

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ A LO LARGO DE LA COSTA GALLEGA

Beatriz ARGUILÉ-PÉREZ¹, Américo S. RIBEIRO^{2,1}, Xurxo COSTOYA¹, Maite DeCASTRO¹, Pablo CARRACEDO³, Joao M. DIAS², Liliana RUSU⁴ y Moncho GÓMEZ-GESTEIRA¹

¹Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Environmental Physics Laboratory (EPHysLab), Campus da Auga, 32004, Ourense, España.

²CESAM, Physics Department, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal.

³MeteoGalicia, Santiago de Compostela, España.

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, 'Dunaea de Jos' University of Galati, 111 Domnaesca St., 800 201, Galati, Romania.

beatriz.arguile.perez@uvigo.es, americosribeiro@ua.pt,
xurxocostoya@uvigo.es, mdecastro@uvigo.es,
pablo.enrique.carracedo.garcia@xunta.gal, joao.dias@ua.pt,
Liliana.Rusu@ugal.ro, mgesteira@uvigo.es

RESUMEN

Se ha calculado el recurso undimotriz a lo largo de la costa gallega (noroeste de España) durante el periodo 2014-2021 usando datos horarios de alta resolución espacial procedentes del modelo Simulating WAVes Nearshore (SWAN). Además, se analizó la potencia eléctrica (P_E) y el rendimiento que puede obtenerse del convertidor de energía undimotriz (WEC) Wave Dragon. El rendimiento del Wave Dragon se calculó atendiendo a dos parámetros: el factor de carga de potencia (ϵ) y el ancho de captura normalizado respecto a la geometría del WEC (eficiencia). Los resultados muestran que el recurso undimotriz es menor que 10 kWm^{-1} cerca de la costa, pero aumenta hasta 55 kWm^{-1} en mar abierto. Wave Dragon presenta valores de P_E menores a 500 kW en el interior de las rías y $\sim 2200 \text{ kW}$ en mar abierto. Además, ϵ alcanza valores de 25–30% en la costa noroeste y la eficiencia alcanza hasta el 40% en la costa oeste. Debido a su profundidad óptima de operación y a los resultados obtenidos, Wave Dragon parece ser una buena opción para aprovechar la energía undimotriz en la costa gallega.

Palabras clave: energía undimotriz, convertidores de energía undimotriz (WECs), costa gallega, SWAN.

ABSTRACT

The wave power resource (WP) has been calculated along the Galician coast (NW Spain) over the period 2014-2021 using high spatial resolution hourly data from the Simulating Waves Nearshore (SWAN) model. In addition, the electrical power energy (P_E) that can be extracted for the Wave Dragon wave energy converter (WEC) was analyzed. The performance of Wave Dragon has also been calculated attending to two parameters: the power load factor (ϵ) and the normalized capture width with respect

to the WEC's geometry (efficiency). Results show that the WP resource is lower than 10 kWm^{-1} onshore but it increases to about 55 kWm^{-1} offshore. Wave Dragon presents P_E values less than 500 kW inside the estuaries and ~ 2200 kW offshore. Additionally, ϵ reaches values of 25–30% on the Northwest Coast and the efficiency reaches up to 40% on the West Coast. Due to its optimum operating depth and the results obtained, Wave Dragon seems to be a good option to implement wave energy on the Galician coast.

Key words: wave power, wave energy converters (WECs), Galician coast, SWAN.

1. INTRODUCCIÓN

Más del 81% del consumo de energía primaria mundial procede de los combustibles fósiles (IEA., 2021), los cuales tienen una influencia clara en el aumento de gases de efecto invernadero y la temperatura global (Masson-Delmotte et al., 2021). Uno de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas es aumentar sustancialmente la proporción de energías renovables en la combinación energética mundial para mitigar el calentamiento global y garantizar el suministro de energía (General Assembly., 2017). Para lograr el éxito necesario en el desarrollo de las energías renovables, es fundamental utilizar todas las fuentes renovables disponibles, incluida la energía marina. Las olas del océano se forman continuamente en la superficie del océano y pueden viajar miles de millas con mínima pérdida energética (Ribeiro et al., 2020). Además, la energía de las olas tiene la ventaja de tener más previsibilidad que la energía solar o eólica y depende menos de factores ambientales (Rusu, 2014). A la cantidad de flujo de energía de las olas por unidad de longitud del frente de onda (expresado en kWm^{-1}) transmitido en la dirección de propagación de la ola se la conoce como recurso undimotriz (Mota & Pinto, 2014). El recurso undimotriz depende del estado del mar, determinado por la altura significativa del oleaje (H_s) y el periodo de pico del oleaje (T_p). Sólo un porcentaje de este recurso se transformará en electricidad. Este porcentaje depende del conversor de energía de las olas (WEC) y sus características físicas y técnicas.

