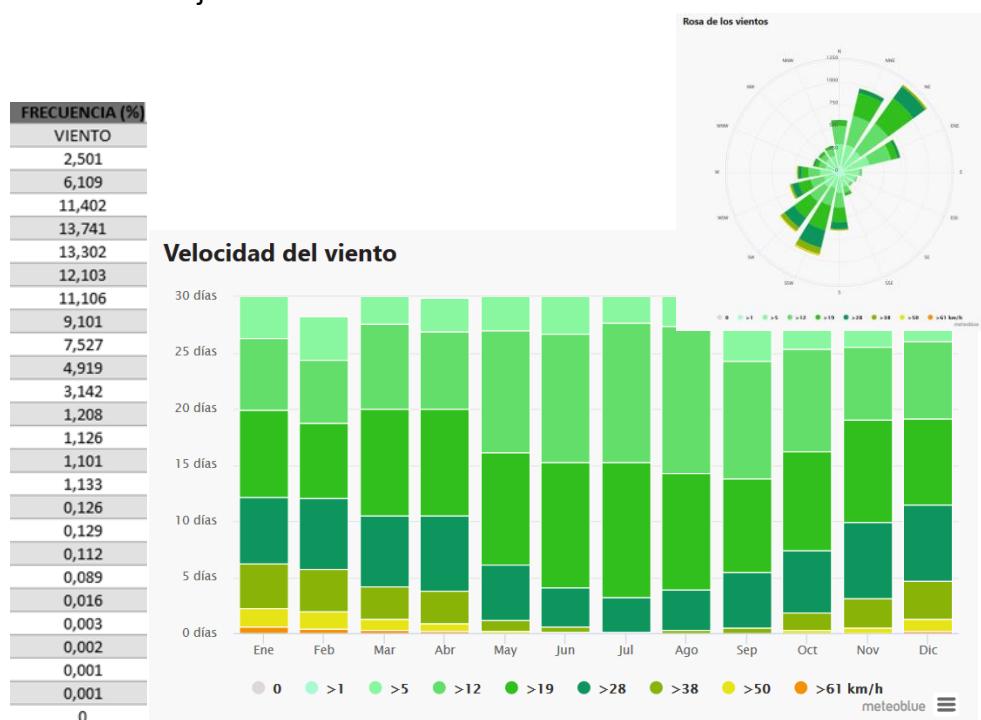


Figura 110. Tabla de frecuencia de vientos en la Costa Ártabra a nivel del mar junto la media de días y la Rosa de los vientos para el emplazamiento indicado

Fuente: Elaboración propia. A partir de material de meteoblue.com

Análisis de los datos:

SG132 – 3.4 Mw

SG132 - 3.4	FRECUENCIA (%)	HORAS	SG132 - 3.42
Potencia (KW)	VIENTO	8760	PRODUCCIÓN (KWh)
0	2,501	21908,76	0
130	6,109	53514,84	6956,9292
260	11,402	99881,52	25969,1952
975	13,741	120371,16	117361,881
1690	13,302	116525,52	196928,1288
2405	12,103	106022,28	254983,5834
3120	11,106	97288,56	303540,3072
3380	9,101	79724,76	269469,6888
3380	7,527	65936,52	222865,4376
3380	4,919	43090,44	145645,6872
3380	3,142	27523,92	93030,8496
3380	1,208	10582,08	35767,4304
3380	1,126	9863,76	33339,5088
3380	1,101	9644,76	32599,2888
3380	1,133	9925,08	33546,7704
3380	0,126	1103,76	3730,7088
3380	0,129	1130,04	3819,5352
3380	0,112	981,12	3316,1856
3380	0,089	779,64	2635,1832
3380	0,016	140,16	473,7408
3380	0,003	26,28	88,8264
3380	0,002	8,76	29,6088
3380	0,001	0	0
3380	0,001	0	0
3380	0	0	0

V112 – 3 Mw

V112 - 3 Mw	FRECUENCIA (%)	HORAS	V112 - 3.5 Mw2
Potencia (KW)	VIENTO	8760	PRODUCCIÓN (KWh)
0	2,501	21908,76	0
0	6,109	53514,84	0
15	11,402	99881,52	1498,2228
129	13,741	120371,16	15527,87964
315	13,302	116525,52	36705,5388
605	12,103	106022,28	64143,4794
950	11,106	97288,56	92424,132
1409	9,101	79724,76	112332,1868
1845	7,527	65936,52	121652,8794
2500	4,919	43090,44	107726,1
2905	3,142	27523,92	79956,9876
3000	1,208	10582,08	31746,24
3000	1,126	9863,76	29591,28
3000	1,101	9644,76	28934,28
3000	1,133	9925,08	29775,24
3000	0,126	1103,76	3311,28
3000	0,129	1130,04	3390,12
3000	0,112	981,12	2943,36
3000	0,089	779,64	2338,92
3000	0,016	140,16	420,48
3000	0,003	26,28	78,84
3000	0,002	8,76	26,28
3000	0,001	0	0
3000	0,001	0	0
3000	0	0	0

G128 – 4.5 Mw

G128 - 4.5 Mw	FRECUENCIA (%)	HORAS	G128 - 4.5 Mw2
Potencia (KW)	VIENTO	8760	PRODUCCIÓN (KWh)
0	2,501	21908,76	0
75	6,109	53514,84	4013,613
165	11,402	99881,52	16480,4508
300	13,741	120371,16	36111,348
600	13,302	116525,52	69915,312
967	12,103	106022,28	102523,5448
1533	11,106	97288,56	149143,3625
2200	9,101	79724,76	175394,472
3018	7,527	65936,52	198996,4174
3774	4,919	43090,44	162623,3206
4314	3,142	27523,92	118738,1909
4490	1,208	10582,08	47513,5392
4500	1,126	9863,76	44386,92
4500	1,101	9644,76	43401,42
4500	1,133	9925,08	44662,86
4500	0,126	1103,76	4966,92
4500	0,129	1130,04	5085,18
4500	0,112	981,12	4415,04
4360	0,089	779,64	3399,2304
4113	0,016	140,16	576,47808
3919	0,003	26,28	102,99132
3725	0,002	8,76	32,631
3532	0,001	0	0
3339	0,001	0	0
3145	0	0	0

Producción:

Turbinas		Kwh	Mwh
→ SG132 - 3.4 Mw		17860984,75	17860,98
V112 - 3.0 Mw		764523,726	7645,24
G128 - 4.5 Mw		12324832,42	12324,83

Producción por tipo de Turbina a nivel del mar.

