

CONSTRUCCIÓN NAVAL E INDUSTRIA 4.0

MÓDULO 4

ESPACIO MARÍTIMO 4.0



Este documento forma parte del material de consulta y ampliación del curso MOOC “Construcción naval e industria 4.0”, desarrollado por el equipo docente de la Universidade da Coruña: Vicente Díaz Casás, Lucía Santiago Caamaño, Marcos Míguez González, Alicia Munín Doce, Sara Ferreño González, Tiago Manuel Fernández Caramés; y el equipo docente de CT Ingenieros: Almudena Casanova Díaz, Juan Oliveira, Laura Alonso García, Yanai Vieites Legarreta.

Autoría de la publicación: Sara Ferreño González, Lucía Santiago Caamaño, Alicia Munín Doce.

Handle para citar: <http://hdl.handle.net/2183/27608>

Publica: Servizo de Publicacións Universidade da Coruña.

Coordinación del MOOC: Unidade de Teleformación, CUFIE. Universidade da Coruña. CT Ingenieros.

Diseño gráfico y producción de vídeo: Ingenyus.

Este documento está bajo una licencia Creative Commons:



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual CC BY-NC-SA

Contenido

Contenido	3
BUQUE INTELIGENTE	4
Introducción.....	4
Buques Inteligentes. Sistemas del buque Inteligentes	4
Ejemplos de aplicaciones de sistemas inteligentes en buques.....	6
Aplicaciones reales de Buques Inteligentes.....	7
GENERACIÓN SOSTENIBLE DE ENERGÍA (ENERGÍA 4.0).....	11
Introducción.....	11
Energía renovable	12
Puntos débiles de la energía renovable.....	19
Influencia de la industria 4.0 en la generación de energía	20
Digitalización de la energía	20
Referencias	23
TRANSPORTE MARÍTIMO 4.0	25
Introducción.....	25
Smart Port.....	25
Aplicaciones en logística portuaria	26
Logística avanzada. IoT en contenedores	28
Green shipping.....	29
Referencias	33

BUQUE INTELIGENTE

Introducción

A menudo, cuando pensamos en IA, la imagen que se nos viene a la cabeza es la de un mundo futurista en el que se nos presentan personajes robotizados como los que hemos visto tantas veces en el cine.

Pero lo cierto es que la inteligencia artificial lleva décadas entre nosotros, aunque ha sido en los últimos años, y casi sin darnos cuenta, que ha pasado a formar parte de nuestro día a día: Asistentes de voz, traductores, reconocimiento de imágenes, sugerencias de búsquedas en google, recomendaciones musicales en spotify y de productos en Amazon y un largo etcétera.

Pero, ¿qué se entiende por inteligencia artificial?: se trata de aquella disciplina dentro de la computación mediante cual se busca dotar a las máquinas de comportamientos inteligentes.

Decimos que una máquina o un sistema es «inteligente» si este es capaz de percibir su entorno (mediante sensores, visión, etc,) y que además lleva a cabo acciones que permitan (o al menos aumenten las posibilidades) de llevar a cabo una tarea o lograr un objetivo.

El término inteligencia artificial se utiliza cuando una máquina imita funciones cognitivas propias de los seres humanos, como pueden ser: percibir, razonar, resolver problemas y aprender.

Dentro del campo de la inteligencia artificial destacan aquellas áreas que se centran en el Machine Learning o aprendizaje automático: las técnicas de machine learning buscan dotar a las máquinas de capacidad de aprendizaje, de generar conocimiento a partir de experiencias. Muchas de las aplicaciones de Machine Learning emplean redes neuronales.

Uno de los ejemplos más claros es aquel en el que un ordenador es capaz de aprender a partir de imágenes a diferenciar perros de gatos.

Buques Inteligentes. Sistemas del buque Inteligentes

¿En que nos puede servir la IA en los buques?

¿Cómo podemos abordar la implantación de inteligencia artificial en buques?

Como sabréis un buque es en realidad un agregado de múltiples sistemas, podemos decir que es un “sistema de sistemas”. Como pueden ser:

- **Sistemas principales**
 - Sistema de propulsión
 - Sistema de combustible
 - Sistema de gobierno y de navegación
 - Sistema de generación y de distribución eléctrica
 - Sistema de refrigeración
 - Sistema de amarre y fondeo
 - Sistema de carga y descarga
 - Sistema de telecomunicaciones
 - Sistema de salvamento
 - Sistema de achique y lastre
 - Sistema de agua potable

- **Sistemas auxiliares**
 - Sistema de aire comprimido
 - Separador de aguas aceitosas
 - Depuradores
 - Planta de tratamiento de aguas residuales
 - Destiladores de agua
 - Calentadores de agua
 - Frigorífica

- **Sistemas para explotación del buque**
 - Sistema de pesca en un buque pesquero
 - Sistema de combate en un buque de guerra
 - Etc



Por lo tanto, dotar de inteligencia a un buque, pasa por dotar de inteligencia a los sistemas que componen el buque.

El desarrollo de sistemas inteligentes, en general, no habría sido posible sin el avance en el desarrollo de sensores y en especial en la tecnología IOT.

Para que un sistema del buque sea inteligente, este:

- Debe ser capaz de percibir su entorno (sensores, cámaras...).
- Debe de procesar la información que recibe y tomar decisiones.

Ejemplos de aplicaciones de sistemas inteligentes en buques

A continuación, vamos a ver algunos ejemplos de posibles aplicaciones para ilustrar lo que implica la implantación en un buque de sistemas inteligentes:

- **DETECCIÓN DE FALLOS EN SISTEMAS DEL BUQUE:**
Un sistema basado en IA, (por ejemplo en redes neuronales), puede permitir, a partir de las lecturas de los sensores propios del sistema, detectar casi en tiempo real fallo en ese sistema.
- **RESPUESTA AUTÓNOMA ANTE FALLOS:**
A partir del sistema anterior, de detección de fallos, y a través, por ejemplo de un Sistema experto podremos tomar de forma automática las acciones necesarias para garantizar que el sistema siga trabajando (en el caso de que se haya roto una sección de tubería, aislar el tramo y asegurar que seguimos suministrando agua o combustible a donde sea necesario.
- **MANTENIMIENTO PREDICTIVO:**
El machine learning nos permite analizar considerables cantidades de datos en tiempo real, identificar posibles problemas que puedan surgir y evaluar en todo momento el deterioro que se va produciendo en un equipo con el paso del tiempo, identificando el momento óptimo para el mantenimiento, pudiendo evitar paradas por fallos o por mantenimientos preventivos.
- **GESTIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA:**
La inteligencia artificial permite gestionar grandes volúmenes de datos de consumo energético, aprender de las tendencias y patrones de comportamiento de los consumidores y, por lo tanto, adoptar decisiones en favor de una mejora en la eficiencia energética de las instalaciones.
Las medidas en tiempo real registradas por los sensores permiten a los algoritmos basados en Inteligencia Artificial reducir el consumo energético de los edificios, predecir y gestionar la demanda.
- **OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE:**
El coste de combustible puede llegar a suponer hasta un 20% de los costes totales de una naviera, por lo que toda acción orientada a su reducción...
El uso de IA permite, combinando los resultados con los pronósticos meteorológicos e hidrográficos, como el viento, las olas y las corrientes oceánicas. Además, puede recomendar las rutas óptimas para maximizar la eficiencia energética, la seguridad y la rentabilidad.
- **OPTIMIZACIÓN DE RUTA:**
Optimización de rutas en función de diferentes parámetros: Ruta más corta, ruta en tiempo x, ruta más cómoda para la tripulación del buque.
- **AYUDA A LA NAVEGACIÓN:** Asistente maniobras en puerto
Combinación de las anteriores que permitiría una navegación asistida, pero no autónoma, las decisiones deberán ser tomadas siempre por la tripulación.
- **NAVEGACIÓN AUTÓNOMA:** Sería la aplicación última de un buque inteligente. La completa autonomía del mismo para su navegación y operación.

Aplicaciones reales de Buques Inteligentes

A continuación veremos algunos ejemplos reales de aplicaciones inteligentes en buques:

- **Indra & CESADAR (Armada Española)**

El Proyecto SOPRENE ¹ tiene como objetivo investigar la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para mejorar el mantenimiento de los buques.

Se emplearán para ello los datos disponibles en el Centro de Supervisión y Análisis de Datos Monitorizados de la Armada (CESADAR), que se encuentra en Cartagena que los equipos sensorizados de los buques registran mientras navegan para estudiar las ventajas que puede aportar su análisis con el fin de reforzar el mantenimiento predictivo de los buques, evitando averías imprevistas, aumentando su disponibilidad y ahorrando costes.

- **Fujitsu & Autoridad Marítima y Portuaria de Singapur²**

Con la tecnología de IA Fujitsu Human Centric AI Zinrai desarrollada por Fujitsu Laboratories Ltd, esta solución pretende detectar riesgos de colisión de barcos y predecir áreas donde los riesgos se concentran como 'puntos críticos de riesgo dinámico'. Esta tecnología tiene el potencial de ser implementada en un sistema de Servicio de Tráfico de Buques (sistemas VTS) para ayudar a los controladores marítimos a gestionar el tráfico de manera proactiva, con el objetivo de mejorar la seguridad de la navegación.

- **Stena Line & Hitachi ³**

Stena Line, en colaboración la empresa tecnológica Hitachi, ha desarrollado un sistema de asistencia por inteligencia artificial que ayudará a determinar cuál es la manera más eficiente en términos de combustible para operar un buque en una ruta específica. Tiene en cuenta las corrientes, las condiciones climatológicas, la profundidad de las aguas y la velocidad, combinando los datos de una forma que resultaría imposible en un sistema manual.

¹ <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-investiga-uso-inteligencia-artificial-potenciar-operatividad-armada-espanola>

² <https://www.fujitsu.com/global/solutions/business-technology/ai/articles/safe-vessel-navigation.html#:~:text=The%20Fujitsu%20Human%20Centric%20AI,%2C%20avoiding%20potentially%2Dcatastrophic%20collisions.>

³ https://social-innovation.hitachi/en-gb/case_studies/stena_line



Aunque se trata de un avance todavía en desarrollo, ya se está llevando a cabo un primer piloto en el Stena Scandinavica en su ruta entre el puerto sueco de Gotemburgo y el alemán de Kiel.