En 2020 había un total de 33 conversores de energía de las olas con una capacidad combinada de 2,3 MW distribuidos por todo el mundo (La Camera, 2020). España es el país europeo con más instalaciones de I+D en energía eólica flotante y otras energías marinas (IDAE., 2020; MITECO, 2021). Destaca, por ejemplo, la zona experimental para el aprovechamiento de energías marinas en Punta Langosteira (Galicia, España) —dentro del proyecto EnergyMare—, que es el banco de pruebas con la densidad de energía de olas más alta del mundo, detrás de la costa sur de Gales (MITECO, 2021). El Gobierno español se ha fijado el objetivo de alcanzar los 7 GW de energía eólica flotante y entre 40 y 60 MW de otras energías marinas, incluida la undimotriz, a finales de esta década (MITECO, 2021). Galicia es la región española con mayor potencial de energía undimotriz ($40\text{-}45 \text{ kWm}^{-1}$), seguida del Mar Cantábrico (30 kWm^{-1}) y el norte de Canarias (20 kWm^{-1}) (MITECO, 2021).

El objetivo de este estudio es analizar el recurso undimotriz y la potencia eléctrica que se podría haber extraído con un dispositivo WEC del tipo Wave Dragon a lo largo de la costa gallega entre 2014 y 2021. Debido a la estrechez de la plataforma continental

a lo largo de la costa gallega (Fig. 1), el análisis de la viabilidad del WEC hace necesario calcular el recurso undimotriz con una resolución espacial muy alta (un máximo de ~ 75 m) y también limita el tipo de dispositivo utilizado. El rendimiento del WEC se limitará al rango de profundidad óptimo para la instalación del dispositivo y se determinará atendiendo a dos parámetros: el factor de carga de potencia (ϵ) y el ancho de captura normalizado según la geometría del WEC (eficiencia).

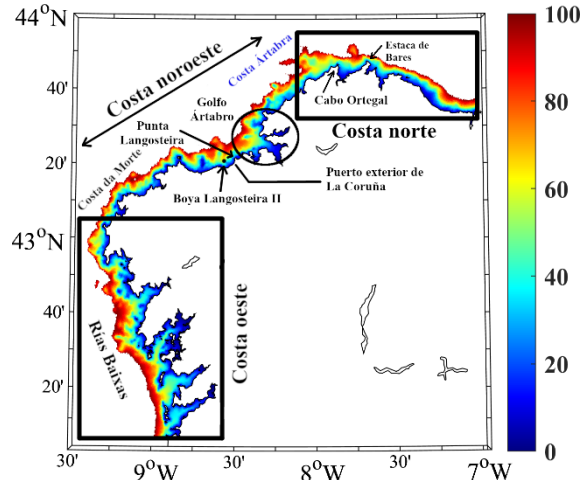


Fig. 1: Área de estudio. Los colores representan la batimetría (en metros).

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Datos

Los parámetros de oleaje altura significativa de la ola, H_s , y periodo de pico de la ola, T_p , fueron proporcionados por Meteogalicia, la administración regional a cargo del pronóstico del tiempo para Galicia, utilizando simulaciones del modelo SWAN de tercera generación desarrollado por la Universidad Tecnológica de Delft (Carmeáns Rodríguez et al., 2014). El modelo SWAN utiliza una malla no estructurada, con una resolución espacial más alta en áreas costeras y estuarinas, donde puede alcanzar una resolución de 75 m, que en alta mar (Carmeáns Rodríguez et al., 2014). Los datos de resolución horaria se pueden descargar en carpetas diarias del servidor THREDDS (Thematic Realtime Environmental Distributed Data Service) en el enlace http://mandeo.meteogalicia.gal/thredds/catalog/modelos/SWAN_HIST/galicia/catalog.html, (THREDDS Data Server., s. f.). Los resultados de la simulación se validaron previamente con los datos de la boya Langosteira II (Fig. 1), proporcionados por Puertos del Estado (Puertos del Estado, s. f.) para evaluar la exactitud de los resultados del modelo (Arguilé-Pérez et al., 2022).