A la vista de estas cifras es evidente se posiciona en mejor posición el aerogenerador de Gamesa Modelo SG132-3.4Mw tras este estudio a nivel del mar. El coste de este tipo de turbinas, según diferentes opiniones de un Mercado tan competitivo como el eólico, está sobre los 1000€/Mw.

Con esta cifra es posible realizar un primer tanteo situando el coste de cada aerogenerador por encima de los 3,4 millones de euros. Siendo la inversión inicial, sólo en los equipos eólicos, próxima a los 14 millones de euros. Además, el cableado y diferentes instalaciones de control digital asociadas a la instalación para realizar una gestión eficiente de la energía.

Conociendo el gasto total del Puerto Exterior, y sin disponer de material fiable, se realizará una planificación básica del funcionamiento del sistema en red distribuida. Independientemente exista la planta de cogeneración, el análisis versará sobre la entrega de energía del parque eólico y su distribución, primeramente, satisfaciendo las demandas de la instalación portuaria actual. Tras esto se diseña un sistema de almacenaje con un sistema de baterías en contenedor con capacidad de 15 Mw, esto permitirá desviar los picos de la curva de carga y ya comentado en capítulos atrás.

El análisis de la instalación distribuida partirá de diferentes supuestos partiendo del consumo total de la Autoridad Portuaria en Ferrol, tanto del interno como del externo, las cifras para iniciar este cálculo serán:

- Consumo total de la APFSC: **4.028.583 Kwh/año**
- Gasto total de la APSFC: **491.272,99 €/año**

Con estos datos se comienza a planificar el nuevo sistema de generación distribuida y para ello se hará un estudio del consumo típico de una instalación similar en la industria y a partir de esta curva de demanda se selecciona el nivel de potencia donde basar el análisis y focalizar en la redistribución de la energía desde las baterías a los picos.

El sistema de baterías estará basado en el modelo SAFT de 2,5 Mw de capacidad de almacenamiento de energía y una potencia de 1,5 Mw, estimando un valor de 2,5 millones de euros, aunque los costes de estos sistemas están sufriendo un descenso muy acusado. Teniendo en cuenta el sistema de tarifas y tramos se realizó lo siguiente.

En un primer momento se eligió un contrato eléctrico ajustado al perfil de la instalación y proyectando unos consumos medios por día partiendo del consumo general anual para realizar el dimensionado de la red según la potencia instalada y una tarifa ajustada a la actividad. En la **Figura 111**, se muestra el tratamiento de datos durante el proceso fijando el estudio en el mes de enero y construyendo la curva de demanda para el Puerto de Ferrol. Siguiendo el mismo proceder con el histograma de vientos se analizó los consumos del mes de septiembre por resultar de los más desfavorables para la producción eólica contando con medias de frecuencia inferiores al resto.

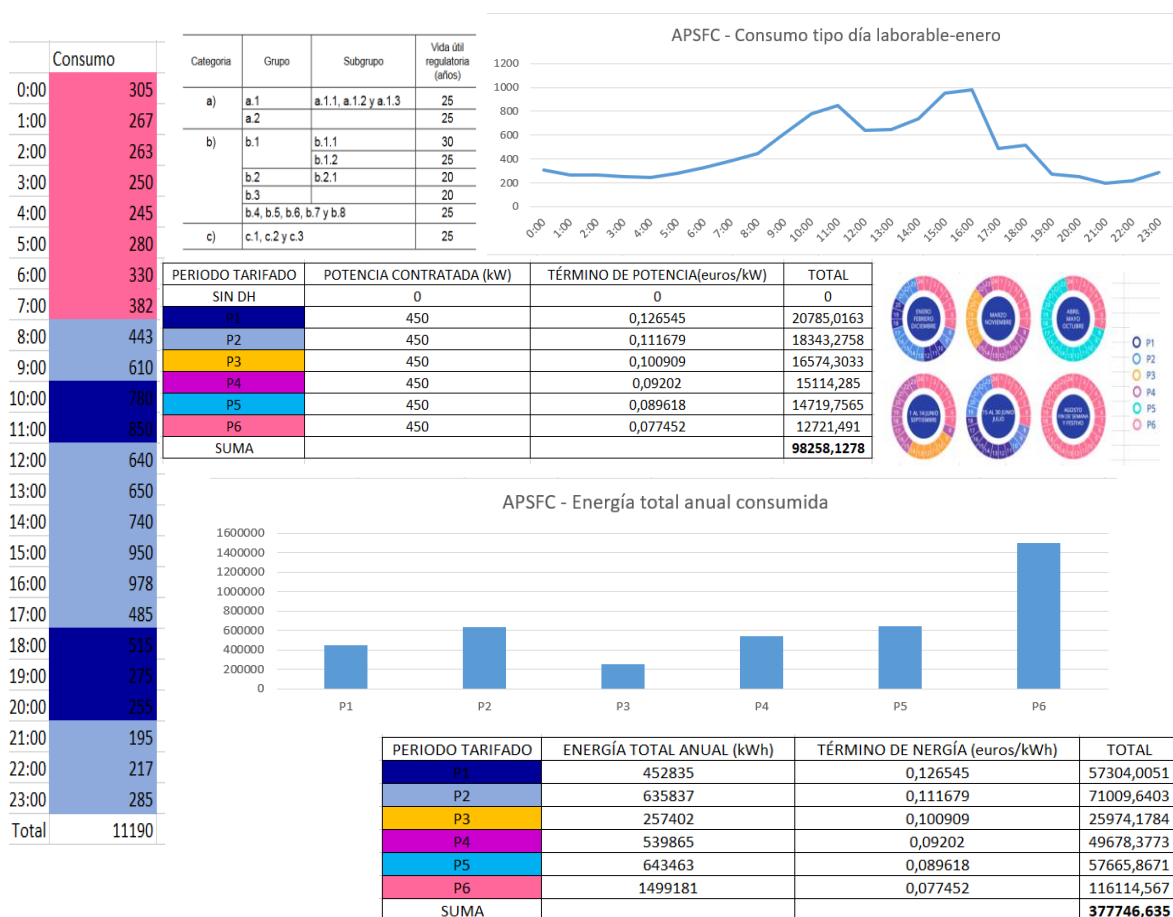


Figura 11. Imagen donde se proyectaron los primeros pasos del dimensionamiento de la red de distribución para la autoridad portuaria partiendo del consumo anual. Tras redistribuir los consumos en una secuencia lo más lógica posible se inició el cálculo de potencia necesaria y la Energía anual consumida por tramos. En la barra de Consumo se divide en 24 horas la jornada laboral redistribuyendo sus demandas.