- **ROLLS ROYCE & MITSUI OSK LINES** ⁴

Han desarrollado un Sistema que han definido como “conciencia inteligente” que han incorporado en el ferry de pasajeros Sun Flower.

Recopilan información de los sensores de los sistemas del buque (RADAR, AIS) proporcionando a la tripulación una mejor comprensión del entorno haciendo la navegación más segura y eficiente.

- **SMART SHIP PACIFIC VISION** ⁵- Astillero de Shanghai Waigaoqiao - China Merchants Energy Shipping Company

El buque es el primer Transportador de mineral muy grande (VLOC) del mundo en implementar la notación descriptiva SmartShip de DNV GL. Para calificar para la notación, Pacific Vision ha sido equipada con una plataforma de integración, un sistema de soporte de decisiones de navegación inteligente, un sistema de optimización y gestión de la eficiencia energética del barco y un sistema de operación y mantenimiento de buques inteligentes.

- **BUQUE AUTÓNOMO FALCO - Rolls-Royce & Finferries.** ⁶

Sin duda, la empresa que más ha avanzado en la implementación de IA en buques es Rolls Royce, a día de hoy ya ha realizado las primeras pruebas con un buque autónomo, Falco, un ferry de unos 54 metros de longitud, que cuenta con el sistema Rolls-Royce Ship Intelligence e incluye una serie de cámaras y sensores que se colocan a lo largo del barco, y que se encargan de escanear las aguas buscando otros barcos. El

⁴ <https://sectormaritimo.es/conciencia-inteligente-buques>

⁵ https://www.rina.org.uk/Worlds_first_intelligent_VLOC_delivered.html

⁶ <https://www.finferries.fi/en/news/press-releases/finferries-falco-worlds-first-fully-autonomous-ferry.html>

Falco así fue capaz de navegar las aguas de manera segura, teniendo en cuenta la presencia de otras embarcaciones, y realizar el viaje habitual entre Parainen y Nauvo. Además, es capaz de realizar todos los procedimientos necesarios para el atraque por sí solo.

En vez de fabricar un barco autónomo desde cero, Rolls-Royce se ha centrado en crear un “kit” que convierte barcos existentes en autónomos. Se incluye una serie de cámaras y sensores que se colocan a lo largo del barco, y que se encargan de escanear las aguas buscando otros barcos.

- **BUQUE AUTÓNOMO MAYFLOWER - IBM Y PROMARE⁷**

EL buque Mayflower, es uno de los primeros buques autónomos que ha completado una navegación. Este buque ha sido desarrollado por IBM y la organización sin ánimo de lucro ProMare.

⁷ <https://mas400.com/>

Se trata de un buque completamente autónomo. Tanto a nivel de tripulación como de eficiencia energética. Cuenta con un motor eléctrico híbrido impulsado por energía solar y su capitán es un algoritmo. Si bien, su navegación es comandada desde tierra en un puesto de mandos ubicado en el puerto de origen.

Par poder navegar de forma autónoma, el buque Mayflower está equipado de tecnología. Cuenta con más de 30 sensores a bordo, 6 cámaras con inteligencia artificial, 6 Jetson AGX Xavier, 2 Jetson Xavier NX, 4+ ordenadores con base Intel, 4+ sistemas de microprocesadores personalizados, además del consecuente equipo de navegación: GNSS de precisión (Sistema Global de Navegación por Satélite), IMU (Unidades de Medición Inercial), radar, estación meteorológica, SATCOM, AIS. Cabe tener en cuenta que el principal detalle de la tecnología que equipa el barco es su capacidad para tomar decisiones en tiempo real gracias a su sistema de inteligencia artificial.

Este buque autónomo es capaz de escanear el horizonte en busca de posibles peligros, tomar decisiones informadas y cambiar su curso basándose en una fusión de datos de sensores en tiempo real.

GENERACIÓN SOSTENIBLE DE ENERGÍA (ENERGÍA 4.0)

Introducción

La demanda de energía en el planeta es cada vez mayor, tanto porque el número de población está incrementando año a año como por el cambio en el estilo de vida (Salameh, 2003).

Hoy en día, todavía más del 78% de la energía generada proviene de los combustibles fósiles, que se queman en las centrales térmicas para producir electricidad (Lloyd's Register Group Ltd and Southampton, 2015; Salameh, 2003).

Como bien es sabido, las reservas de combustibles fósiles se están agotando y no alcanza para suplir la demanda futura. Además, el uso de este tipo de combustibles libera gases de efecto invernadero que son dañinos para el medio ambiente (Salameh, 2003; Papaefthymiou and Dragoon, 2016; UNIDO, 2017).

El Protocolo de Kyoto, en 1997, supuso un cambio en el paradigma de la generación de energía. La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático hizo que una serie de países se comprometieran a llevar a cabo determinadas medidas para alcanzar dicho objetivo.

Es por ello que en las últimas décadas, la investigación, desarrollo e implementación de las energía renovables han ido creciendo significativamente. Una de sus principales ventajas es que suponen una fuente inagotable y que, además, permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la demanda futura. Dentro de este grupo, las más desarrolladas son la solar fotovoltaica y la eólica. Si nos movemos a la industria marítima, la eólica offshore ha dado un salto muy importante con los primeros parques en funcionamiento (Salameh, 2003; Núñez Rivas, 2012; Lloyd's Register Group Ltd and Southampton, 2015; UNIDO, 2017).

Otra de las características de la energía renovable, aunque no tan deseable, es que su generación es intermitente, es decir, no hay una producción continua sino que depende de las condiciones ambientales. En esos momentos de no generación o generación por debajo del consumo inmediato es necesario suplir la demanda con fuentes convencionales. Lo que significa que todavía existe dependencia de ellos. Por el contrario, en ocasiones de alta actividad se generan picos de energía y es preciso almacenarlos para aquellos momentos en los que la generación sea menor y también para no sobrecargar la red. Los sistemas de almacenamiento son muy diversos dependiendo del tipo de producción de energía (Lloyd's Register Group Ltd and Southampton, 2015; Papaefthymiou and Dragoon, 2016; UNIDO, 2017).

Para la Unión Europea, el principal objetivo en la generación de energía es que sea sostenible. Esto se conseguirá cuando se cumpla la siguiente condición: que la energía provenga de una fuente renovable y que exista eficiencia energética en el proceso de transformación (UNIDO, 2017).

La transición de la producción tradicional de energía a la energía sostenible viene de la mano de la Industria 4.0, con la que comparte tres características fundamentales (UNIDO, 2017):

- La influencia de las innovaciones tecnológicas.
- El desarrollo de nuevas infraestructuras.
- El desarrollo de nuevas políticas.

Todas ellas se pueden resumir en la digitalización de la energía o energía 4.0 (Kagermann, 2015; UNIDO, 2017). La energía 4.0 está marcada por la electrificación de la misma, su origen renovable, el desarrollo de nuevos sistemas de almacenamiento y su uso eficiente a través de nuevos sistemas inteligentes. Además, el usuario final no es sólo un consumidor, sino un elemento activo más dentro del sistema (UNIDO, 2017).

En este tema vamos a tratar las energías renovables, con especial hincapié en las de origen marino; sus puntos débiles y la aportación de la industria 4.0 al desarrollo de las mismas.

Energía renovable

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que provienen de los recursos naturales y principalmente del sol, tanto de forma directa como indirecta. Estas fuentes se consideran inagotables, ya que, son capaces de regenerarse (Salameh, 2003; Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).

Este tipo de energías se clasifican en (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014):

- Eólica
- Marina
- Solar
- Hidráulica
- Geotérmica
- Biomasa

A continuación, se va a definir cada una de ellas.

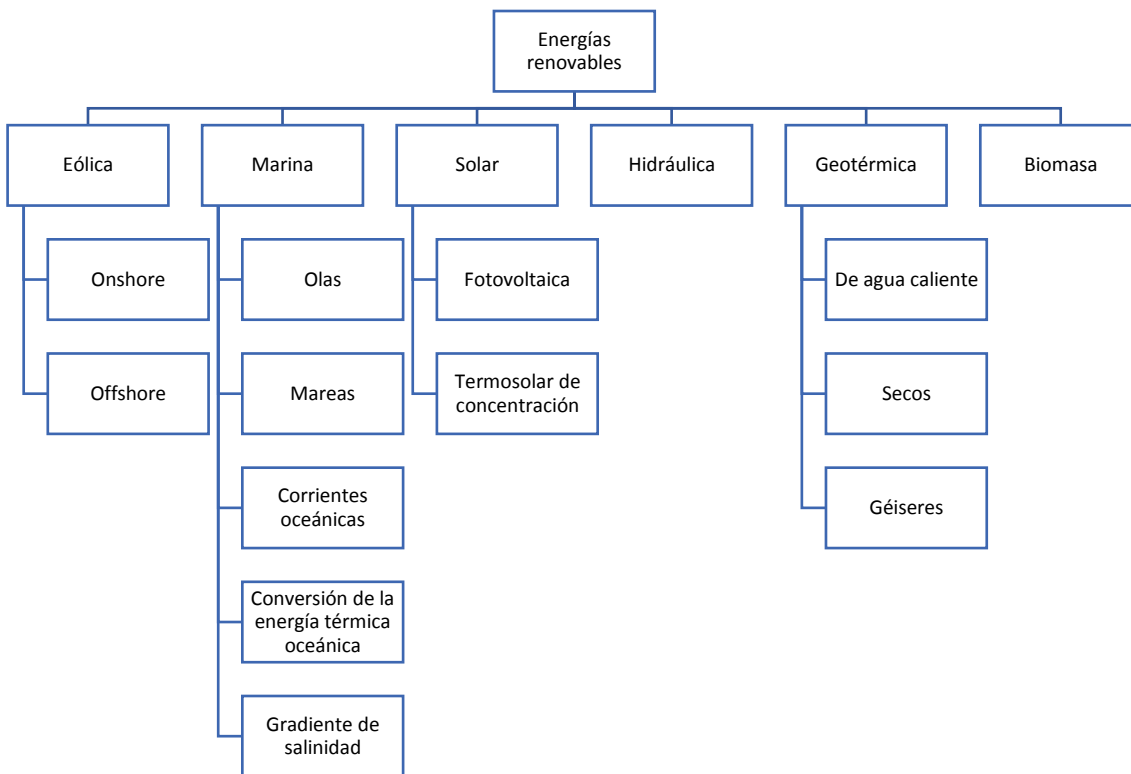


Figura 1. Clasificación de las energías renovables.