2.2. Metodología

Los métodos seguidos para calcular el recurso undimotriz y la eficiencia del WEC se describen a continuación.

2.2.a. El recurso undimotriz

El recurso undimotriz se define como la cantidad de flujo de energía de las olas por unidad de longitud del frente de ola (expresado en kWm^{-1}) transmitido en la dirección de propagación de la onda (Mota & Pinto, 2014), y se representa mediante la ecuación (1):

$$WP = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del agua de mar (considerada aquí como 1025 kgm^{-3}), g es la aceleración de la gravedad, H_s es la altura significativa de la ola y T_e es el período de energía. Este último puede expresarse en términos de período pico de ola, T_p de la siguiente manera:

$$T_e = \alpha T_p \quad (2)$$

El factor α varía con la forma del espectro de onda. En el presente estudio se asumió un valor de $\alpha=0,9$. Esta suposición es equivalente a asumir un espectro JONSWAP estándar con un factor de mejora de pico de $\gamma=3.3$ (Ribeiro et al., 2020). Ver Stewart (2008) para más detalles.

2.2.b. Parámetros para analizar el rendimiento del WEC.

La potencia eléctrica total depende tanto del recurso undimotriz disponible como del rendimiento del WEC en su extracción. Cada dispositivo opera en un rango diferente de profundidad, H_s y T_p . Esto significa que si un estado del mar (H_s , T_p) no pertenece al rango de operación del WEC, no se generará salida eléctrica. Los intervalos de funcionamiento para H_s y T_p se incluyen en la denominada "matriz de potencia", que contiene la energía eléctrica producida por los dispositivos según el estado del mar. El rendimiento depende de esta matriz de potencia, que es proporcionada por el fabricante. La potencia eléctrica promedio esperada (P_E , en kW) que se puede extraer con un WEC particular se expresa mediante la ecuación (3):

$$P_E = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n_T} \sum_{j=1}^{n_H} p_{ij} P_{ij} \quad (3)$$

donde P_{ij} es la potencia eléctrica obtenida de un elemento ij de la matriz de potencia de un determinado WEC, p_{ij} es la probabilidad de ocurrencia de un determinado estado del mar para este elemento de la matriz de potencia (expresada en porcentaje), y n_T y n_H son el número total de intervalos de período pico y altura significativa considerados, respectivamente.

Se han utilizado dos parámetros para evaluar el rendimiento del WEC para extraer energía de las olas: el factor de carga de potencia (ε) y la eficiencia. ε se define como la relación entre P_E y la potencia eléctrica máxima que puede producir el WEC (P_{\max}) y que es proporcionada por el fabricante:

$$\varepsilon (\%) = 100 \cdot \frac{P_E}{P_{\max}} \quad (4)$$

El parámetro eficiencia se ha utilizado para estimar el rendimiento de los WEC en la conversión de la energía de las olas en electricidad, y se ha definido como el ancho de captura (C_w , en metros) normalizado con respecto a la geometría del WEC (Price et al., 2009; Ribeiro et al., 2020). En la literatura, C_w es el ancho del frente de onda

que comprende la misma cantidad de potencia que la absorbida por el WEC (Price et al., 2009), y se define mediante la ecuación (5).

$$C_w = \frac{P_E}{WP} \quad (5)$$

C_w es, como ϵ , uno de los parámetros más comunes para estimar el rendimiento de los WEC. Sin embargo, como no todos los WEC tienen el mismo tamaño, se ha introducido el nuevo parámetro de eficiencia para este estudio. La eficiencia permite comparar el rendimiento entre diferentes WEC y se define en la ecuación (6).

$$efficiency (\%) = 100 \cdot \frac{C_w}{L} \quad (6)$$

donde L es la longitud del WEC en la dimensión a través de la cual el WEC captura la energía de las olas.

Para este estudio se ha considerado un WEC de tipo *overtopping* llamado Wave Dragon. Este dispositivo tiene una longitud de unos 260 m, una P_{\max} de en torno a ~7000 kW y opera de forma óptima a profundidades de entre 25 y 50 m (Bozzi et al., 2014; Rusu, 2014; Silva et al., 2013). La matriz de potencia se obtuvo del estudio de Silva et al. (2013).