Fuente: Elaboración propia.

Tras este cálculo medio de un consumo tipo en el puerto teniendo en cuenta sus actividades, maquinaria y horario para un día laborable en el mes de enero se ahonda con

el desarrollo del estudio de producción eólica para cada uno de los meses del año. Aunque para resumir este trabajo, y de modo orientativo, se mostrará la comparativa entre energía generada y consumida del mes de enero.

En la **Figura 112**, se realiza el dimensionado del molino en la red, para ello se estudia con precaución el número de días y se realiza una distribución razonada dejando las horas nocturnas como menos favorables a la producción eléctrica por no existir los flujos de convección por la presencia del sol. Tras realizar la adaptación al recurso eólico se obtiene la curva de potencia y de energía entregada por el molino, es decir, la cantidad de energía que entregará a la red de distribución.

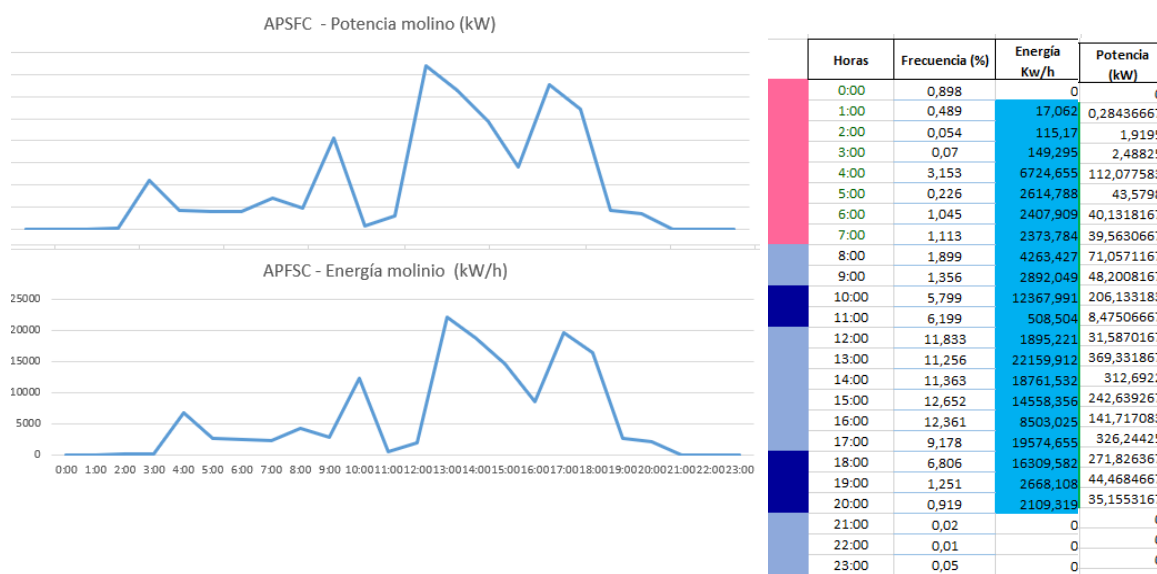


Figura 112. Tabla utilizada para obtener la potencia total del molino ese mes en función del viento presente y su intensidad. En color azul están indicados los días que sopló el viento junto a su producción por frecuencia. Se indican además las gráficas representativas para el molino que serán de utilidad para enfrentar con la curva de energía necesaria.

Fuente: Elaboración propia.

Tras obtener esta potencia y energía entregada por el molino eólico debido a la acción del viento se procede con el cálculo de la energía necesaria para la instalación. Y para ello se parte de la Energía consumida en enero por el puerto y la energía generada por los molinos para cruzarlas entre ellas.



Figura 113. Curva de demanda representativa de la Energía necesaria por el puerto en el mes de enero tras calcular consumos y potencias de la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

Tras disponer de todos estos datos es posible reorganizar la instalación enfrentando las curvas del molino y la instalación, además, el parque cuenta con 4 molinos por lo que habrá que multiplicar por 4 la producción obtenida.

Si se observan los datos aportados en la figura 112 se dispone de una producción de aproximadamente 3,2Gwh por molino cuando el consumo se sitúa en aprox. 0,3Gwh, es decir, el molino es capaz de entregar toda la potencia requerida, véase **Figura 114**, con la capacidad suficiente para suministrar energía a toda la infraestructura portuaria permitiendo acumular energía. De igual modo el exceso de energía, tras llenado de baterías, se inyectará a la red para recuperar la inversión disponiendo de otra fuente de ingresos a medida que aumenta la competitividad de las instalaciones y el capital humano.

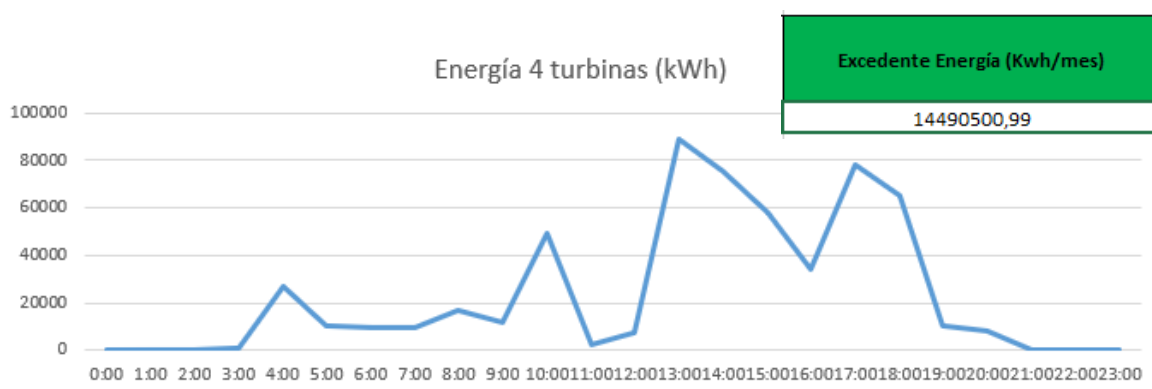


Figura 114. Representación de la energía entregada por las 4 turbinas en un día y con el excedente ya descontado del consumo.