Eólica

La energía eólica se obtiene a partir del viento que mueve unas turbinas y éstas pueden producir electricidad, energía mecánica o mover agua. La energía eólica sirve incluso para propulsar barcos mediante el uso de velas. Es una de las energías renovables más desarrolladas.

Las ventajas de la energía eólica es que no se produce contaminación del aire ni de las aguas, las granjas de eólicos no son costosas de construir y el terreno donde están situadas puede dedicarse a más usos simultáneamente.

Cabe destacar que la eficiencia de las turbinas eólicas está entorno a un 40-50% y que la producción de energía es fluctuante, ya que el viento no es constante. Este es uno de sus grandes inconvenientes, puesto que cuando no hay viento es necesario suplir la demanda energética con otras tecnologías. Por otro lado, las granjas necesitan mucho terreno y tienen impacto visual y ruido. También puede ser perjudicial para las aves. Otro punto a señalar es la necesidad de almacenar la energía, ya que no se puede introducir directamente en la red debido a los picos de generación (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).

Actualmente, la producción de energía eólica se ha trasladado a los océanos, donde el viento presenta mayor regularidad, velocidad y potencia. Cuanta más distancia haya de la costa mejor son las condiciones. Esto permite instalar turbinas de mayor potencia y diámetro. Además, la instalación de aerogeneradores sobre el fondo marino viene a solucionar otros posibles inconvenientes de la eólica terrestre como son la ocupación de terrenos con otros usos potenciales y el impacto visual (Núñez Rivas, 2012).

Este tipo de parques se suelen asentar en aguas no muy profundas (hasta 50 metros aproximadamente). No obstante, para poder aprovechar la energía del viento es necesario moverse a zonas más profundas lo que implica irse a soluciones flotantes para situar los aerogeneradores. Estos sistemas flotantes se encuentran en una fase de desarrollo más temprana que los fijos al fondo (Núñez Rivas, 2012).

El primer parque offshore se construyó en 1991 en Dinamarca y Europa sigue apostando por este tipo de energía renovable. Países como Reino Unido, Alemania, Holanda, Bélgica, o Dinamarca están desarrollando proyectos importantes en este ámbito, hasta el punto de que se prevé que la eólica offshore alcance en los próximos años a la eólica terrestre en cuanto a nueva potencia instalada.



Figura 2. Eólica marina.

Marina

El océano es una fuente inagotable de energía que proviene de la influencia de la radiación solar y los campos gravitatorios tanto solar como terrestre o lunar sobre ellos. Se pueden distinguir 5 tipos (Núñez Rivas, 2012):

- Olas (undimotriz)
- Mareas
- Corrientes oceánicas
- Conversión de la energía térmica oceánica
- Gradiente de salinidad

Cada uno de estos tipos de energía tiene un principio diferente y requiere distintas tecnologías para poder ser extraída. Es por ello que unas están en un estadio de desarrollo más maduro que otras.

Los grandes inconvenientes para su explotación es el alto coste de la tecnología necesaria debido a que el mar es un medio muy hostil. Además, dependiendo de la zona donde sean instaladas las granjas pueden tener un impacto negativo en la fauna marina así como en las zonas donde hay pasos de navegación con alta concentración de buques.

Por tanto, los principales cuellos de botella a los que se enfrentan se pueden resumir en: desarrollo tecnológico, finanzas y mercados, cuestiones ambientales y administrativas y disponibilidad de la red (Núñez Rivas, 2012; Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014; Magagna and Uihlein, 2015).

Olas

La energía undimotriz es el aprovechamiento del desplazamiento vertical de la superficie del océano y la energía cinética que este conlleva. Ésta depende de la altura de ola, disminuye con la profundidad y no está igualmente repartida por toda la costa.

Las principales zonas de mayor potencial energético debido a las olas son la costa Atlántica Europea, el sur de Oceanía y Sudamérica y varias islas del Océano Pacífico.

Las ventajas de este tipo de energía son el leve impacto ambiental (tanto acústico, visual como estructural), la posibilidad de suministrar energía a zonas de difícil acceso y su gran potencial energético.

No obstante, también presenta ciertos inconvenientes para su comercialización a gran escala. Algunos de ellos son el coste de construcción, reparación y mantenimiento debido a que los dispositivos se encuentran en zonas de clima adverso y la baja competitividad al no ser todavía una tecnología madura.

Existen diferentes mecanismos para poder extraer la energía de las olas. El primero de ellos consiste en una columna oscilante. Las olas mueven el agua arriba y abajo haciendo pasar el aire atrapado por una turbina que genera electricidad.

Existe otro grupo de tecnologías que se consiste en embalses, al batir las olas el agua saliente pasa a través de las turbinas.

Por último, existen artefactos flotantes que aprovechan el movimiento horizontal de las olas. Un claro ejemplo de ello es el Pelamis (Núñez Rivas, 2012).

Mareas

Se define el potencial energético de las mareas como la diferencia entre la pleamar y la bajamar. Existen dos mecanismos para extraer este potencial. Uno está basado en presas que embalsan agua marina hasta la pleamar y mediante una central hidroeléctrica turbinan el agua retenida a lo largo del periodo de bajamar (aprovechan la energía potencial). El otro método consiste en turbinas que aprovechan la corriente generada por las mareas y la convierten en energía eléctrica (convierten la energía cinética).

La energía maremotriz es predecible ya que la altura de marea se puede conocer fácilmente. Sin embargo, el coste de explotación es muy elevado y el impacto ambiental es significativo (Government of Nova Scotia, 2012; Núñez Rivas, 2012).

Corrientes oceánicas

El funcionamiento es muy similar al de un aerogenerador de viento, sólo que en este caso es el flujo de corriente marina el que hace girar la turbina.

Se pueden distinguir 3 tipos de dispositivos:

1. Rotores de flujo axial.
2. Rotores de flujo vertical.
3. Alerones basculantes.

La ventaja de este tipo de energía es bastante estable a lo largo de todo el año y se pueden determinar los caudales con facilidad.

La mayor desventaja es su situación, ya que los mejores recursos están muy alejados de la costa, incluso fuera de las aguas territoriales. Además, requiere de una alta complejidad técnica para su explotación. Estos inconvenientes hacen que sea una opción menos atractiva y hasta el momento casi todos los diseños están en fase conceptual (Núñez Rivas, 2012).

Conversión energética del gradiente térmico oceánico

En determinadas zonas geográficas donde la diferencia de temperaturas entre la superficie del océano y las profundidades es superior a 20 °C, se puede transformar este gradiente de temperaturas en energía eléctrica. El principio de funcionamiento es transformar en vapor un fluido con un bajo punto de ebullición y hacerlo pasar por una turbina para luego volver a enfriarlo y repetir el ciclo sucesivamente.

Estas condiciones de diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo marino restringen mucho la ubicación de estos dispositivos, siendo las únicas zonas de aprovechamiento las próximas al Ecuador y en especial algunos archipiélagos.

Esta tecnología permite a su vez obtener agua dulce, lo que lo convierte en una opción muy atractiva para algunos archipiélagos.

Debido a los pocos puntos en el planeta donde se puede situar esta tecnología y su alto coste de explotación, todavía está en fase de desarrollo con las primeras plantas piloto (Núñez Rivas, 2012).

Gradiente de salinidad

La diferencia de salinidad a la desembocadura de un río puede ser aprovechada para transformar este gradiente en energía. Esto se puede conseguir a través del proceso de Ósmosis de Presión Retardada, proceso que consiste en hacer pasar el agua a través de una membrana que separa la zona de agua dulce de la de salada. En esta zona la presión se eleva y permite transferir esta agua a alta presión a una turbina hidráulica que genera energía eléctrica.

Esta tecnología está todavía en una fase muy inicial, por lo que todavía no es de aplicación (Núñez Rivas, 2012).

Solar

La energía solar, como su propio nombre indica, proviene de la radiación del sol. Se emplea para producir agua caliente o electricidad.

Existen dos tecnologías para la obtención de la energía solar: fotovoltaica y termosolar de concentración.

La más extendida es la fotovoltaica y tiene dos principales ventajas. La primera de ellas es que se puede reproducir a gran escala y, la segunda, es que se trata de una tecnología modular. Asimismo, no depende únicamente de la radiación solar directa, sino que también es eficiente en zonas con cielos parcialmente nublados. Gracias a esta capacidad, es posible su explotación en muchas regiones del mundo.

Como inconvenientes, la energía solar todavía no es tan rentable como la proveniente de combustibles fósiles debido al alto coste de explotación. No obstante, con el desarrollo de la fotovoltaica está alcanzando unos precios muy competitivos. Otro inconveniente es que precisa de almacenamiento (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).



Figura 3. Paneles solares.

Hidráulica

La energía hidráulica se obtiene a partir del movimiento del agua de los ríos, normalmente desde zonas más elevadas a zona más bajas. El agua en su caída entre los dos niveles se hace pasar a través de turbinas que transmiten la energía a alternadores, que la convierten en electricidad.

Una de las principales ventajas es su alto rendimiento energético (ratio de conversión alrededor del 90%). Tampoco genera residuos, es fácil de almacenar en reservas y su coste de producción no es alto.

No obstante, el impacto ambiental se puede considerar elevado debido a la construcción de grandes presas que modifica el caudal de los ríos (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).



Figura 4. Energía hidráulica.

Geotérmica

La energía geotérmica consiste en la energía termal proveniente del interior de la Tierra, bien almacenada en forma de roca o magma o bien en forma de agua líquida o a vapor. Su origen da lugar a tres subtipos de yacimientos: de agua caliente, secos o géiseres.