3. RESULTADOS

3.1. Recurso undimotriz

En primer lugar, se calculó el recurso undimotriz medio (WP medio) a lo largo de la costa gallega durante el periodo 2014-2021. La Fig. 2 muestra el recurso undimotriz para tres regiones: la costa oeste (a), la costa noroeste (b) y la costa norte (c). En general, el recurso undimotriz es más bajo cerca de la costa que en alta mar. A lo largo de la costa oeste, el recurso aumenta de menos de 10 kW m⁻¹ dentro de las rías hasta alrededor de 55 kWm⁻¹ en alta mar (Fig. 2a). Como se esperaba, el recurso undimotriz está relacionado con la batimetría: el recurso es menor en las áreas menos profundas. Los puntos de máximo recurso WP (~60 kWm⁻¹) en las costas noroeste y norte se encuentran en zonas relativamente lejos de la costa (Fig. 2b y 2c). En la parte más oriental de la costa norte, el recurso es menor (alrededor de 20 kWm⁻¹ a ~10 km de la costa, ver Fig. 2c) ya que las olas suelen venir del noroeste y esa zona está a sotavento.

3.2. Potencia eléctrica extraída y rendimiento del WEC

Macroscópicamente, los patrones de P_E (Fig. 3) son muy similares para las tres áreas, disminuyendo hacia tierra, como se observó previamente para el recurso undimotriz (Fig. 2). La potencia eléctrica que puede obtenerse de Wave Dragon presenta valores menores a 500 kW en el interior de las rías y ~2200 kW en mar abierto. Los valores más altos de P_E (~2500 kW) se encuentran localizados en pequeñas áreas someras relativamente lejos de la costa (Fig. 3a y 3b) y enfrente de Cabo Ortegal y Estaca de Bares (Fig. 3c). La costa noroeste (Fig. 3b) junto con el norte de la costa este (Fig. 3a) son las que presentan la mayor P_E (~2200 kW). P_E es menor en la parte más oriental de la costa norte que en la occidental (~1000 kW a unos 10 km de la costa, ver Fig. 3c) debido a la dirección dominante del oleaje.

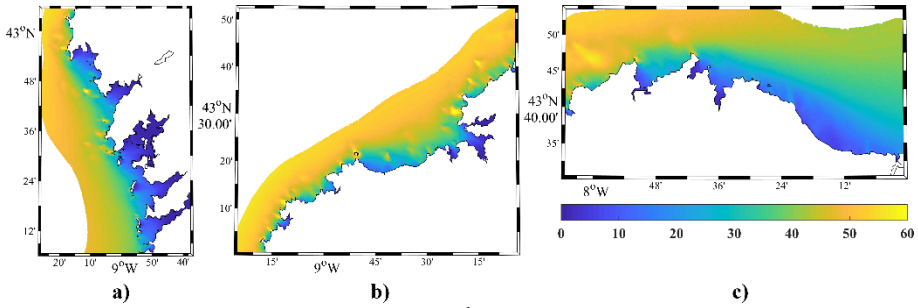


Fig. 2: Recurso undimtriz (WP , en kWm^{-1}) para (a) costa oeste, (b) costa noroeste y (c) costa norte para el periodo 2014-2021.

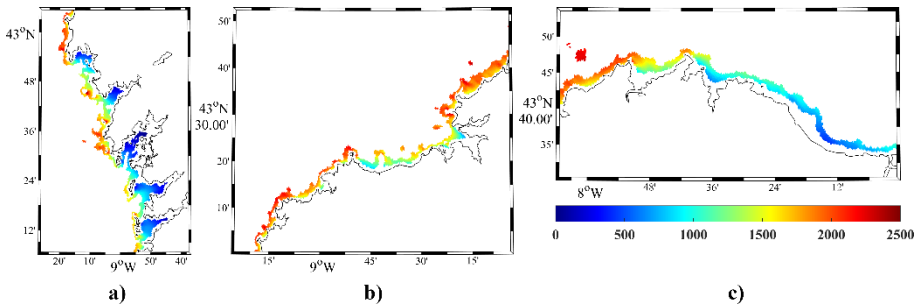


Fig. 3: Potencia eléctrica esperada (P_E , en kW) con Wave Dragon en la costa oeste (a), la costa noroeste (b) y la costa norte (c) para el periodo 2014-2021.