Fuente: Elaboración propia.

La energía consumida en el mes de enero por el puerto representó 319756 Kwh/mes mientras que la generación de las 4 turbinas eólicas ascendió a 563897 kwh/día pudiendo desviar un excedente a baterías (**Figura 115**) y a la red.



Figura 114. Proyecto de Acciona basado en la eólica con el uso de las baterías para cubrir los tiempos de demanda sin presencia de viento.

Fuente: Google Images

Para entender mejor este proceso de dimensionado se muestra a continuación, en la **Figura 115**, la comparativa entre la curva de demanda mensual y la curva de potencia generada por las 4 turbinas junto al motor de generación que se utilizó en la hoja Excel durante el dimensionado.

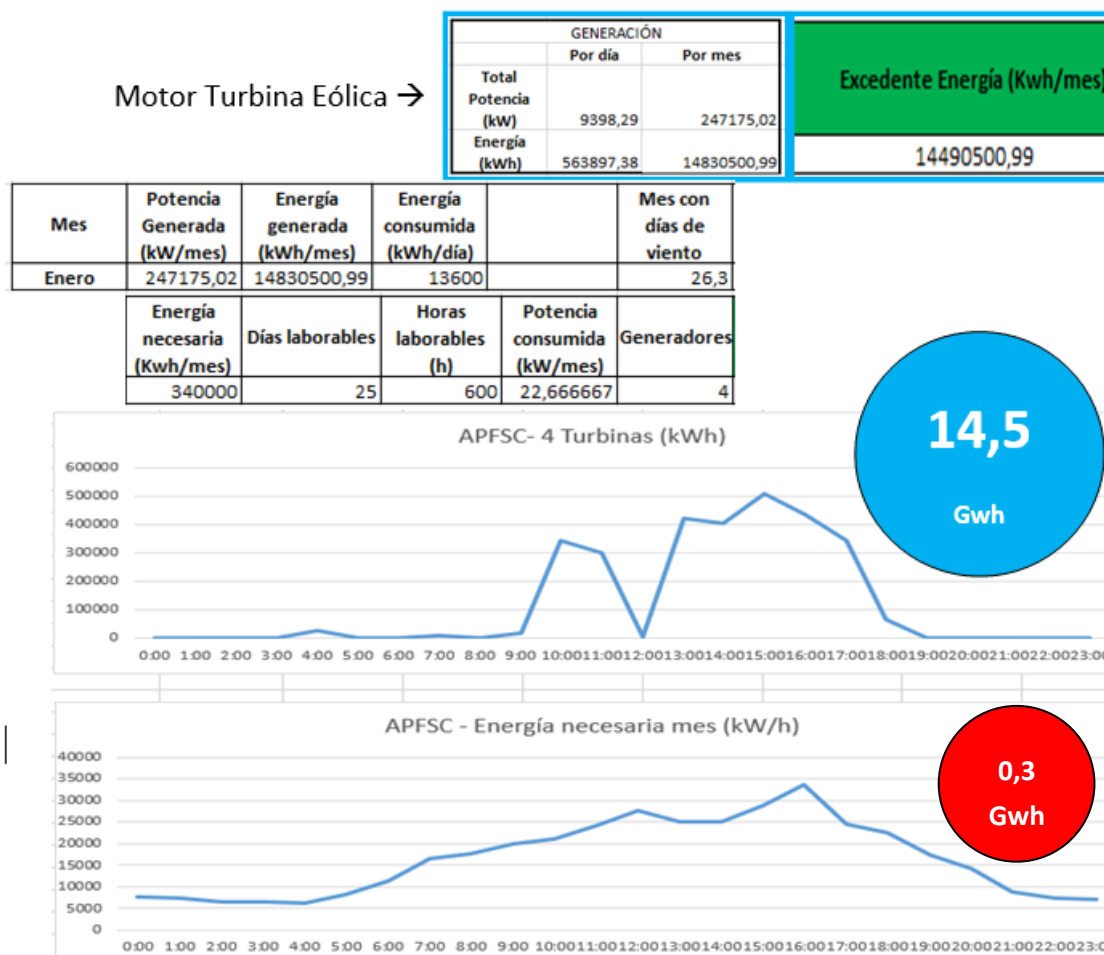


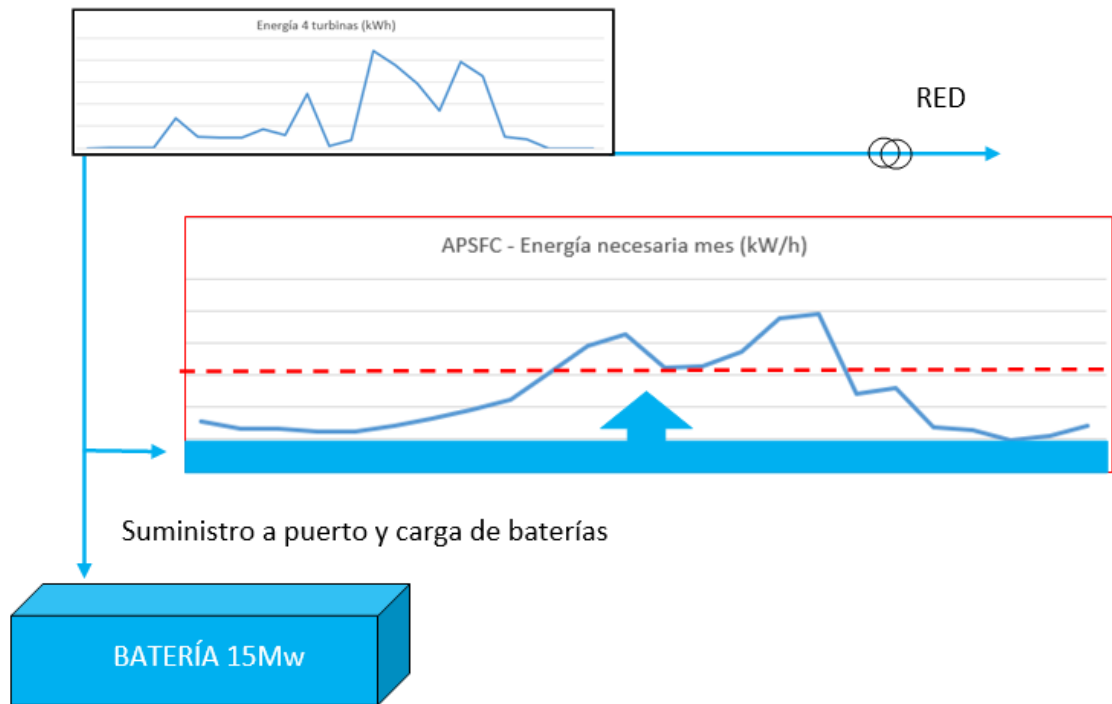
Figura 116. Comparativa del mes entre generación y demanda. La instalación es capaz de satisfacer la demanda de toda la infraestructura e inyectar energía suficiente a red para su venta. El excedente en este mes se situó en 14,5Gwh. La estructura del cálculo se basó en una hoja Excel desarrollando el motor de generación y conectándolo con los ítems asociados para la obtención de los resultados.