Este tipo de energía puede ser empleada tanto a pequeña como a gran escala y apenas produce residuos. Además es altamente eficiente. La contrapartida es que los costes iniciales y de mantenimiento son muy elevados (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).

Biomasa

La biomasa está formada por todo el material orgánico procedente de las plantas, árboles y cultivos. Todos estos desechos se transforman en energía quemándolos directamente o convirtiéndolos en combustibles (los denominados biofueles).

Esta fuente permite obtener energía a demanda puesto que se puede almacenar y/o transportar.

No obstante, igual que los combustibles fósiles, los biofueles producen gases de efecto invernadero. Además, tienen una baja densidad energética, esto quiere decir poca energía por unidad volumétrica. En consecuencia el coste del transporte de este tipo de energía se eleva (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).

Resumen de ventajas y desventajas de las energías renovables

Tabla 1. Resumen de ventajas y desventajas de cada una de las energías renovables (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014).

Fuente de energía	Ventajas	Desventajas
<i>Eólica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Es una fuente de energía gratuita. • No produce contaminación del aire o del agua. • La tierra alrededor de los parques eólicos puede tener otros usos. • Los parques eólicos son relativamente baratos de construir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere cantidades constantes y significativas de viento. • Las granjas ocupan una gran extensión de terreno. • Pueden tener un impacto visual significativo • Necesita mejores formas de almacenar la energía.
<i>Marina</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ideal para zonas de islas. • Captura energía que de otro modo no se recolectaría. 	<ul style="list-style-type: none"> • La construcción puede ser costosa. • Con la oposición de algunos grupos ambientales que tienen un impacto negativo en la fauna salvaje. • Ocupa mucho espacio y dificulta la navegación de los buques.
<i>Solar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de energía potencialmente infinito. • No causa contaminación del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede que no sea rentable • El almacenamiento y backup son necesarios. • La fiabilidad depende de la disponibilidad de luz solar.
<i>Hidráulica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Abundante, limpia y segura. • Fácil de almacenar en reservas. • Relativamente barata para producir electricidad. • Otros beneficios recreacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede causar la inundación de comunidades y paisajes circundantes. • Las presas tienen importantes impactos ecológicos en la hidrología local. Puede tener un impacto ambiental significativo. • Se puede usar solo donde hay suministro de agua. • Ya se han desarrollado en los mejores sitios para presas.
<i>Geotérmica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona un suministro ilimitado de energía. • No produce contaminación del aire ni del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los costes de puesta en marcha / desarrollo pueden ser muy altos. • Los costes de mantenimiento, debido a la corrosión, pueden ser un problema.
<i>Biomasa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Abundante y renovable. • Se puede utilizar para quemar productos de desecho. 	<ul style="list-style-type: none"> • La quema de biomasa puede resultar en contaminación del aire. • Puede que no sea rentable.

Puntos débiles de la energía renovable

Las principales barreras en la transición al uso completo de energías renovables se resumen en la Figura 5 (Ellabban, Abu-Rub and Blaabjerg, 2014; Magagna and Uihlein, 2015; Papaefthymiou and Dragoon, 2016; Hansen, Breyer and Lund, 2019):

Barreras en la transición a las energías renovables

- Desarrollo tecnológico.
- Finanzas y mercados.
- Cuestiones ambientales y administrativas.
- Variabilidad en la producción de energía.

Figura 5. Principales barreras en la transición a las energías renovables.

- **El desarrollo tecnológico.**

Los cambios tecnológicos juegan un papel importante en la dinámica del desarrollo de las energías renovables. No todas las energías renovables están en el mismo grado de maduración, de forma que permita su comercialización competitiva y eficientemente.

Uno de los mayores problemas en las energías renovables marinas es garantizar a largo plazo la confiabilidad y el rendimiento de los dispositivos debido a las exigencias del entorno donde operan. Otro aspecto a tener en cuenta de estos dispositivos es su supervivencia.

- **Finanzas y mercados.**

A través del desarrollo tecnológico se determina la eficiencia y eficacia de las inversiones, en particular el coste y la madurez de una tecnología específica. Además, a medida que pase el tiempo y aumente el uso de una tecnología, se reducirán los costes. Durante este proceso de desarrollo, el gobierno influye de varias maneras, como el apoyo a las expansiones de capacidad, el establecimiento de regulaciones y la promoción del uso global de energía renovable. Además, la satisfacción del mercado y de los clientes afecta a los productores de energía renovable en su capacidad para competir con los productores de energía convencional.

- **Cuestiones ambientales y administrativas.**

Todavía no hay suficientes estudios sobre el impacto ambiental de algunos tipos de energías renovables. Por lo que la incertidumbre sobre los posibles efectos y el desconocimiento sobre como mitigarlos se convierten en una de las principales barreras para frenar su desarrollo. Además ralentizan los procesos de prueba ya que se exige una monitorización exhaustiva.

Por otro lado, los procesos administrativos son largos y tediosos debido a que no hay uniformidad entre todos los países. Además, la aceptación social juega un papel importante.

- **La variabilidad en la producción de energía.**

El principal punto débil de las energías renovables es que su producción no es continua, sino que depende de las condiciones ambientales. Es por ello que se precisa de gran flexibilidad tanto en las redes de distribución

como en el control. Se requiere también de almacenamiento durante esos picos de generación para suplir la demanda posterior.

Influencia de la industria 4.0 en la generación de energía

La energía sostenible, entendiéndose ésta como de origen renovable, eficiente y limpia, es uno de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas (UNIDO, 2017).

Los cambios en la industria siempre han ido acompañados de una transformación en el sector energético. Así la Primera Revolución Industrial está ligada a la introducción de la máquina de vapor; la Segunda Revolución Industrial trajo consigo la producción en masa a través de la electrificación de las líneas de montaje; la Tercera Revolución Industrial viene de la mano de la introducción de la electrónica y la Cuarta Revolución Industrial promueve la digitalización y la industria interconectada (Núñez Rivas, 2012; Díaz Rojas, 2018).

El objetivo principal de la industria 4.0 es demostrar cómo se pueden optimizar procesos de producción complejos utilizando nuevas tecnologías. Para ello se basa en la conectividad automatizada de las máquinas a través de la nube y la utilización del internet de las cosas. Tiene cuatro áreas principales de actuación que son (Coban, 2019):

1. La transformación de la producción.
2. La transformación digital.
3. La transformación laboral.
4. La transformación educacional.

Como se mencionó en la introducción, la Industria 4.0 y la transición hacia la energía sostenible comparten varias características. Éstas son (UNIDO, 2017):

- i. La influencia de las innovaciones tecnológicas.
- ii. El desarrollo de nuevas infraestructuras.
- iii. El desarrollo de nuevas políticas o modelos de negocio.

Dentro del sector de la energía, la industria 4.0 se centra en satisfacer la flexibilidad de la demanda (principal punto débil de la energía renovable), maximizar la eficiencia de los equipos y automatizar los procesos de producción para que se adapten a la demanda cambiante (Coban, 2019).

Hay 5 puntos importantes para la aplicación de la Industria 4.0 en los sistemas de energía. Estos son (Coban, 2019):

- Compatibilidad de los componentes del sistema eléctrico con la estructura actual de la Industria 4.0.
- Fácil control de la estructura de la central eléctrica y consecuentemente aumentar la eficiencia del sistema.
- Se puede controlar desde un solo punto, de modo que se pueden reducir los costos operativos.
- Fácil seguimiento de los equipos de la planta.
- Producir soluciones alternativas con aplicaciones de control avanzadas.

Digitalización de la energía

La energía es un factor clave en la competitividad de las industrias. De igual modo que nos encontramos en la 4ª revolución industrial, también existe una denominada “Energía 4.0” que está fuertemente ligada a la electrificación de la misma (Sarmiento, 2016; Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017; UNIDO, 2017; Díaz Rojas, 2018).

Además, la energía 4.0 promueve un cambio entre generadores y consumidores. Ahora los consumidores pueden ser a su vez productores por lo que las redes de distribución serán bidireccionales en función de la oferta y la demanda (Sarmiento, 2016; Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017; UNIDO, 2017; Díaz Rojas, 2018).

Para ello será necesario la creación de redes de distribución inteligentes, el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía y la mejora de la eficiencia energética (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017; UNIDO, 2017; Díaz Rojas, 2018).

Estos tres puntos se van a tratar en los siguientes sub-secciones.

Redes de distribución inteligentes

Las redes de distribución inteligentes, o también llamadas Smart Grids, son la solución para conectar distintas fuentes de energía de producción variable o no y distintos consumidores en la red eléctrica. Se trata de un sistema descentralizado. Son bidireccionales, por lo que un consumidor puede ser a su vez productor según sus necesidades (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017; UNIDO, 2017).