El patrón del factor de potencia de carga ε , es similar a P_E , de modo que aumenta hacia mar abierto, alcanzándose valores de $\sim 30\%$ en aquellas zonas más alejadas de la costa (Fig. 4). El menor valor de ε se observa en el interior de las Rías Baixas (Fig. 4a), donde $\varepsilon < 10\%$. Valores algo mayores ($\varepsilon < 15\%$) se registran en la parte más oriental de la costa norte (Fig. 4c). Las zonas que presentan los valores más altos de ε ($\varepsilon \sim 25-30\%$) son aquellas que se encuentran en la costa noroeste, en frente de Costa da Morte y Costa Ártabra (Fig. 5b y 5c).

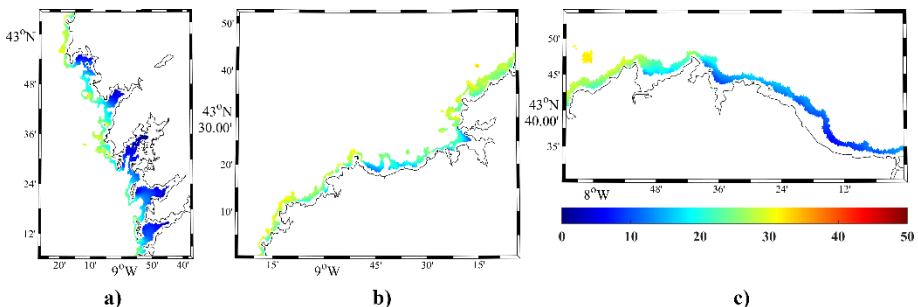


Fig. 4: Factor de carga de potencia (ε , en %) de Wave Dragon en la costa oeste (a), la costa noroeste (b) y la costa norte (c) para el periodo 2014-2021.

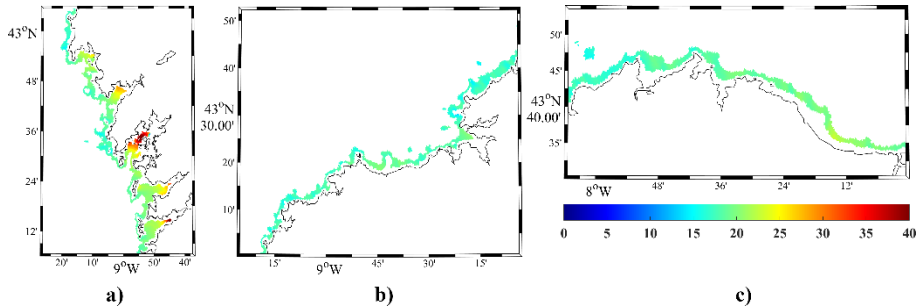


Fig. 5: Eficiencia (en %) de Wave Dragon en la costa oeste (a), la costa noroeste (b) y la costa norte (c) para el periodo 2014-2021.

4. DISCUSIÓN

La energía de las olas es una energía renovable prometedora debido a su alta estabilidad, previsibilidad y densidad de potencia. Sin embargo, ha encontrado muchas dificultades como la falta de consenso a la hora de decidirse por la tecnología líder, el conflicto con otras actividades socioeconómicas y el alto coste (Aderinto & Li, 2019). Pese a ello, se espera que los avances tecnológicos permitan la instalación de parques de energía undimotriz en las próximas décadas. El presente estudio pone de manifiesto el gran potencial que tiene Galicia para convertirse en una región generadora de energía undimotriz. En general, los resultados han mostrado que el mayor recurso de olas se encuentra en la parte más al norte de la costa oeste, la costa noroeste y la parte más al oeste de la costa norte. Esto se debe principalmente a que el oleaje tiene una dirección noroeste (Carmeáns Rodríguez et al., 2014), y estas áreas están más expuestas al oleaje, como se señaló anteriormente en Iglesias et al. (2009). La distribución espacial del recurso undimotriz y sus valores son muy similares a los mostrados en Carmeáns Rodríguez et al. (2014), Iglesias et al. (2009) y Ribeiro et al. (2020) para otros periodos diferentes.