Fuente: Elaboración propia.

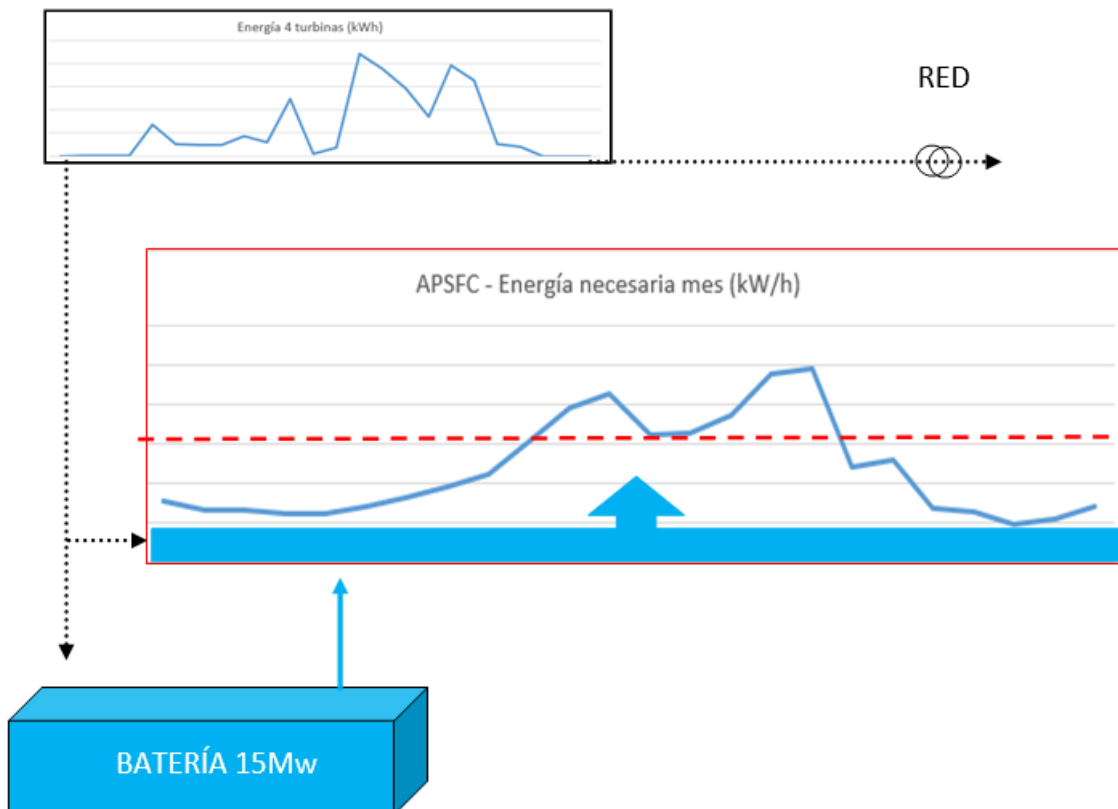
A continuación, se mostrará el proceso de allanado de la curva con el uso de las baterías en situaciones sin presencia de viento. Independientemente el puerto cuente con una planta de cogeneración o no, en este análisis se desarrolla, para este apartado, la red distribuida para el puerto siendo dependiente únicamente de los molinos de viento y el sistema de almacenamiento. Esto permitirá la autonomía energética de la Autoridad Portuaria a través de un sistema eficiente de distribución de energía aumentando su eficiencia y eliminando los costes asociados al consumo eléctrico de la red al ajustar la producción a la demanda.

De manera esquemática se indicará el procedimiento de corrección de los picos de consumo cubierto por las baterías en ausencia de viento.