Este tipo de redes permite la monitorización remota de la red eléctrica, por lo que es posible conocer y controlar la oferta y la demanda de energía. Esto se traduce en un consumo más preciso y eficiente, lo que nos lleva a una reducción de costes (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Además, la red permite la comunicación entre los productores y los usuarios finales, quienes pueden decidir sobre su consumo atendiendo a cuál es la gestión más eficaz por parte de los proveedores (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

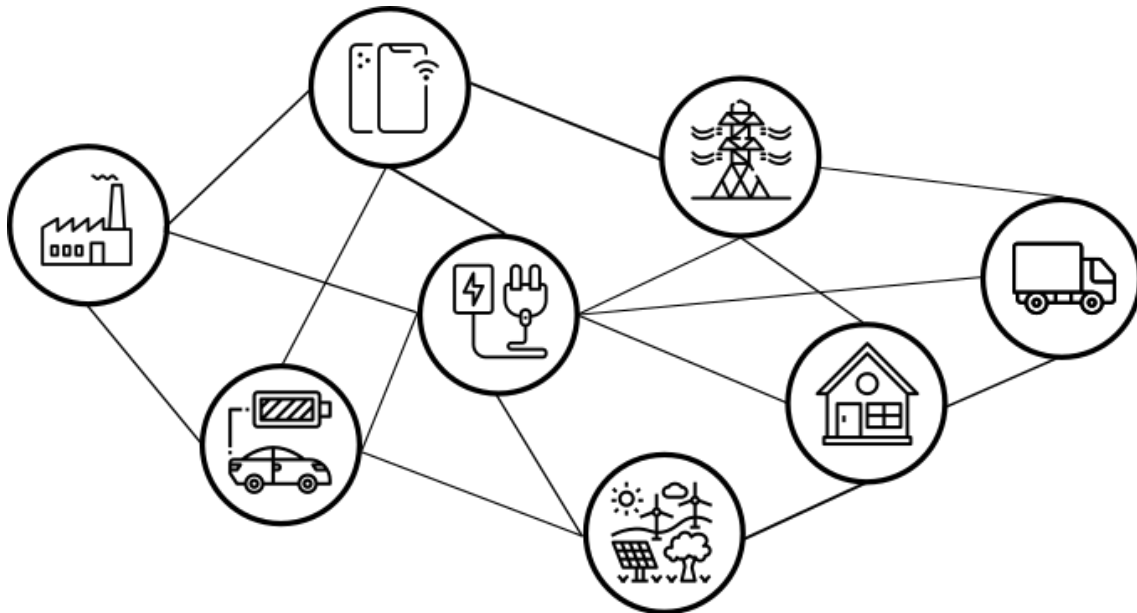


Figura 1. Redes de distribución inteligentes.

Para el correcto funcionamiento de las redes inteligentes es preciso apoyarse en el Big Data, ya que, todo debe estar sensorizado y debe existir una central para gestionar toda la información que se transmite a lo largo de la red y tomar las decisiones adecuadas (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Las redes de distribución inteligentes pueden funcionar a dos niveles (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017):

1. **Macro (Smart Grid)** → el gestor de red puede decidir si un punto es consumidor o productor según las necesidades de ese instante.
2. **Micro (Smart Building o Smart Factory)** → En una fábrica el consumo energético de los sistemas automáticos y líneas de producción se podrá adaptar en función de los costes energéticos de cada período. Sería lo mismo para el caso de una vivienda donde el consumo de los electrodomésticos podría ser adaptable.

En conclusión, la clave en las redes de distribución es el gestor energético que decide sobre la conexión y desconexión de las cargas controlables y de la generación renovable (en caso de ser consumidor y productor) a partir de los datos de producción obtenidos y en del consumo de la instalación (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Sistemas de almacenamiento

Dado que la energía de origen renovable no tiene una producción continua, sino que hay picos de generación, es necesario almacenar la energía para poder consumirla con posterioridad. Es decir, con la energía renovable no existe sintonía entre la oferta y la demanda. Por tanto, son necesarios sistemas de almacenamiento para equilibrar la producción y el consumo (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Debido a esto, el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de electricidad se ha disparado. Actualmente se utilizan diversas tecnologías que responden a diferentes tipos basándose en el principio de acumulación. Los tres tipos principales son (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017):

1. Mecánico.
2. Químico.
3. Electroquímico.

El más utilizado de ellos a escala comercial es el tipo electroquímico, que se fundamenta en el uso de baterías para almacenamiento (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Dentro de las soluciones convencionales las más empleadas son las de plomo-ácido (PbA), las de Níquel-Cadmio (NiCd) o Níquel-Metal-Hidruro (NiMH) y las baterías de Litio (Li) (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

No obstante, los sistemas de almacenamiento tienen un inconveniente y es que el rendimiento de estos sistemas es relativamente bajo. Es decir, que se pierde energía durante el proceso de almacenamiento (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

En los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo en intentar mejorar dicho rendimiento de forma significativa. Un claro ejemplo son las baterías diseñadas por Tesla (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

En el caso de los coches eléctricos o los híbridos enchufables existe la posibilidad de que funcionen como sistemas de almacenamiento. Éstos se basan en protocolos denominados Vehicle To Grid (V2G), que permiten a los vehículos suministrar energía a la red eléctrica cuando están conectados a la red pero no están operando. Un claro ejemplo es cuando los vehículos permanecen estacionados, que suele ser un 95% del tiempo. A su vez, cuando las baterías precisen ser recargadas el flujo se invierte y el vehículo se convertirá en un consumidor. Por tanto, este tipo de vehículos tiene la posibilidad de ser consumidor o funcionar como sistema de almacenamiento (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).



Figura 2. Vehículo eléctrico.

Eficiencia energética

La eficiencia energética es un pilar fundamental para lograr que la energía sea sostenible y a su vez es uno de los objetivos más ambiciosos (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017).

Cuanto mayor sea la eficiencia energética, menor será el consumo eléctrico para una misma tarea o actividad.

Ésta se puede lograr atendiendo a tres puntos clave (Rivas Pereda and Sarmiento Diez, 2017):

- La optimización del diseño de los consumidores y retrofit de los mismos.
- La adaptación de los procesos de fabricación y máquinas e introducción de los sistemas inteligentes para lograr sólo el consumo energético necesario.
- La utilización de sistemas de recuperación y almacenaje de energía.

Referencias

Coban, H. H. (2019) 'Accelerating renewable energy generation over industry 4.0', *MANAS Journal of Engineering*, 7(2), pp. 114–120. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mjen/issue/50947/594068>.

Díaz Rojas, H. (2018) 'Industria 4.0: hacia la electrificación de la energía', *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, pp. 544–545.

Ellabban, O., Abu-Rub, H. and Blaabjerg, F. (2014) 'Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, pp. 748–764. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.113.

Government of Nova Scotia (2012) *Marine Renewable Energy Strategy*. Available at: www.gov.ns.ca/energy.

Hansen, K., Breyer, C. and Lund, H. (2019) 'Status and perspectives on 100% renewable energy systems', *Energy*. Elsevier

Ltd, 175, pp. 471–480. doi: 10.1016/j.energy.2019.03.092.

Kagermann, H. (2015) 'Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0', in *Management of Permanent Change*, pp. 1–240. doi: 10.1007/978-3-658-05014-6.

Lloyd's Register Group Ltd, Q. and Southampton, and U. of (2015) *Global Marine Technology Trends 2030*. Lloyd's Register, QinetiQ and University of Southampton. doi: 10.1017/S096392681300028X.

Magagna, D. and Uihlein, A. (2015) 'Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives', *International Journal of Marine Energy*. Elsevier Ltd, 11, pp. 84–104. doi: 10.1016/j.ijome.2015.05.001.

Núñez Rivas, L. (2012) 'El aprovechamiento de las energías renovables marinas como opción tecnológica de futuro', *Economía industrial*, (386), pp. 99–108.

Papaefthymiou, G. and Dragoon, K. (2016) 'Towards 100% renewable energy systems: Uncapping power system flexibility', *Energy Policy*, 92, pp. 69–82. doi: 10.1016/j.enpol.2016.01.025.

Rivas Pereda, C. and Sarmiento Diez, O. (2017) 'Energía 4.0, tecnologías innovadoras en el sector energético', *Dinamo técnica*, 21, pp. 21–23.

Salameh, M. G. (2003) 'Can renewable and unconventional energy sources bridge the global energy gap in the 21st century?', *Applied Energy*, 75(1–2), pp. 33–42. doi: 10.1016/S0306-2619(03)00016-3.

Sarmiento, O. (2016) 'Innovación, camino hacia la energía 4.0', *Dinamo técnica*, 18(Abril), p. 5.

UNIDO (2017) *Accelerating clean energy through Industry 4.0 Manufacturing the next revolution*. Viena, Austria.

TRANSPORTE MARÍTIMO 4.0

Introducción

El transporte marítimo tiene un peso importante en el movimiento de mercancías a nivel mundial. Aproximadamente el 80% de esos movimientos se realizan por barco y son los puertos los principales puntos de distribución de esas mercancías. Por lo tanto, el transporte marítimo es una parte significativa de la cadena de suministro, donde exportadores, consignatarios, navieras, autoridades portuarias, etc., deben trabajar en un entorno colaborativo para manejar de forma eficiente todo ese movimiento de mercancías.

Una gran parte del transporte marítimo internacional se realiza a través de contenedores, en redes de transporte multimodal. En éstas la parte marítima es la que más peso tiene en términos de distancia, volumen y tiempo. Los contenedores cambian de un modo de transporte a otro durante su recorrido por la cadena intermodal y resulta complicado para exportadores e importadores conocer dónde se encuentra y en qué condiciones. Esto ha sido el germen de la aplicación de una serie de tecnologías al transporte de contenedores y que ha llevado también al inicio de una etapa de digitalización en los puertos.

Smart Port

Los puertos en general tienen un papel de intermediario entre los agentes de la cadena logística dentro de una red intermodal. Por tanto, las autoridades portuarias y las empresas de logística que trabajan en estas cadenas multimodales de transporte se han dado cuenta de la necesidad que tienen de información en tiempo real para una eficaz toma de decisiones como, por ejemplo, cambiar la ruta de un contenedor, o las condiciones de refrigeración de uno de ellos, planificar los recursos portuarios para mejorar las operaciones en el puerto y su fiabilidad.

Sólo el 3% de las terminales de contenedores están automatizadas hoy en día. Sin embargo, el futuro de la industria portuaria debería ir hacia los puertos inteligentes, los Smart ports. Ésta es la forma de superar los retos que se plantean y las demandas que surgen en el sector, optimizando sus operaciones, mejorando la cadena logística y reduciendo emisiones y residuos. La infraestructura portuaria es compleja, en ella participan un gran número de agentes como son los consignatarios, los cargadores, la autoridad portuaria, transitarios, etc., lo que lleva a que existan silos de información que impiden explotar la potencialidad de los datos. De ahí que todas las tecnologías, que permitan el intercambio de información y el análisis de la misma, resulten de gran interés en el ámbito portuario.