Los WECs utilizan solamente parte del recurso undimotriz disponible para producir electricidad. La potencia eléctrica capaz de producir el WEC depende de su matriz de potencia y de la probabilidad de ocurrencia de los estados de mar. Atendiendo a la matriz de potencia de Wave Dragon (Silva et al., 2013), cuya P_{\max} es de 7000 kW, se esperaría un alto P_E en comparación con otros dispositivos como Oyster, Pelamis o AquaBuoy, que presentan valores de potencia más bajos en sus respectivas matrices de potencia (Silva et al., 2013). Esto explica los altos valores de P_E para Wave Dragon en comparación con los de AquaBuoy o Pelamis mostrados en Ribeiro et al. (2020). El patrón de P_E observado en todos los WEC es muy similar al recurso undimotriz, de modo que P_E va decreciendo hacia la costa. Por esa razón se puede pensar que es mejor instalar parques undimotrices alejados de la costa. Sin embargo, la instalación de parques marinos lejos de la costa conlleva un aumento de los costes de instalación y mantenimiento, por lo que se debe buscar un equilibrio entre una alta producción energética y la proximidad a la costa. La instalación de parques de dispositivos Wave Dragon parece ser mejor opción que la de AquaBuoy o Pelamis, debido a su P_E y la profundidad de instalación recomendada. En particular, parece probable que la costa noroeste sea la región más adecuada para esa instalación.

El factor de carga de potencia (ϵ) proporciona una aproximación del nivel de aprovechamiento del dispositivo, ya que compara la energía eléctrica obtenida con la energía máxima que puede producir. Los valores de ϵ encontrados para AquaBuoy para el periodo 1979-2005 en Ribeiro et al. (2020) son similares a los hallados con el presente estudio para Wave Dragon, aunque Wave Dragon presenta valores ligeramente mayores en la Costa da Morte y la Costa Ártabra. La similitud entre los valores de ϵ de ambos dispositivos puede justificarse porque pese a que la P_E de Wave Dragon es dos órdenes de magnitud mayor que la de AquaBuoy, también la potencia máxima de AquaBuoy es menor que la de Wave Dragon. El otro parámetro para estimar el rendimiento de un WEC es la eficiencia. La eficiencia representa el rendimiento a la hora de aprovechar el recurso undimotriz, teniendo en cuenta las dimensiones del WEC. Los resultados han mostrado que la eficiencia aumenta hacia la costa. Una posible explicación es que el recurso undimotriz es mucho mayor que la P_E observada en alta mar porque la P_E depende de las limitaciones del WEC y no considera los estados de oleaje más energéticos, mientras que el recurso undimotriz sí lo hace. La similitud entre el recurso undimotriz y P_E también es observable cerca de la costa.

Es importante considerar además aspectos medioambientales y humanos a la hora de elegir el mejor dispositivo y el área de instalación. Aunque el análisis de las cuestiones jurídicas queda fuera del alcance del presente análisis, es importante mencionar que Galicia cuenta con un gran número de puertos distribuidos por todo el litoral y lugares de interés medioambiental y pesquero como el Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia y la reserva marina de Os Miñarzos en las Rías Baixas (*Intecmar.*, s. f.; *Reserva marina de interés pesquero.*, s. f.), o la Zona de Protección de Aves de la Costa da Morte (ZEPA) en la costa noroeste (*Intecmar.*, s. f.). De hecho, se puede observar que prácticamente todo el litoral gallego está bañado por Parques Naturales y Nacionales, Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), reservas marinas de interés pesquero, ZEPA y humedales RAMSAR (*Intecmar.*, s. f.; *Localizador de portos EPPG.*, s. f.; *Zona Especial Protección para las Aves - ZEPA.*, s. f.). Afortunadamente, Wave Dragon está apenas por encima del nivel del mar (Pecher & Kofoed, 2017), por lo que no tienen que influir negativamente en las rutas de vuelo de las aves.

Dispositivos como Aqua Buoy o Pelamis tienen la ventaja de que pueden instalarse lejos de otras actividades socioeconómicas y lugares ambientales importantes, generalmente ubicados cerca de la costa. Sin embargo, la instalación lejos de la costa puede llevar a subir los costes de instalación y mantenimiento. Wave Dragon tiene la ventaja de que se puede ubicar algo más cerca de la costa, evitando conflictos con ciertas actividades socioeconómicas. Además, opera a profundidades que permiten su instalación lo suficientemente lejos de la costa como para evitar zonas de interés ambiental. Las posibles ubicaciones serían cerca de estructuras artificiales como, por ejemplo, puertos donde el impacto visual y el conflicto con otras actividades sean menos significativos. Un posible emplazamiento podría estar cerca del Puerto Exterior de A Coruña en Punta Langosteira. La instalación cerca de puertos puede reducir los costes de mantenimiento (Price et al., 2009). Por ello, Wave Dragon parece ser una buena opción para implantar la energía undimotriz en la costa gallega.