➤ Funcionamiento en presencia de Viento con almacenamiento

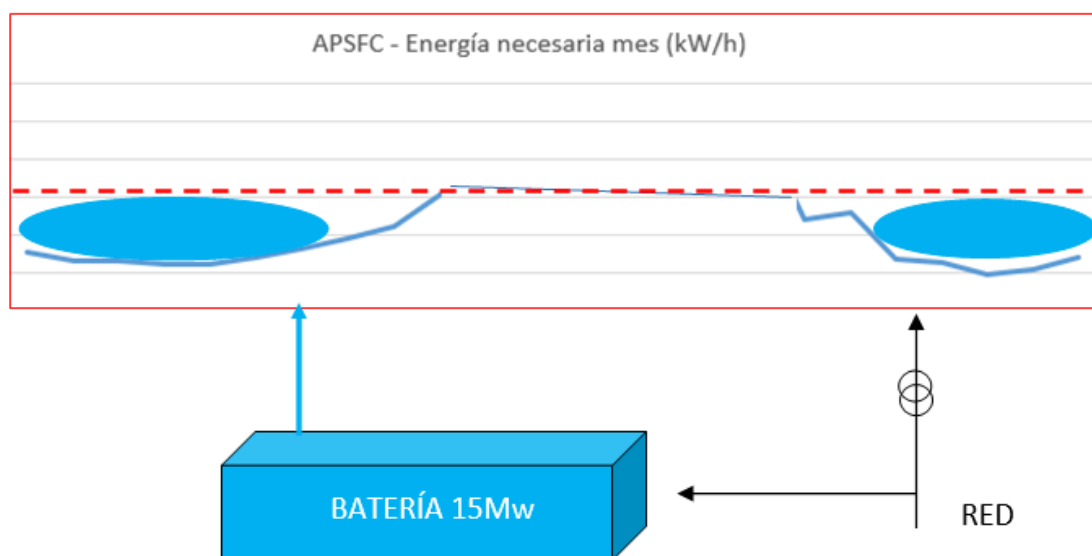
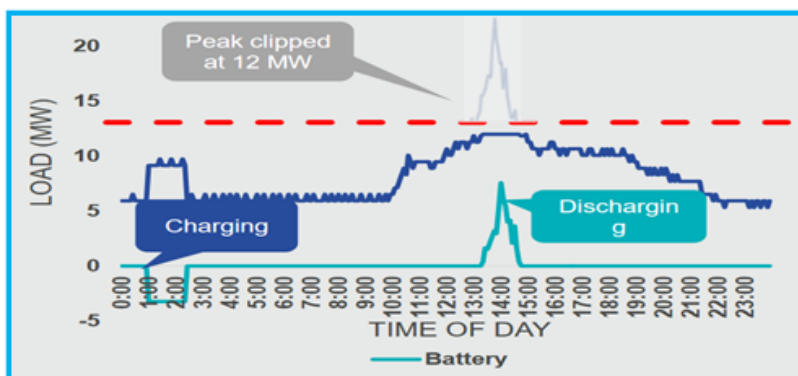


➤ Funcionamiento sin presencia de Viento con almacenamiento



En el supuesto anterior, si la instalación estuviera conectada a red eléctrica, las baterías cubrirían los picos de la curva de demanda, es explicado en el supuesto siguiente.

- Conectada a red general con almacenamiento



Como puede observarse, en la representación anterior la batería está conectada a red general, su cargado se produce en horas de la noche con tarifa reducida. En las horas de picos más elevados de la curva de carga la batería entra en funcionamiento descargando la cantidad suficiente para cubrir los picos de consumo. En otros momentos también puede permitir mantener operativos servicios fundamentales sin interrumpir durante horas el posible corte de suministro general.

El contenedor está integrado por varios módulos de baterías que van descargándose paulatinamente de manera controlada y según demandas. En la planificación de este proyecto se proponen varios módulos de 2,5Mw con una capacidad total de 15Mw y necesarios para cubrir espacios amplios de tiempo sin viento, permitiendo controlar multitud de variables tras su integración en la red de distribución y sus equipos de control, medida y telegestión.

6 PRESUPUESTO

Por terminar, en este TFM se realizará un presupuesto orientativo que permita realizar un análisis aproximado del Payback o retorno de la inversión del parque eólico y batería de 15Mw. Se detalla el inventario de equipos y actuaciones básicas necesarias para poner en marcha el proyecto.

Proyecto parque eólico APFSC

INVERSIÓN DEL PROYECTO	
	PRESUPUESTO
AEROGENERADORES	14000000
INGENIERÍA	980000
CIMENTACIÓN Y OBRAS	1140000
EQUIPOS Y TENDIDOS	990000
PROMOCIÓN	280000
TOTAL	17390000
COSTES PARQUE EÓLICO	
DIRECCIÓN Y GESTIÓN	98500
IMPUESTOS Y SEGURO	350000
O&M	885000
IMPREVISTOS	210000
OTROS	30000
TOTAL	1573500
BATERÍAS 15Mw	3750000
TOTAL	6897000
TOTAL OPERACIÓN	24287000

Una vez están definidas las partidas de inversiones y gastos es necesario saber el beneficio obtenido por la producción eólica de los molinos tras descontar el consumo eléctrico propio del puerto. Es decir, si las excedencias de los 4 molinos son suficientes para cubrir la inversión y generar ingresos en un período corto de tiempo. Para ello se tiene en cuenta lo establecido en el R.D 661/2007 (**Figura 117**) respecto a las primas y en la Orden IET/221/2013 en régimen especial.

grupo	Tecnología	Subgrupo	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Limite Superior c€/kWh	Limite Inferior c€/kWh
b.1	Solar FV	b.1.1	P < 100 kW	primeros 30 años	48,8743			
			100 kW < P < 10 MW	primeros 30 años	46,3348			
			10 < 50 MW	primeros 30 años	25,4997			
b.2	Eólica	b.2.1		primeros 25 años	29,8957	28,1894	38,1751	28,1936
				a partir de entonces	23,9164	22,5515		
b.2	Eólica	b.2.1		primeros 20 años	8,127	2,0142	9,4273	7,9103
				a partir de entonces	6,7921			
		b.2.2				9,3557	18,2009	

Figura 117. Tarifas y primas dispuestas en R.D 661/2007. Aplicando en este parque la tarifa b.2 eólica, en su apartado b.2.1 propia de la eólica terrestre y señalada en rojo. La tarifa b.2.2 se reserva para instalaciones ubicadas en mar.

Fuente: R.D 661/2007

6.1 Amortización.

Para conocer la tasa de retorno y si la instalación es rentable es necesario conocer los ingresos generados tras descontar consumos propios. A partir de las tarifas establecidas en el mercado siendo a modo orientativo:

- 42€/Mw.
- 8,2 c€/Kwh en Régimen especial.
- 4,8 c€/Kwh venta en mercado libre.