Se podría definir un Smart Port como aquel capaz emplear tecnologías innovadoras como la Inteligencia Artificial, el Big Data el IoT o el blockchain para mejorar su eficiencia. Es por esto que la automatización en la adquisición de datos y el posterior procesamiento de grandes cantidades de datos hace que sistemas basados en IoT y Big Data puedan aportar mejoras en los niveles de integración del puerto dentro de la cadena de transporte (Papert & Pflaum, 2017; Tiwari et al., 2018). Así algunas de las mejoras pueden ser (Perego et al., 2011):

- Reducir el tiempo de carga y descarga en las terminales intermodales gracias a sistemas de operación avanzados.
- Mejorar la utilización de la infraestructura de la terminal.
- Mejorar las conexiones entre los diferentes modos de transporte.
- Reducir los costes de operación.
- Mejorar el servicio al cliente.

La aplicación de herramientas TIC es un factor crítico para la supervivencia de los puertos y las conexiones con sus hinterlands, éstas permiten dar servicios de valor añadido e incrementar la competitividad. En el caso del IoT los puertos pueden conseguir un beneficio adicional ofreciendo servicios de comunicación avanzados a los operadores portuarios.

Aplicaciones en logística portuaria

Aplicaciones de tipo GAS (Gate Appointment Systems) empiezan a usarse en los puertos para regular el tráfico de camiones que entran y salen del recinto portuario de forma que se gestione mejor las infraestructuras en los terminales. Esto permite a los operadores optimizar sus operaciones y evitar congestiones en las entradas del puerto y alrededores, lo que redundará en menores niveles de emisiones. Se trata de plataformas web accesibles desde un dispositivo con conexión a internet, con aplicaciones móviles complementarias para iOS o Android que permiten la comunicación con los conductores y la geolocalización de los camiones, lo que proporciona una estimación de la hora de llegada de estos. Así se han logrado conseguir reducciones en el tiempo empleado en la cola de acceso de los camiones de 60 a dos horas. Este tipo de aplicaciones buscan la integración con otros sistemas ya existentes en el ámbito portuario como los sistemas de inspección, el sistema de gestión del puerto o de los operadores portuarios.

En esta línea también se están empezando a implementar algoritmos de inteligencia artificial que permiten predecir el número de camiones que van a entrar o salir del puerto en un periodo de tiempo. Este tipo de herramientas inteligentes y de predicción analítica pueden ser de gran ayuda para, por ejemplo, habilitar más carriles de entrada o de salida en función de que se prevea un colapso en la circulación de camiones o no.

Sistemas basados en redes de sensores ZigBee (Ngai et al., 2011) han demostrado su eficacia para realizar trazabilidad en tiempo real de camiones, grúas de terminales o grúas de almacenamiento. Lo mismo ocurre con aplicaciones basadas en RFID (Shi et al., 2011).

Por otro lado, se están empezando a desplegar aplicaciones basadas en 5G para la gestión de terminales de contenedores. Apoyándose en redes 5G es posible mejorar la gestión de la carga en estas terminales: con un emplazamiento óptimo de cada contenedor, con solicitudes de las carretillas elevadoras en el momento preciso y operaciones de carga y descarga optimizadas, a través de dispositivos de realidad virtual o aumentada. Lo que se persigue es mejorar la eficiencia de las operaciones dentro de los terminales disminuyendo el tiempo de operación de los buques, los tiempos muertos en el atraque, los movimientos por unidad de carga y la ratio de actividad/inactividad de las carretillas elevadoras. Esto se consigue conectando dispositivos IoT a través de estándares máquina a máquina. El 5G permite tener una densidad alta de usuarios con un flujo elevado de datos en tiempo real y con una latencia baja, y una mejor eficiencia energética, de ahí el uso de esta tecnología.

Otra posibilidad es la aplicación de Big Data a la operativa de carga y descarga de contenedores optimizando los tiempos de inicio y fin de la ventana de atraque. Si se analiza con esta tecnología toda la información procedente de los sistemas meteorológicos, los de operatividad de la terminal y los del puerto, se puede estimar cómo afecta a la productividad de las grúas de carga y descarga el oleaje, las corrientes y el viento y advertir de una posible reducción en dicha productividad con una antelación de 48 horas. Esto permite a las navieras o los consignatarios ajustar la ventana de atraque cuando el buque entre puerto, reduciendo así la estancia del buque en puerto.

Ejemplos.

Los avances en la digitalización de los puertos ya se pueden ver en algunos de ellos. En el caso del puerto de Rotterdam han apostado por aplicar big data en sus operaciones diarias. Su autoridad portuaria ha hecho un gran esfuerzo en la implementación de una plataforma que automatiza la ingesta diaria de datos procedentes de los equipos del puerto, registros de su hinterland y datos náuticos que le permiten crear una imagen integral del puerto, lo que posibilita la gestión de instalaciones, dispositivos móviles y los sistemas corporativos de información del puerto.

Es innegable que las infraestructuras y los servicios de los puertos han experimentado un importante desarrollo en capacidades y nivel de complejidad, que ha proporcionado ventajas en el ámbito de la logística y la manipulación de contenedores. Pero no se han eliminado las ineficiencias ni los cuellos de botella asociados a las operaciones portuarias. En esto es donde están enfocados los proyectos iniciados en el puerto de Sevilla o el de Valencia.

En el puerto de Sevilla han implementado un sistema de seguimiento de contenedores en una ruta entre Sevilla y las Islas Canarias (Muñuzuri et al. 2020). Lo han hecho en un entorno FIWARE y empleando los estándares JSON, la comunicación es por satélite. El flujo de información que genera el sistema permite al cargador no sólo conocer la localización exacta del contenedor sino también sus condiciones internas, como la temperatura, permite generar alarmas en caso de que se superen los umbrales admisibles, un exceso de luminosidad que indica que se ha abierto el contenedor. El sistema permite activar la refrigeración del contenedor horas antes de su llegada a puerto. Los operadores logísticos pueden saber de forma más aproximada cuándo se podrá cargar el contenedor en un camión o tren, al conocer la localización y el estado del contenedor. Lo mismo ocurre con los agentes de aduanas, puesto que la carga del contenedor figura almacenada en el sistema. Con este sistema los cargadores pueden ofrecer a sus clientes un seguimiento preciso de la carga. El sistema se completa con un módulo que planifica la entrada del buque en puerto, ya que el acceso es fluvial y está muy condicionado por las mareas, y la salida, lo que permite una gestión más eficiente de los terminales de carga y descarga. El intercambio de información entre los diferentes módulos garantiza la eficacia del sistema.

Respecto a las innovaciones que se desarrollaran en el Puerto de Valencia, estas incluyen una solución basada en IoT para la ordenación del transporte terrestre que mejore las operaciones de entrega y recepción de contenedores o establecer conexiones eficientes con la red de transporte del interior que promuevan el uso de los modos de transporte más eficientes desde el punto de vista energético, por ejemplo, el ferrocarril. Otra línea de actuación en el puerto es el desarrollo de un sistema, basado en algoritmos de machine learning (aprendizaje automático), capaz de predecir el stock disponible de contenedores vacíos con el objetivo de minimizar los movimientos extraordinarios de reposicionado de los contenedores. Una consecuencia directa de la eliminación de estos movimientos será una mejora en el medio ambiente dado que se eliminarían el conjunto de externalidades asociadas al transporte de estos contenedores: emisión de gases, ruido, congestión, etc. Por otra parte, el sistema gestionará de forma autónoma los modelos de predicción para que pueda adaptarse rápidamente a cambios en patrones de ofertas, demandas y tráfico de contenedores.

Puertos como el de Amberes, Hamburgo o Wilhemshaven con importantes terminales de contenedores, y que se encuentran dentro de la red Core de la red Trans-Europea del transporte, participan en el proyecto iTerminals 4.0. El proyecto se orienta hacia la digitalización de las operaciones portuarias y la adopción de tecnologías de Industria 4.0 en el sector portuario, especialmente el IoT a través del despliegue de una red de sensores y la aplicación de inteligencia artificial a los modelos actuales de business intelligent ya utilizados en terminales de contenedores. Los resultados de los pilotos implementados en operativas reales en los puertos generarán un aumento de la eficiencia operativa, la aplicación de la ciberseguridad, una reducción de costes y una disminución de la huella de carbono. Las actividades piloto servirán para mejorar, adaptar y demostrar la viabilidad de las soluciones propuestas, así como sus beneficios, antes de implementarlas a gran escala.

Logística avanzada. IoT en contenedores

La razón por la cual el seguimiento de contenedores es tan importante se debe a que hay mucha incertidumbre en el proceso de envío. Desde el puerto de origen hasta el de destino previsto se da un proceso complejo con muchos pasos por lo que existe la posibilidad de que surjan problemas.

La gran mayoría de soluciones para el tracking de contenedores en los últimos 20 años se ha basado en la localización por GPS, que se envía a través de GSM/GPRS o satélite. En general, los dispositivos que se han empleado para el tracking son, por un lado, dispositivos magnéticos que se colocaban en el costado exterior del contenedor, entre los refuerzos estructurales o bien, mecanismos de cierre para sellar el contenedor que incluían un dispositivo de rastreo. En el momento en que el dispositivo detecta movimiento, si incorpora un acelerómetro, o cada cierto tiempo, si no es así, registra su posición GPS y la envía vía satélite o GSM. Estos datos son recibidos y almacenados en la aplicación correspondiente de la empresa logística y son accesibles al cliente. Los datos de posición podían ser completados con información del estado del contenedor, como temperatura, humedad, impactos o luz. Estos sistemas presentan algunos problemas como el coste ya que la comunicación vía satélite es cara; la necesidad de que el dispositivo esté a cielo abierto, lo que resulta complicado cuando los contenedores están apilados; los dispositivos consumen una gran cantidad de energía por lo que las baterías no son duraderas. Además, la comunicación vía satélite es relativamente cara. Sin embargo, gigantes del transporte como Maersk ofrecen servicios de tracking de sus contenedores. En su caso utiliza comunicación por satélite, donde el GPS permite obtener la posición del contenedor, mientras que con un modem y una tarjeta SIM se recoge la información sobre condiciones atmosféricas y estado del contenedor. Finalmente, un transmisor satelital montado en el buque envía el streaming de datos en tiempo real al satélite y éste lo envía al centro de gestión de datos correspondiente (1).