REFERENCIAS

- Aderinto, T., & Li, H. (2019). Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters. *Energies*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/en12224329>
- Arguilé-Pérez, B., Ribeiro, A. S., Costoya, X., deCastro, M., Carracedo, P., Dias, J. M., Rusu, L., & Gómez-Gesteira, M. (2022). Harnessing of Different WECs to Harvest Wave Energy along the Galician Coast (NW Spain). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/jmse10060719>
- Bozzi, S., Archetti, R., & Passoni, G. (2014). Wave electricity production in Italian offshore: A preliminary investigation. *Renewable Energy*, 62, 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.030>
- Carmeáns Rodríguez, M., Suárez Rey, R., Arean Varela, N., Suárez Bilbao, M., Carracedo García, P., & Gómez Hombre, B. (2014). *Atlas de oleaje de Galicia. Caracterización del oleaje costero con alta resolución*. https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/meteo/proyectos/energymare/AtlasOndas_Galicia.pdf
- General Assembly. (2017). *Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017*. A/RES/71/313.
- IDAE. (2020). *Eólica marina y energías del mar en España*. IDAE. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/eolica/eolica-marina/eolica-marina-y-energias-del-mar>
- IEA. (2021). *World Energy Balances: Overview*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>
- Iglesias, G., López, M., Carballo, R., Castro, A., Fraguera, J. A., & Frigaard, P. (2009). Wave energy potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, 34(11), 2323-2333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.030>
- Intecmar. (s. f.). Intecmar. Recuperado 23 de enero de 2022, de <http://ww3.intecmar.gal/intecmar/>
- La Camera, F. (2020, septiembre 4). *IRENA chief: Europe is 'the frontrunner' on tidal and wave energy*. <https://www.euractiv.com/section/energy/interview/irena-chief-europe-is-the-frontrunner-on-tidal-and-wave-energy/>
- Localizador de portos EPPG. (s. f.). Portos de Galicia. Recuperado 23 de enero de 2022, de <https://portosdeg Galicia.gal/es/web/portos-de-galicia/locportos>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). *T. Wa terfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- MITECO. (2021). *Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España*. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/211210hreolicamarinayenergiasdelmarespana_tcm30-533945.pdf
- Mota, P., & Pinto, J. (2014). Wave energy potential along the western Portuguese coast. *Renewable Energy*, 71, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.039>
- Pecher, A., & Kofoed, J. P. (2017). *Handbook of ocean wave energy*. Springer Nature.

- Price, A. A. E., Dent, C. J., & Wallace, A. R. (2009). On the capture width of wave energy converters. *Applied ocean research*, 31(4), 251-259.
- Puertos del Estado. (s. f.). *Predicción de oleaje, nivel del mar; Boyas y mareografos*. Recuperado 22 de enero de 2022, de <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- Reserva marina de interés pesquero*. (s. f.). Mar sostenible. Recuperado 23 de enero de 2022, de <https://www.marsostenible.com/reserva-marina-de-interes-pesquero/>
- Ribeiro, A. S., deCastro, M., Rusu, L., Bernardino, M., Dias, J. M., & Gomez-Gesteira, M. (2020). Evaluating the Future Efficiency of Wave Energy Converters along the NW Coast of the Iberian Peninsula. *Energies*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/en13143563>
- Rusu, E. (2014). Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments. *Energies*, 7, 4002-4018. <https://doi.org/10.3390/en7064002>
- Silva, D., Rusu, E., & Soares, C. G. (2013). Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore. *Energies*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/en6031344>
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography* (September 2008 Edition). Robert H. Stewart, Texas A&M University.
- THREDDS Data Server*. (s. f.). Recuperado 22 de enero de 2022, de http://mandeo.meteogalicia.gal/thredds/catalog/modelos/SWAN_HIST/galicia/catalog.html
- Zona Especial Protección para las Aves—ZEPA*. (s. f.). INDEMARES. Recuperado 23 de enero de 2022, de <https://www.indemares.es/areas-marinas/zona-especial-proteccion-para-las-aves-zepa>