En este momento se procede al cálculo en euros de la producción del parque eólico según las tarifas establecidas para identificar la capacidad de retorno de la inversión inicial dispuesta. En base a esto el excedente de energía para venta tras satisfacer el suministro interno del Puerto, sería;

ENERGÍA GENERADA AÑO (kwh)	POTENCIA GENERADA AÑO (Kw)
177966011,9	2966100,198

↓

EXCEDENTE ENERGÍA AÑO	EXCEDENTE POTENCIA AÑO
173886011,9	2965828,198

Si aplicamos las tarifas al excedente anual se obtienen los siguientes escenarios:

PRECIO ENERGÍA	BENEFICIOS AÑO (€)
42	7474572

PRECIO ENERGÍA	BENEFICIOS AÑO (€)
0,082	14258652,97

PRECIO ENERGÍA	BENEFICIOS AÑO (€)
0,042	7303212,498

Una vez se dispone de los ingresos anuales tras descontar el consumo propio se escoge la tarifa aplicada y se calcula el tiempo estimado del retorno de la inversión (Payback). Se plantean los 3 escenarios, sin incluir las pérdidas derivadas en la producción eléctrica estimadas sobre el 9%, ni tasas de interés bancario u otros aspectos a tener en cuenta en este tipo de inversiones.

Por ello, sólo se realiza a forma orientativa aplicando la revalorización de la energía situándola en un porcentaje fijo al 2% anual permitiendo así vislumbrar los posibles escenarios de riesgo.

Resultados:

ESCENARIO 1	42 €/Mw						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Inversión	-€ 24.287.000,00						
Flujos de caja	-€ 24.287.000,00	€ 7.474.572,00	€ 7.624.063,44	€ 7.776.544,71	€ 7.932.075,60	€ 8.090.717,12	
Flujo acumulado	-€ 24.287.000,00	-€ 16.812.428,00	-€ 9.188.364,56	-€ 1.411.819,85	€ 6.520.255,75	€ 14.610.972,87	
Ingresos producción energía en 2019:			€ 7.474.572,00				
Revalorización energía anual:				2%			
Último periodo de flujo acumulado negativo:				3			
Valor absoluto de último Flujo acumulado negativo:				1.411.819,85 €			
Valor de flujo de caja del periodo siguiente:				7.932.075,60 €			
		PB=		3,177988703	Número de periodos necesarios para recuperar la inversión		

ESCENARIO 2	0,082 €/Kwh						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Inversión	-€ 24.287.000,00						
Flujos de caja	-€ 24.287.000,00	€ 14.258.652,97	€ 14.543.826,03	€ 14.834.702,55	€ 15.131.396,60	€ 15.434.024,53	
Flujo acumulado	-€ 24.287.000,00	-€ 10.028.347,03	€ 4.515.479,00	€ 19.350.181,55	€ 34.481.578,15	€ 49.915.602,68	
Ingresos producción energía en 2019:			€ 14.258.652,97				
Revalorización energía anual:				2%			
Último periodo de flujo acumulado negativo:				1			
Valor absoluto de último Flujo acumulado negativo:				10.028.347,03 €			
Valor de flujo de caja del periodo siguiente:				14.543.826,03 €			
		PB=		1,689526058	Número de periodos necesarios para recuperar la inversión		

ESCENARIO 3	0,042 €/Kwh						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Inversión	-€ 24.287.000,00						
Flujos de caja	-€ 24.287.000,00	€ 7.303.212,50	€ 7.449.276,75	€ 7.598.262,28	€ 7.750.227,53	€ 7.905.232,08	
Flujo acumulado	-€ 24.287.000,00	-€ 16.983.787,50	-€ 9.534.510,75	-€ 1.936.248,47	€ 5.813.979,06	€ 13.719.211,14	
Ingresos producción energía en 2019:			€ 7.303.212,50				
Revalorización energía anual:				2%			
Último periodo de flujo acumulado negativo:				3			
Valor absoluto de último Flujo acumulado negativo:				1.936.248,47 €			
Valor de flujo de caja del periodo siguiente:				7.750.227,53 €			
		PB=		3,249831178	Número de periodos necesarios para recuperar la inversión		

7 CONCLUSIONES

En este TFM se establecieron una serie de propuestas para adecuar las instalaciones del Puerto Exterior de Ferrol y orientar su tránsito hacia los llamados Puertos Verdes. Para ello se proyectó un sistema de Generación distribuida inteligente (Smartgrid) en condición de autoconsumo aislado. Los datos obtenidos vislumbran gran potencial para estas instalaciones con un amplio abanico de nuevas líneas de negocio asociadas. Revirtiendo con ello su gran dependencia de los graneles sólidos.

Para ello se planteó un sistema de Cogeneración de refuerzo a partir de residuos MARPOL con el objetivo de revalorizar los combustibles usados de la cámara de sentina de los buques en las mismas instalaciones. Esto tiene una serie de ventajas relevantes en la Autoridad Portuaria, por ejemplo, se evita el transporte por carretera de estos residuos a plantas de tratamiento especializadas, y en paralelo, evita la emisión de CO₂ de los camiones, con ello se transita hacia la Economía Circular en el propio puerto realizando in situ la revalorización destinando esos combustibles reciclados a la planta de cogeneración rebajando drásticamente la factura de combustible de la planta.

El dimensionado de un parque eólico como fuente primaria de energía consistió en la elección de 3 equipos de aerogeneradores de distinta potencia con la finalidad de seleccionar la mejor opción. El equipo Gamesa G132-3.4Mw se presenta como el más eficiente para la intensidad y frecuencia de los vientos ensayados.

Para facilitar la toma de decisiones se plantea el siguiente Plan Ejecutivo para la Autoridad Portuaria. Las opciones son coloreadas según la Escala de Calificación Energética. Siendo el verde oscuro (opción 4) el de mayor Eficiencia.