Las limitaciones de estos sistemas han derivado recientemente en la aplicación del IoT al tracking de contenedores. Este sector ha evolucionado enormemente, desde soluciones propietarias como SigFox (cita) o ZigBee (cita), hasta sistemas estandarizados como el Narrowband IoT (NB-IoT)(Kavuri et al. 2020). Esta tecnología consta de tres elementos: sensores, conectividad y aplicaciones. El sensor hace posible la localización del contenedor y la conectividad permite transmitir los datos de esa localización a una aplicación que frecuentemente es una plataforma logística.

Para minimizar el riesgo de daños el dispositivo de rastreo en este caso va en el interior del contenedor, pero debe colocarse una antena en el exterior para la comunicación de los datos debido al entorno metálico en que se halla. Además, como debe tener un ciclo de vida amplio también incluye una batería para aumentar su autonomía.

El protocolo de comunicación en tiempo real requiere el envío eficiente de datos procedentes del dispositivo instalado en el contenedor. Cuando se está usando comunicación móvil, se puede incurrir en costes adicionales dependiendo de la frecuencia en la comunicación. Por tanto, es necesario transmitir la información en intervalos específicos entre el dispositivo de tracking del contenedor y el sistema de control que recibe esos datos, y usar TCP/IP como protocolo de comunicación fiable. Además, cuando se transmite la información se emplea un algoritmo de encriptación para garantizar la protección de la información.

Durante las últimas décadas, las cadenas de suministro se han convertido en enormes redes de organizaciones heterogéneas involucradas en la fabricación y entrega de productos a usuarios finales. La aparición de IoT está transformando cada sector sujeto a ser digitalizado. Tras un período de evaluación del uso de IoT, las empresas han comenzado a moverse para completar la digitalización de sus cadenas de suministro.

Bajo este paradigma, iNGENIOUS tiene como objetivo diseñar la próxima generación de la tecnología IoT para dar servicio y añadir valor digital a las cadenas de suministro del futuro. Para ello, se diseñará una solución que hará uso de un gran número de tecnologías emergentes como la tecnología 5G, Big Data, Inteligencia Artificial, blockchain, realidad

virtual y aumentada, etc. Dentro de las cadenas de suministro globales, el proyecto se centra en tres escenarios: industria, transporte y logística.

En el Puerto de Valencia, la Fundación Valenciaport llevará a cabo 4 casos de uso que permitirán validar las tecnologías desarrolladas durante el proyecto:

Integración de las cadenas de suministro. En este caso de uso se abordará la interoperabilidad entre plataformas IoT y la interoperabilidad entre plataformas blockchain utilizadas para las operaciones de transporte y la logística.

Comprensión y predicción de eventos en escenarios logístico-portuarios: En este caso de uso se diseñarán modelos predictivos basados en inteligencia artificial para predecir y optimizar el tiempo que pasan los camiones dentro del puerto durante su operativa.

Mejora de la seguridad en el manejo de maquinaria mediante el uso de la realidad virtual y aumentada además de dispositivos hápticos. En este caso de uso se demostrará el control remoto de maquinaria en el puerto a través de las citadas tecnologías y el uso de conectividad 5G.

Seguimiento de mercancías en transporte inter-modal mediante un uso conjunto de tecnología IoT y satélite. En este caso de uso se demostrará el seguimiento de un contenedor que será transportado a través de transporte terrestre y marítimo entre el puerto de Valencia y el puerto de Pireo.

Green shipping

Durante el periodo 2007 a 2012 el transporte marítimo fue responsable de aproximadamente la emisión de 1 billón de toneladas de gases de efecto invernadero (GHG)(Olmer et al. 2017). La preocupación de organismos como la OMI o entidades como la UE en los últimos años ha llevado a que se legisle en este sentido y, como consecuencia, a partir de enero de 2020 se ha limitado la emisión de Sox por parte de los buques al 0,5%. Por eso en los últimos 5 años se han multiplicado los estudios sobre emisiones de gases GHG y los posibles métodos para reducir esas emisiones. En general, en los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo dirigido a la mejora de las actividades marítimas desde el punto de vista de su impacto en el medio ambiente. Este esfuerzo se tradujo en el desarrollo de tecnologías que permitiesen emplear energías alternativas, motores y materiales que contribuyesen a reducir la contaminación en el aire y en el mar (Shi et al. 2018).

Green shipping. Cambio de combustible

Otro camino que se está explorando para reducir los niveles de contaminación en buques es el de sustituir los combustibles actuales como el fuel por otros como el LNG, los biofueles, el hidrógeno, etc.

Algunas de las tecnologías ya se están aplicando para conseguir buques más respetuosos con el medio ambiente como es el uso del LNG como combustible para la propulsión principal y los auxiliares, a través de turbinas y motores que emplean este gas como combustible se reducen notablemente las emisiones de NOx y SOx, si a esto le añadimos sistemas de recirculación de los gases de exhaustación, estas reducciones pueden ser de entre un 80 y 98%.

La primera generación de biocombustibles más extendida son el bioetanol y el biodiesel.

Biodiesel o Éster metílico de ácidos grasos (Fatty Acid Methyl Esters, FAME), y las mezclas de éste con combustibles tradicionales procedentes del petróleo, fundamentalmente MDO, constituyen una alternativa como fuente de energía en la industria marítima. En la última versión del estándar EN ISO 8217, la presencia de FAME admisible en determinados combustibles diésel marinos subió hasta el 7 %.

La IMO estimó que entre 2007 y 2012, de media, la flota marítima mundial consumió entre 250 y 325 millones de toneladas de fuel anualmente, y contribuyó a las emisiones anuales de gases de efecto invernadero en un 2,8% del total mundial. Aun así, comparado con otros medios de transporte, los barcos producen las menores emisiones de CO₂ por tonelada y kilómetro recorrido.

La incorporación de biocombustibles en los combustibles marinos destilados es una de las mayores opciones para la transición hacia un transporte con menor huella de carbono, más verde (Theodora Tyrovola et al. 2017). Los biocombustibles ya han entrado en el mercado debido a su potencial energético y a su capacidad para mitigar el cambio climático.

Los biocombustibles se clasifican en primera, segunda y tercera generación en base a la tecnología o la materia prima empleada en su producción.

El biodiesel tiene la capacidad de mejorar las propiedades de lubricación de los combustibles bajos en sulfuro y, por tanto, disminuir los problemas de desgaste en estos sistemas. Sin embargo, se degradan con el tiempo formando contaminantes como peróxidos, ácidos y otras partículas insolubles. En concentraciones elevadas pueden disolver elementos no metálicos como juntas, manguitos o elementos estancos. Esto obliga, en buques existentes, a cambiar estas partes susceptibles de corrosión por componentes compatibles con el biodiésel.

Biocombustibles sintéticos. Tienen la ventaja de que se pueden usar sin modificar los motores existentes, y suponen una mejora respecto a los combustibles fósiles ya que se eliminan los contaminantes que obturan los catalizadores instalados a bordo.

Aceites vegetales hidrogenados (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil). Ésta es una forma de producir biodiésel de alta calidad sin comprometer la logística del abastecimiento de combustible, los motores o los equipos de tratamiento de los gases de exhaustación. Según la Directiva de Energía Renovable 2009/28/EC, las emisiones de gases de efecto invernadero del HVO son algo inferiores a los de los FAME si ambos se obtienen de la misma materia prima. Este tipo de combustible presenta los mayores valores de poder calorífico de todos los biocombustibles y los menores depósitos en el sistema de inyección de combustible. Tampoco presenta problemas operativos en condiciones de frío severas.

Biocarburantes líquidos procedentes de biomasa (BTL, Biomass to Liquid). La gran ventaja de este tipo de combustible es que al quemarse no produce dióxido de carbono. El BTL se puede mezclar con diésel marino según la EN ISO 8217-2017. Sin embargo, es necesario seguir investigando para obtener la ratio óptima entre este biocombustible y el diésel.

Los biocombustibles, impulsados por las normativas regulatorias y los factores del mercado, podrían llegar a suponer entre un 10 y un 30% del combustible empleado por la flota a nivel mundial para 2030 (SSI 2019). Para esto deben ser realmente sostenibles teniendo en cuenta todas las implicaciones de la cadena de producción y comercialización del biocombustible, desde el medioambiental hasta el social, pasando por aspectos legales, económicos y los efectos de la extracción de las materias primas a nivel local y global. Además, a esto se añade que hay otras industrias interesadas en reducir su huella de carbono y que competirían con la industria marítima por este tipo de combustible.

Otra alternativa es el hidrógeno (Parker 2013). Su gran ventaja es que no genera emisiones de CO₂ o SO_x cuando se utiliza en motores como combustible. Las emisiones de NO_x en estos casos se pueden controlar como en otros combustibles. Si el hidrógeno se consume en una célula de combustible, ni siquiera se tienen las emisiones de NO_x. Para obtener el hidrógeno se requiere de una fuente de energía, ésta puede ser combustibles tradicionales o energías renovables como el viento o la energía hidroeléctrica. Actualmente todo el hidrógeno usado en la industria procede del gas natural. El hidrógeno líquido tiene un mayor poder calorífico por unidad de peso que los combustibles convencionales, pero requiere de mucho más espacio de almacenamiento, unas seis veces más, si se almacena a 700 bares. Esto hace que realizar trabajos de retrofitting en buques ya existentes sea mucho más difícil. A esto hay que añadir los problemas de seguridad de su almacenamiento, debido a la presión a la que debe estar en los tanques y los sistemas de criogenización. A cambio, una de las ventajas que presenta es la generación de agua dulce que se produce al quemarlo.

El amoníaco anhidro es un gas peligroso, pero se puede transportar líquido a una presión de 30 bares. Se puede usar como combustible tanto en motores diésel como en turbinas de gas. Al quemarse en un motor no genera gases de efecto invernadero, pero su actual proceso de obtención a partir del gas natural sí, por lo que no se puede considerar como un combustible de cero emisiones (Valera-Medina et al. 2018). Su poder calorífico es la mitad del diésel marino, pero presenta menos problemas para el almacenamiento que el hidrógeno, por ejemplo. Algunos fabricantes de motores han encontrado interesante esta alternativa, Caterpillar ha patentado un motor específicamente diseñado para quemar amoníaco (Gong and Leo Willi 2010). Desde 2001 Wartsila ha realizado tests en sus motores 6L32 con diferentes tipos de biodiésel y desde 2015 colabora con empresas del sector de los biocombustibles para encontrar el más adecuado para los buques (Kesieme et al. 2019). MAN también ha experimentado con sus motores lentos de dos tiempos y diferentes biocombustibles, y en la actualidad ofrece una amplia gama de motores marinos aptos para consumir biocombustibles sin modificaciones específicas.

Green shipping. Cambio de sistemas propulsivos

En paralelo a la generación de combustibles sostenibles, como alternativa a los combustibles fósiles tradicionales, se han producido cambios e innovaciones en los sistemas de propulsión a bordo de los buques.

Los motores duales ya son una realidad, motores capaces de quemar combustibles tradicionales y LNG de forma alternativa, lo que les permite cumplir con la normativa IMO NO_x Tier III, y que los buques puedan circular por zonas SECA.

Otra propuesta de los fabricantes de motores marinos, como Rolls-Royce, es la propulsión híbrida. La combinación de motores diésel y eléctricos, junto con baterías, ofrece interesantes beneficios en términos de eficiencia, flexibilidad del sistema propulsivo y compatibilidad medioambiental. Las baterías se pueden recargar con los motores diésel o en tierra. Y si el buque navega a baja velocidad, se pueden usar sólo las baterías para alimentar los motores eléctricos. Las ventajas de este tipo de sistema propulsivo es la redundancia, a la reducción en el consumo de combustible (hasta un 20%) y, por tanto, en la emisión de gases y otros contaminantes, reducción del ruido y del mantenimiento. Los buques con esta propulsión son capaces de operar en puerto con las baterías, produciendo cero emisiones. Este tipo de buques están en el punto de mira de los puertos, debido a que éstos también están interesados en disminuir su huella de carbono, por lo que ofrecen incentivos a los buques menos contaminantes y con mayor volumen en movimiento de carga.

En los últimos años ha habido mejoras sustanciales en la capacidad de almacenamiento de las baterías (Hou, Sun, and Hofmann 2018), pueden recargarse más rápido, tienen una ratio menor de descarga y ya no tienen el “efecto memoria”. En 2015 se botó el primer ferry con propulsión eléctrica de baterías. Actualmente, las baterías que presentan mejores opciones son las de litio. Las baterías de Litio-aire son capaces de dar 11.780 Wh con la oxidación de 1 kg de Litio (Imanishi and Yamamoto 2019). Al contrario que otras baterías, que portan el oxidante dentro, este tipo de baterías de

Litio tomar el aire de la atmósfera durante la descarga y lo liberan durante la carga. Otras baterías de litio con aplicaciones en la industria marítima son de Litio, níquel, manganeso y óxido de cobalto (LiNiMnCoO_2) por su ciclo de vida y su densidad de energía. En este tipo de baterías la degradación de las mismas está influenciada por la temperatura de trabajo y los ciclos de recarga.

Cuando las baterías se implementan a gran escala es necesario instalar también sistemas auxiliares y componentes electrónicos de potencia. Éstos controlan la carga y descarga de las baterías, mientras que el sistema de gestión de las baterías establece los límites para la carga y la descarga a la electrónica de potencia. Habitualmente, las capacidades y la complejidad de estos sistemas auxiliares se incrementan con la capacidad de las baterías. Para la propulsión de un buque es imprescindible conectar varias baterías para obtener el voltaje adecuado y el almacenamiento necesario (MAN Energy Solutions 2019).

Las celdas de combustible son otra alternativa para la propulsión. Producen energía a través de un proceso electroquímico, no tienen partes móviles, pero sí necesitan de sistemas auxiliares como bombas, ventiladores y humidificadores. El proceso electroquímico se basa en dos reactantes, habitualmente oxígeno e hidrógeno, que una vez que reaccionan producen agua, liberando energía eléctrica y calorífica, en menor medida. Los reactantes se pueden almacenar de forma externa a la celda y su suministro es similar al de un motor diésel. Su eficiencia es comparable con la de los grandes motores diésel marinos (4T), especialmente si se combina con una planta de vapor para aprovechar el calor que generan (Ahn et al. 2018).

Existen diferentes pilas de combustible según el tipo de membrana que utilicen. En el caso de la propulsión de buques, las más adecuadas son las de membrana de alta temperatura, óxido sólido y carbonato fundido que son capaces de generar desde pocos kilovatios hasta 10 MW, lo que sean aplicables tanto para propulsión principal como para generadores auxiliares.

Se han realizado pruebas en buques ferry para evaluar su capacidad para la propulsión y la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, que puede llegar al 65% a lo largo de su ciclo de vida (Wu and Bucknall 2020).

El mayor problema que presentan las pilas de combustible es la obtención de sus reactantes. El oxígeno se puede obtener del aire, pero el hidrógeno es más complicado. Una opción es el almacenamiento a bordo para un suministro directo, pero presenta problemas de pérdidas. Otra opción es obtenerlo a partir del metano (gas natural) y realizar este proceso dentro de la propia pila. El problema que presenta esto es que el carbono se transforma en CO_2 .

Green shipping. Agua de lastre

En el caso del agua de lastre, la preocupación por las implicaciones para los ecosistemas viene de lejos, y la OMI impulsó la instalación de sistemas de tratamiento del agua de lastre que evitasen la transferencia de especies invasivas. En este tema se sigue avanzando: DNV ha propuesto un concepto nuevo que es el de buque libre de agua de lastre. El sistema consiste en un casco prismático que permite la inmersión de la proa y el propulsor, y tiene unos tanques laterales para neutralizar los momentos flectores durante la carga y descarga del agua de mar. El espectro de buques en el que se podría aplicar este diseño serían los grandes petroleros (VLCC), bulkcarriers y car carriers.

Referencias

FIWARE. https://www.youtube.com/channel/UCbXNGF_hhvKpXdQ1KxzX2HQ

Ahn, Junkeon, Sung Ho Park, Sanghyuk Lee, Yeelyong Noh, and Daejun Chang. 2018. "Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)-Based Hybrid Propulsion Systems for a Liquefied Hydrogen Tanker." *International Journal of Hydrogen Energy* 43 (15): 7525–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.015>.

Gong, Weidong, and Martin Leo Willi. 2010. "Power System Having an Ammonia Fuelled Engine" 1 (19): 7.

Hou, Jun, Jing Sun, and Heath Hofmann. 2018. "Control Development and Performance Evaluation for Battery/Flywheel Hybrid Energy Storage Solutions to Mitigate Load Fluctuations in All-Electric Ship Propulsion Systems." *Applied Energy* 212 (October 2017): 919–30. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.098>.

Imanishi, N., and O. Yamamoto. 2019. "Perspectives and Challenges of Rechargeable Lithium–Air Batteries." *Materials Today Advances* 4: 100031. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2019.100031>.

Kavuri, Srikanth, Dmitri Moltchanov, Aleksandr Ometov, Sergey Andreev, and Yevgeni Koucheryavy. 2020. "Performance Analysis of Onshore NB-IoT for Container Tracking During Near-the-Shore Vessel Navigation." *IEEE Internet of Things Journal* 7 (4): 2928–43. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2964245>.

Kesieme, Uchenna, Kayvan Pazouki, Alan Murphy, and Andreas Chrysanthou. 2019. "Biofuel as an Alternative Shipping Fuel: Technological, Environmental and Economic Assessment." *Sustainable Energy and Fuels* 3 (4): 899–909. <https://doi.org/10.1039/C8SE00466H>.

MAN Energy Solutions. 2019. "Batteries on Board in The."

Muñuzuri, Jesús, Luis Onieva, Pablo Cortés, and José Guadix. 2020. "Using IoT Data and Applications to Improve Port-Based Intermodal Supply Chains." *Computers and Industrial Engineering* 139 (January 2019): 105668. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.042>.

Olmer, Naya, Bryan Comer, Biswajoy Roy, Xiaoli Mao, and Dan Rutherford. 2017. "Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013-2015." *The International Council on Clean Transportation*, no. October: 1–25.

Parker, J. 2013. *Exploring Alternative Methods of Ship Propulsion: FUTURE SHIP POWERING OPTIONS*. Royal Academy of Engineering.

Shi, Wenming, Yi Xiao, Zhuo Chen, Heather McLaughlin, and Kevin X. Li. 2018. "Evolution of Green Shipping Research: Themes and Methods." *Maritime Policy and Management* 45 (7): 863–76. <https://doi.org/10.1080/03088839.2018.1489150>.

SSI. 2019. "The Role of Sustainable Biofuels in the Decarbonisation of Shipping." *Sustainable Shipping Initiative*.

Theodora Tyrovola, George Dodos, Stamatias Kalligeros, and Fanourios Zannikos. 2017. "The Introduction of Biofuels in Marine Sector." *Journal of Environmental Science and Engineering A* 6 (8). <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2017.08.006>.

Valera-Medina, A., H. Xiao, M. Owen-Jones, W. I.F. David, and P. J. Bowen. 2018. "Ammonia for Power." *Progress in Energy and Combustion Science* 69: 63–102. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.07.001>.

Wu, Peng, and Richard Bucknall. 2020. "Hybrid Fuel Cell and Battery Propulsion System Modelling and Multi-Objective Optimisation for a Coastal Ferry." *International Journal of Hydrogen Energy* 45 (4): 3193–3208. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.152>.

<https://www.corealis.eu/>

https://www.corealis.eu/wp-content/uploads/2020/06/general_cargo_loading_phase.mp4

MÓDULO 4



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



https://www.corealis.eu/wp-content/uploads/2020/06/general_cargo_registration_phase.mp4

<https://greencportsproject.eu/>

<https://iterminalsproject.eu/>

<https://youtu.be/UJU1pCAxtA>

<https://transformingtransport.eu/>

<https://www.dtf.eu/>

[1] <https://www.dynamicexport.com.au/freight/articles-freight-and-insurance/New-Maersk-smart-containers-can-listen-and-talk/>

[Sulphur emissions from ships:](#)

<https://audiovisual.ec.europa.eu/en/video/I-182524>