Opciones a 35 años		Inversión (€)	Ahorro (kg de CO ₂)
1	Eólico	19.000.000	63.150.000
2	Eólico + Cogeneración	115.700.000	72.684.197
3	Eólico + Baterías	24.287.000	107.359.435
4	Eólico + Cogeneración + Baterías	123.987.000	172.640.565

Esto resultados fueron obtenidos realizando una aproximación al fijar un 60% de ahorro asociado al uso de baterías (conectado a red eléctrica) suponiendo el 100% de ahorro en sistema aislado. Esto se cruzó de igual modo con una hipotética revalorización de los combustibles reciclados MARPOL en puerto con el sistema de cogeneración, por ejemplo, evitando el transporte en camión de los residuos a una planta a 75 Km durante 35 años.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Museo Caldoval. A Mare de Caldoval. Mugar dos. <https://www.museocaldoval.gal/>.
- [2] Consello de Cultura Galega na rede, “Os mapas da costa galega de Pedro Teixeira, 1634”. Versión PDF, Página 12-13. <http://culturagalega.gal/>
- [3] Instituto Geográfico Nacional, sección Catálogo de la Cartoteca. Provincia de La Coruña. <https://www.ign.es/>.
- [4] Autoridad Portuaria de Ferrol. Puerto interior. <https://www.apfsc.com/>.
- [5] Puertos del Estado. Estadísticas. <http://www.puertos.es/>.
- [6] Programa Marco "Our Ocean". Cumbre de Malta 2017. <https://ourocean2017.org/>
- [7] ONU. Acuerdo de París (Agenda 2030). <https://www.un.org/>
- [8] Unión Europea. “Documento de Reflexión. Hacia una Europa sostenible en 2030”. COM (2019) 22 final. Bruselas 2019.
- [9] Unión Europea. Directiva (UE) 2018/852. Relativa a envases y residuos.
- [10] Comisión Europea “Hacia una Europa sostenible”.
- [11] González Laxe, Fernando. 2012. Capítulo VIII: El posicionamiento del puerto de Ferrol. Páginas 110 - 111. Título: “Los cambios en los modelos portuarios: el futuro del puerto de Ferrol”.
- [12] Ayuntamiento de Ferrol. Anejo 4. Título Análisis de Instalaciones actuales y previstas: Estudio oferta-demanda. www.ferrol.es
- [13] Ministerio de Fomento. “ESTUDIO INFORMATIVO DEL ACCESO FERROVIARIO AL PUERTO EXTERIOR DE A CORUÑA EN PUNTA LANGOSTEIRA”. Página 20.
- [14] Autoridad Portuaria de Vilagarcía. Estadísticas. <https://www.portovilagarcia.es/>
- [15] Unión Europea. Libro Blanco de la Comisión Europea. <https://ec.europa.eu/>
- [16] B.O.E. Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido.
- [17] Autoridad Portuaria de Ferrol- San Cibrao. Memoria anual 2017.
- [18] UNTACD (Naciones Unidas).2018. Capítulo: Puertos. Página 85. “Informe sobre el Transporte Marítimo”.
- [19] Parlamento Europeo. Departamento Temático B: Políticas Estructurales y de Cohesión. Transportes y Turismos. Página 4. “MEJORAR EL CONCEPTO DE «AUTOPISTAS DEL MAR»”.

- [20] Adif. Plan Corredor Atlántico. Ministerio de Fomento. Redes Transeuropeas de Transporte. Reglamento UE 1315/2013.
- [21] Puerto de Valencia. Puertos del Futuro. <https://www.valenciaport.com/>
- [22] Revista Galega de Economía. Universidade de Santiago de Compostela. Área Económica. Informe Puertos del Futuro.
- [23] Ignacio de la PEÑA ZARZUELO. Vol. 27-2 (2018). Universidade da Coruña. “IMPACTO ECONÓMICO DEL PUERTO DE FERROL – SAN CIBRAO: ARMONIZACIÓN DE RESULTADOS AL AÑO DE REFERENCIA 2016 Y COMPARACIÓN CON LOS PUERTOS ESTATALES”.
- [24] Lloyd’s Register. Integrated Smart Ship Solution. <https://www.lr.org>
- [25] European Comission, Directorate-General for Research & Innovation. Abril, 2017. Página 11-17. Título: “Study on Lessons for Ocean Energy Development- Annexes to the Final Report”.
- [26] IDAE. Guía profesional de tramitación del autoconsumo. Página 20 de la guía. Tramitación Administrativa.
- [27] Ministerio para la Transición Energética. Documento final Autoconsumo.
- [28] Baterías SAFT. <https://www.saftbatteries.es/>
- [29] Ing. Delgado, Emilio. 2007. Páginas 111 y 114. Artículo: “COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS A PARTIR DE ACEITES USADOS CON TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA”.
- [30] Siemens. Equipos Cogeneración. <https://new.siemens.com/>
- [31] Comunidad de Madrid. Guía de la Cogeneración. <http://www.madrid.org/>
- [32] Autoridad Portuaria de Ferrol. Plan de recepción de desechos y residuos generados por Buques.
- [33] Aeroe kommune E-ferries. <https://www.aeroekommune.dk/>
- [34] Meteogalicia (mapa). <https://www.meteogalicia.gal/>
- [35] Martí Ezpeleta, Alberto. Rachas Máximas y temporales de viento en Galicia. Revista Lurralde, nº 21 (1998) pp. 262-280. Departamento Xeografía (USC).
- [36] Siemens Gamesa. <https://www.siemensgamesa.com>
- [37] VESTAS. <https://www.vestas.com>

ANEXO

Portadas del TFM

Máster Universitario en Eficiencia y Aprovechamiento Energético

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TFM. Nº: **4523M01A040**

TÍTULO: **SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN INSTALACIONES**

POTUARIAS: PUERTO EXTERIOR DE FERROL

AUTOR: **GERARDO GARCÍA LAGE**

TUTOR: **ANTONIO ENRIQUE MASDIAS BONOME**

FECHA: **SEPTIEMBRE 2019**

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

TFM N°:

4523M01A040

FECHA:

SEPT. - 2019

LOMO DEL TFM

Dimensiones:

Longitud = 297 mm. (Igual que formato A-4)

Ancho = variable según el espesor del volumen

TÍTULO: **SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN INSTALACIONES**

POTUARIAS: PUERTO EXTERIOR DE FERROL

SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN INSTALACIONES POTUARIAS:

PUERTO EXTERIOR DE FERROL

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

AVDA. 19 DE FEBRERO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: **SEPTIEMBRE de 2019**

AUTOR: GERARDO GARCÍA LAGE

Fdo.: **GERARDO GARCÍA LAGE**



MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TFG. Nº: **4523M01A040**

TÍTULO: **SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN INSTALACIONES
POTUARIAS: PUERTO EXTERIOR DE FERROL**

AUTOR: **GERARDO GARCÍA LAGE**

TUTOR: **ANTONIO ENRIQUE MASDIAS BONOME**

FECHA: **SEPTIEMBRE DE 2019**

MATERIA: **SMARTGRID**

CALIFICACIÓN:

Fdo.: EL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL