

Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote

G.N. Marichal
nicomar@ull.edu.es;

D. Avila
davidapr@ull.es

A. Hernández
ahernand@ull.edu.es

I. Padrón
ipadron@ull.es

J. A. Rodríguez
jandas@ull.edu.es.

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval, Universidad de La Laguna. C/ Avda. Francisco Larroche s/n. 38071. Santa Cruz de Tenerife, España.

Resumen.

En el siguiente trabajo de investigación se realiza una caracterización de los potenciales del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote, llevando a cabo una modelización de los mismos. Para alcanzar dicho objetivo se utilizan las series temporales del oleaje para aguas profundas facilitadas por “Puertos del Estado” (1996- 2016). El estudio establece un mapa de recursos undimotrices a partir de la información disponible, determinando zonas de interés que posteriormente podrán ser analizadas con mayor precisión. Se presenta un sistema Neuro-Fuzzy Genético con el objetivo de predecir los valores energéticos undimotrices de ciertos puntos, a partir de los valores conocidos de los puntos WANA cercanos.

Palabras Clave: Predicción, energía renovable, undimotriz, Lanzarote, Fuerteventura, Inteligencia Artificial.

1. Introducción.

En las islas Canarias, la promoción de las energías renovables se plantea como una de las claves de la política energética regional dirigida a la reducción de la dependencia energética de los combustibles fósiles importados y reducción de sus emisiones. Es por lo que desde hace varias décadas se viene trabajando en

varios centros de investigación y proyectos pilotos existentes en el archipiélago. Todo este esfuerzo ha traído consigo que al día de hoy Canarias sea un referente a nivel mundial en la implementación de las energías limpias, sin embargo las mismas están prácticamente circunscritas a la energía eólica onshore y solar fotovoltaica.

Aunque en España, como en el resto del mundo, aún no se aprovecha la energía de las olas de forma comercial, existiendo solo algunos proyectos a escala experimental. El desarrollo de tecnología nacional para diferentes prototipos, y proyectos de desarrollo de varios centros de pruebas permite pensar en un importante desarrollo industrial en el área de energías marinas en un futuro, pudiendo llegar a situar a España entre los principales productores de undimotriz a escala mundial.

Es por lo que se hace necesario el estudio de las energías provenientes del mar en el territorio español, tal es el caso del archipiélago canario el cual presenta un escenario ideal para el desarrollo del sector de las energías renovables marinas, especialmente las provenientes de las olas (*undimotriz*), tanto por su elevado potencial energético, como, por la especial situación geográfica de las islas, que con sus redes eléctricas aisladas y una dependencia casi total de los combustibles fósiles, hacen necesaria la introducción de nuevas fuentes de energías renovables.

Las Islas Canarias presentan 1.583 km de costa, lo que representa un 20 % del litoral español. Esto hace suponer que el archipiélago dispone de un importante potencial de energía undimotriz, especialmente en su costa norte, expuesta directamente al oleaje del Océano Atlántico Norte [1].

El potencial promedio anual en la costa norte de las islas está próximo a los 20 kW/m, situando a Canarias en segundo lugar en el ranking nacional en cuanto al contenido de energía media anual neta (TWh/año), tan solo por detrás de Galicia [1].

El archipiélago canario se origina de una naturaleza volcánica, como consecuencia de este fenómeno, las islas más antiguas: Lanzarote, Gran Canarias y Fuerteventura presentan una plataforma continental más amplia. No siendo de igual modo para las islas más recientes (La Palma y El Hierro) que presentan perfiles muy abruptos, sin apenas plataforma.

Tomando en consideración lo antes expuesto, el presente trabajo propone una caracterización de los potenciales undimotrices en la isla de Lanzarote y Fuerteventura, para lo cual se realizará una modelización de los mismos.

La investigación se centra en la evaluación de potenciales energéticos, no valorando ninguna tecnología específica. Tampoco se tendrán en cuenta criterios como los medioambientales, zonas protegidas (rutas de navegación, zonas de pesca, zonas de ejercicios militares, zonas de recreación, etc.), autorizaciones, licencias o permisos.

Se presenta un sistema Neuro-Fuzzy Genético con el objetivo de predecir los valores energéticos undimotrices de ciertos puntos, a partir de los valores conocidos de los puntos de simulación del oleaje de tercera generación (puntos WANA) más cercanos.

Los actuales modelos de predicciones del comportamiento del oleaje son capaces de entregarnos variables como: altura significativa de la ola, periodo medio, dirección media del oleaje, etc. Estos modelos son de gran ayuda para obtener valores orientativos a la hora de realizar cálculos de tipo energéticos, no siendo así cuando lo que se desea es instaurar un sistema de captación de energía de las olas, especialmente en las Islas Canarias. Esto se debe en gran medida a la escases de boyas para la toma de datos reales en el archipiélago, siendo inexistentes en las islas más orientales.

2. Materiales y métodos.

Los sistemas de captación energética del oleaje, son dispositivos que transforman la energía del oleaje en energía útil. Estos sistemas tienen que ser capaces de resistir los embates del mar y funcionar eficientemente para las amplias gamas de frecuencia y amplitud de las olas.

El grado de desarrollo tecnológico alcanzado hasta el momento es todavía insuficiente para hacer de esta una fuente de obtención de energía eléctrica competitiva. A pesar de eso, ya se ha comprobado que en sistemas marinos pueden existir grandes diferencias entre las inversiones iniciales de explotación y mantenimiento de proyectos: onshore, nearshore y offshore. Los costes de cimentación, anclaje y de las subestructuras en aguas marinas profundas pueden llegar a encarecer los proyectos entre un 15 % y un 20 % [2,3].

Tal y como se muestra en la Figura 1, Lanzarote y Fuerteventura presentan una plataforma continental más amplia que el resto de las islas, contando con una menor batimetría, lo que propicia el aprovechamiento de los recursos undimotrices en la región seleccionada, disminuyendo los costes asociados a la construcción y mantenimientos de los dispositivos de captación. Se puede destacar la baja frecuencia de eventos extremos del oleaje cercanos a ambas islas.

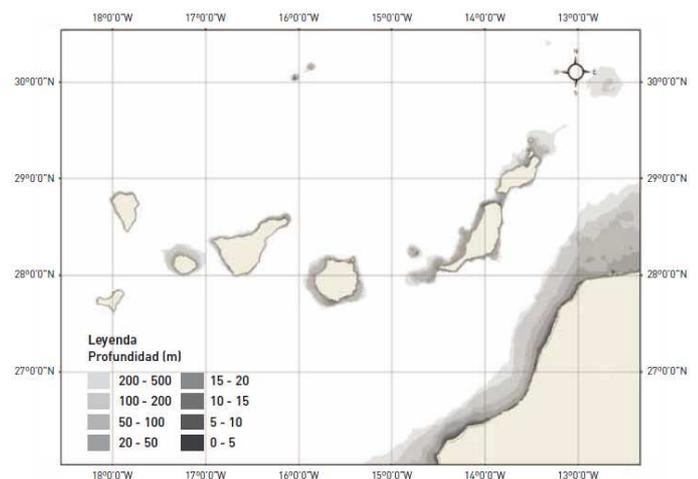


Figura 1. Batimetría de las Islas Canarias.

2.1 Toma de datos experimentales.

Para conseguir el objetivo que se persigue en este trabajo de investigación, el primer paso a llevar a cabo fue precisar una o varias fuentes fiables donde obtener los datos históricos de olas.

Estos datos fueron obtenidos a partir del “Organismo Público Puertos del Estado” (OPPE) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), los cuales facilitaron las series temporales de olas desde 1996 hasta el 2016.

En la actualidad, Puertos del Estado cuenta con una importante red de boyas para la toma de datos reales, pero estos sensores suelen estar vinculados en la mayor parte de los casos a instalaciones portuarias, no existiendo ninguna boya en las islas orientales de canarias, lo que dificulta el estudio de las regiones de interés a partir de mediciones reales [4].

Teniendo en consideración este inconveniente, la toma de datos de las olas en las aguas rodean a Lanzarote y Fuerteventura se realizará a partir de los resultados ofrecidos por la aplicación del modelo numérico (WANA) de simulación del oleaje de tercera generación en determinados puntos del litoral español, ofrecido por Puertos del Estado. La versión del modelo WANA utilizada en el Atlántico, para la predicción de olas, es de aguas profundas (más de 200 metro de profundidad) [4]. La decisión de tomar estos puntos WANA se basa principalmente en la necesidad de obtener valores energéticos que no estén afectados por ningún fenómeno producido por los fondos marinos. En estudios posteriores se podrá precisar la influencia de estos fenómenos en los potenciales energéticos marinos.

La Figura 2 detalla el espaciamiento de la malla considerada, en la misma se indica la ubicación y la nomenclatura de cada uno de los puntos de simulación WANA seleccionados para el estudio.

La Tabla 1 da a conocer los puntos de simulación WANA analizados y sus coordenadas en el Océano Atlántico Norte.



Figura 2. Puntos WANA seleccionados para el estudio en la isla de Lanzarote y Fuerteventura.

Tabla.1. Puntos WANA y sus coordenadas (Isla de Lanzarote y Fuerteventura).

Puntos WANA	Long.	Latitud.	Puntos WANA	Long.	Latitud.
1027018	13,25°W	29,50°N	1023014	14,25°W	28,50°N
1027016	13,25°W	29,00°N	1021012	14,75°W	28,00°N
1026018	13,50°W	29,50°N	1021013	14,75°W	28,00°N
1026015	13,50°W	28,75°N	1022013	14,50°W	28,25°N
1025018	13,75°W	29,50°N	1022011	14,50°W	27,75°N
1025017	13,75°W	29,25°N	1023011	14,25°W	27,75°N
1025015	13,75°W	28,75°N	1024012	14,00°W	28,00°N
1024016	14,00°W	29,00°N	1025013	13,75°W	28,25°N
1023015	14,25°W	28,75°N	1025014	13,75°W	28,50°N

Para la determinación de los potenciales undimotrices de la región en estudio, se toma la malla formada por dieciocho puntos WANA que se encuentran distribuidos alrededor de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. A partir de los datos de altura significativa de las olas y sus periodos se procede a los cálculos.

2.2. Cálculo de la energía undimotriz.

Establecidos los puntos WANA para el estudio, se procede a determinar de forma orientativa cuáles de ellos pueden ser factibles para la explotación de la energía de las olas. Se realiza un análisis de los mismos y seleccionan los puntos que cumplen la siguiente condición: “la energía media de las olas ($E_{wave,med}$) es igual o mayor de 15,0 kW/m”.

Para determinar esta condición se emplea la ecuación:

$$E_{wave,med} = 0.8571A \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i^2 T_i \quad 2.1$$

en la que:

A es una contante ($0,34 \div 0,59$).

H es la altura significativa de la ola (m).

T es el período o tiempo de paso de dos olas consecutivas por una línea imaginaria a la mitad de la distancia entre la cresta y el valle (s).

n se presenta como el número de clase de los datos.

Determinados los puntos WANA que cumplen la condición, se procede al cálculo de los potenciales energéticos undimotrices (kWh/m). Para la realización de los mismos se ajustaron los datos de altura y el período de las olas a una distribución bidimensional, de la forma:

$$f(H,T) = \frac{k_1 k_2 \left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1-1} \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2-1}}{c_1 c_2 (1-c_{12}^2)} \exp\left[-\frac{\left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1} + \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2}}{1-c_{12}^2}\right] B_0\left[\frac{2c_{12} \left(\frac{H}{c_1}\right)^{k_1/2} \left(\frac{T}{c_2}\right)^{k_2/2}}{1-c_{12}^2}\right] \quad 2.2$$

donde B_0 es la función de Bessel de orden 0 y c_1 , k_1 , c_2 , k_2 y c_{12} son coeficientes de distribución.

El cálculo de la energía de las olas puede ser resuelta numéricamente mediante la ecuación 2.3. En dicha expresión se incluye el periodo considerado en el estudio, $t = 730$ h.

$$E_{wave} = 0.8571At \sum_{H=0}^{H_{max}-\Delta H} \sum_{T=0}^{T_{max}-\Delta T} (H^2 T p) \Big|_{H,T}^{H+\Delta H, T+\Delta T} \quad 2.3$$

siendo $p \Big|_{H,T}^{H+\Delta H, T+\Delta T}$, la densidad de probabilidad acumulada para la distribución bidimensional en el intervalo rectangular definido por los límites $[H, H + \Delta H]$ y $[T, T + \Delta T]$.

La distribución bidimensional utilizada en cada caso, se ajustó a partir de los datos de altura y período correspondientes a cada uno de los meses. Esto permite conocer los meses de mayores y menores potenciales undimotrices, pudiendo realizar una valoración de los mismos.

Es válido recordar que la energía que se determina en este estudio equivale al 100 % de la energía útil en cada punto WANA. Esta energía debe de ser transformada por un captador de energía undimotriz, por lo que se verá afectada por la eficiencia de transformación energética de dicho equipo.

2.3 Técnica inteligente para la predicción de valores energéticos.

Puesto que el objetivo es construir un sistema que sea capaz de predecir los valores de la energía undimotriz en ciertos puntos WANA, a partir de los valores conocidos de los puntos WANA cercanos, se ha decidido utilizar un sistema con capacidad de aprendizaje. Particularmente se ha empleado un algoritmo Neuro-Fuzzy Genético [5] con el que a través de entrenamiento se pueda alcanzar una adecuada generalización y por tanto sea capaz de proporcionar los valores de energía que existiría en los diferentes puntos WANA de interés.

Los datos de los que se disponen corresponden a los valores energéticos promedios en kWh/m.mes de cada uno de los puntos mencionados anteriormente para los 12 meses del año. Por tanto, los valores que formarán el conjunto de datos para la realización del entrenamiento serán esas potencias, junto con las coordenadas de cada punto, latitud y longitud, además de un indicativo del mes al que corresponde dicha energía. El algoritmo constará de tres entradas y una salida. Dado que se pretende comprobar que el sistema es capaz de predecir la energía, se reservarán los datos de dos puntos WANA. Eso quiere decir, que los datos energéticos de esos puntos no serán utilizados en el entrenamiento y se usarán al finalizar el proceso como referencia para analizar la capacidad de generalización del sistema.

El sistema Neuro-Fuzzy Genético empleado tiene una estructura similar a la propuesta por Jang [5,6], formada por tres capas. El algoritmo depende de tres parámetros que serán obtenidos mediante el proceso de entrenamiento. En particular, nos referimos a los centros de las funciones de pertenencia, su ancho y las salidas estimadas. Para alcanzar los mejores valores para estos parámetros el entrenamiento se

divide en tres fases. Las dos primeras son las encargadas de proporcionar los valores iniciales a algunos parámetros y de optimizar el número de nodos de la capa oculta, es decir, el número de reglas. Y la última fase reajusta los valores de los parámetros obtenidos en las fases anteriores.

En la primera fase se obtienen los valores iniciales de los centros de las funciones de pertenencia y de las salidas estimadas a través de la aplicación de un algoritmo basado en una Red Neuronal Artificial Kohonen [7]. Por otro lado, el vector inicial de pesos del mapa auto-organizativo se calcula a través de la media de los valores máximo y mínimo de las entradas proporcionadas. A continuación se determina el nodo 'ganador' para actualizar los pesos empleando un mapa auto-organizativo monodimensional. El número de vectores de pesos escogido corresponderá con el número de neuronas de la capa oculta del sistema Neuro-Fuzzy Genético. Una vez se ha determinado el nodo 'ganador' se calculan los nuevos pesos. Cada vector de pesos se asocia con cada neurona de la capa oculta, de manera que las funciones de pertenencia y las salidas estimadas se determinan por los componentes del vector de pesos asociados. Puesto que el número de nodos de la capa oculta está relacionado con el número de reglas, es necesario un proceso de optimización para obtener un número mínimo de reglas.

Una vez establecidos en la primera fase valores para los centros de las funciones de base radial y los valores estimados, en la segunda fase se debe decidir qué reglas asociadas a la capa oculta serían de interés en la resolución del problema y de cuales podríamos prescindir. En este sentido en esta fase del entrenamiento se introducen técnicas de algoritmos genéticos [8]. Se plantea tal como la elección de un cierto conjunto de reglas y un cierto conjunto de valores de las funciones de pertenencia, tomando los valores calculados en la fase previa. A estos individuos se les aplican operadores de cruce y mutación, obteniendo nuevas posibles soluciones (individuos). En este caso, se elige como función de costo, la evaluación del error a partir de los valores reales.

Finalmente, en la última fase del entrenamiento se ajustan los parámetros del sistema obtenidos en las fases anteriores. Se emplea el algoritmo de aprendizaje de mínimos cuadrados debido a la similitud de este sistema con una red de base radial [9]. Este algoritmo trata de minimizar la

función criterio establecida que analiza la diferencia entre las salidas proporcionadas y las deseadas.

3 Resultados y discusión.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la evaluación del potencial undimotriz en los diferentes puntos WANA. Los mismos se representan de forma gráfica, de modo que pueda visualizarse de manera más sistemática y resumida.

Para el análisis de la energía undimotriz, se parte de la obtención de los valores de la energía media de las olas para cada punto, a partir de series temporales de datos. Estos valores se muestran en la Figura 3.

Las barras blancas simbolizan los puntos WANA donde se cumple que la energía media undimotriz es mayor de 15 kW/m. Estos serían las ubicaciones factibles desde el punto de vista energético, sumando 10 en total. Los puntos representados con las barras negras son las localizaciones que se desecharán para el estudio, presentando una energía media menor de 15 kW/m. Los puntos WANA seleccionados para el cálculo de potencia de las olas se dan a conocer en la Tabla 2.

Tal y como se puede apreciar, las 10 zonas seleccionadas para el estudio se encuentran localizadas al norte y el noreste de las islas, de cara al Océano Atlántico Norte. Esto se debe a los potenciales energéticos renovables presentes en la región, dada la influencia de los vientos Alisios durante casi todo el año, la latitud donde se encuentran las islas y a la proximidad del anticiclón de las Azores.

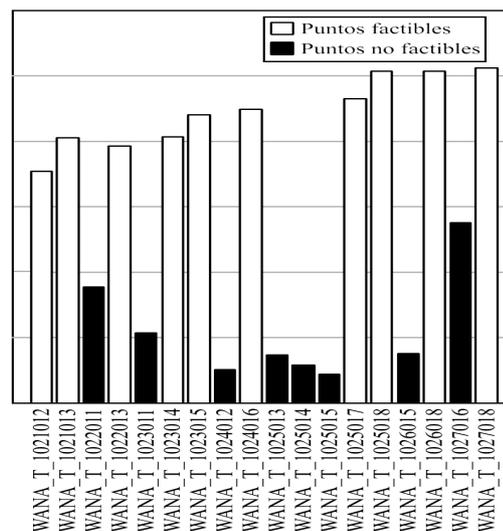


Figura 3. Potencia media del oleaje en Lanzarote y Fuerteventura.

Tabla.2. Puntos WANA seleccionados (energía media ≥ 15 kW/m).

Puntos WANA	Long.	Latitud	Puntos WANA	Long.	Latitud
1027018	13,25°W	29,50°N	1023015	14,25°W	28,75°N
1026018	13,50°W	29,50°N	1023014	14,25°W	28,50°N
1025018	13,75°W	29,50°N	1021012	14,75°W	28,00°N
1025017	13,75°W	29,25°N	1021013	14,75°W	28,00°N
1024016	14,00°W	29,00°N	1022013	14,50°W	28,25°N

3.1. Distribución probabilística bidimensional de Weibull.

En la Figura 4 se dan a conocer las distribuciones probabilísticas bidimensionales de Weibull para el oleaje durante el periodo de un año para algunos de los puntos WANA seleccionados (energía media ≥ 15 kW/m), la que depende del comportamiento de periodo de las olas (T) y la altura (H) de las mismas.

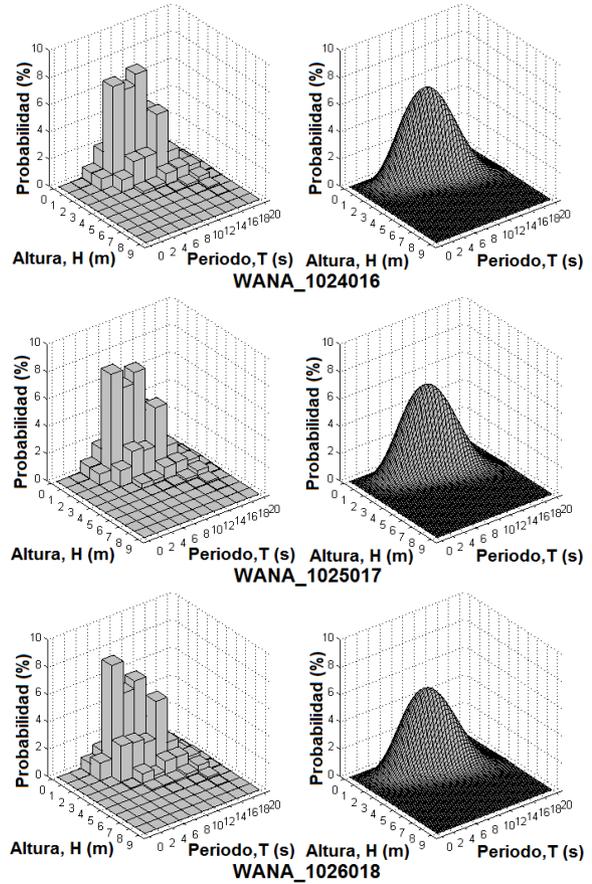
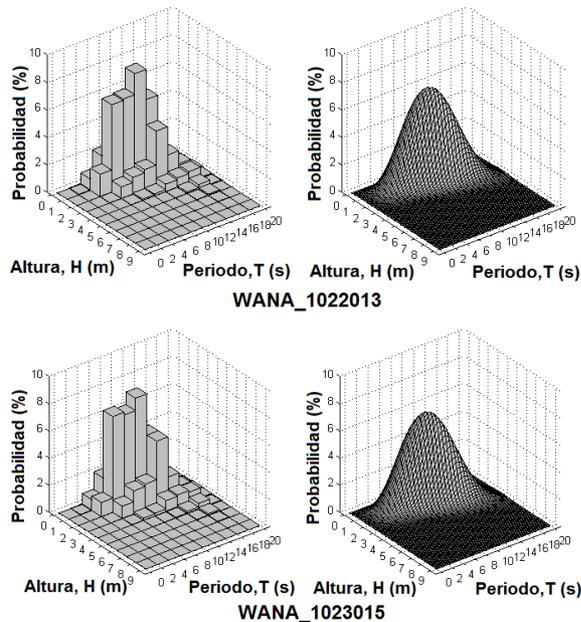


Figura 4. Distribuciones probabilística bidimensional de Weibull para los puntos WANA: 1022013; 1023015; 1024016; 1025017 y 1026018.

Al analizar el comportamiento de la distribución probabilística bidimensional anual del oleaje, es válido destacar que las mayores probabilidades ocurren con altura (H) de olas entre 1,0 y 2,0 metros y periodos (T) entre 6,0 y 14,0 segundos. Las menores coincidencias pueden ocurrir con valores de altura muy bajos (0÷1,0) y valores entre 3,0 y 7,0 metros con periodos que pueden ir desde los 2,0 hasta los 20 segundos.

3.2. Energía de las olas.

El cálculo de la potencia de las olas se desarrolla a partir de la distribución probabilística bidimensional de Weibull. El tiempo considerado en el estudio es de un mes (730 h). La energía será dada en función de los metros lineales (kWh/m mes). La Figura 5 muestra los valores mensuales que puede llegar a alcanzar la potencia undimotriz para cada uno de los cinco puntos WANA analizados en la Figura 4.

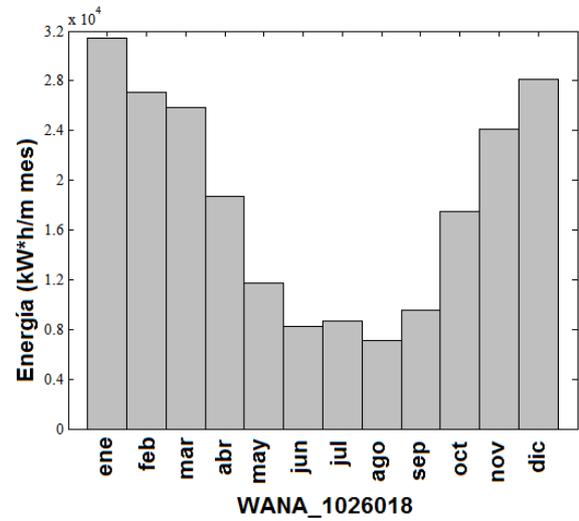
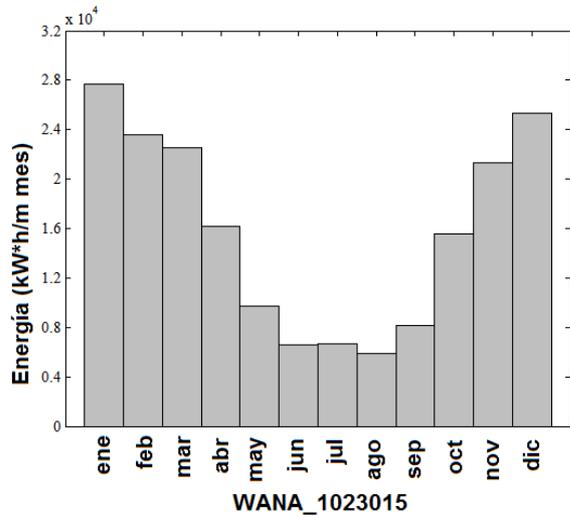
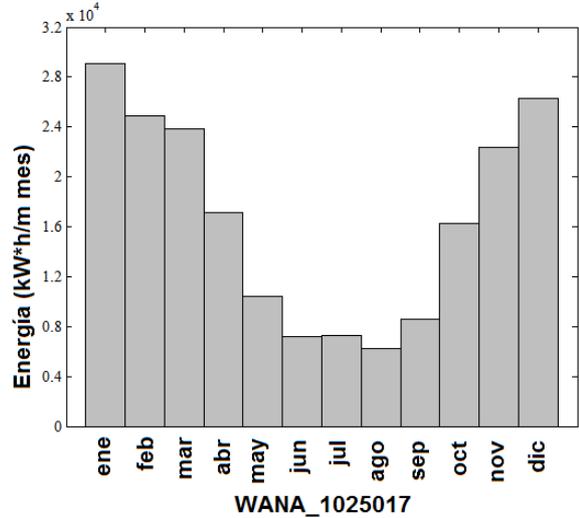
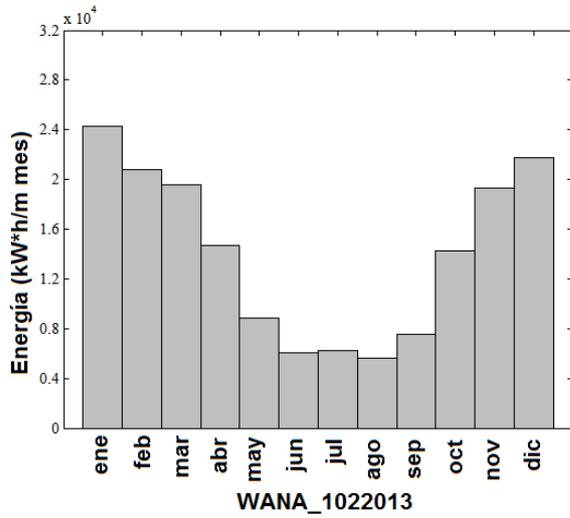
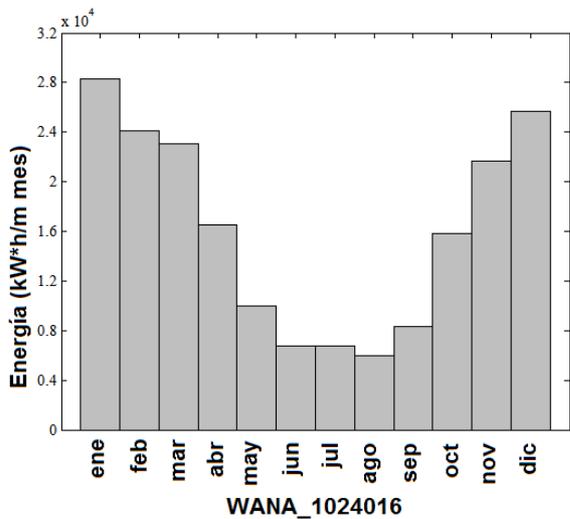


Figura 5. Energía undimotriz por meses del año (kWh/m mes) en los puntos WANA: 1023015; 1022013; 1024016; 1025017 y 1026018.



En todas las gráficas de barras que se muestra en la Figura 5, se observa que en los puntos WANA analizados, los mayores valores energéticos procedentes de las olas ocurren en los meses de invierno: diciembre y enero, con valores que pueden oscilar entre los 21,75 y los 31,75 MWh/m mes. El mes de agosto es el que presenta menores aportes de energía, con valores que rondan entre los 5,61 y los 7,3 MWh/m mes.

La suma total de la potencia de las olas que puede llegar a incidir por metro lineal durante el transcurso de un año en cada uno de los 10 puntos WANA analizados en el estudio se da a conocer en la Tabla 3.

Tabla 3. Energía de las olas por año (kWh/m año) en los 10 puntos WANA.

Puntos WANA	Energía undimotriz (kWh/m año)
1027018	220.541
1026018	217.996
1025018	217.561
1025017	199.482
1024016	192.888
1023015	188.989
1023014	174.741
1021012	151.826
1021013	173.817
1022013	168.979

En la tabla anterior aparecen los valores energéticos anuales procedentes de las olas que tienen lugar en los diferentes puntos analizados. Tal y como se muestra, los potenciales oscilan aproximadamente entre los 152,0 y los 220,5 MWh/m año. El punto WANA de mayores potenciales es el 1027018 con 220.541 kWh/m año, siendo este uno de los más orientales de todos los puntos estudiados.

4 Predicción de valores energéticos.

Una vez se han concluido las tres fases del entrenamiento expuestas en la sección 2.3, se introducen valores que el sistema desconoce. En este caso se han reservado los datos vinculados a los puntos WANA 1026018 y 1022013 de Lanzarote y Fuerteventura respectivamente. Esto quiere decir, que le indicaremos al sistema Neuro-Fuzzy entrenado las coordenadas y el mes de estos puntos WANA y nos proporcionará un valor orientativo de su energía undimotriz.

En las tablas 4 y 5 se muestra la comparación entre los valores que proporciona el sistema y las salidas esperadas, que corresponden con las mediciones reales sobre ese punto en kWh/m.mes para cada uno de los meses del año. Hay que hacer hincapié en que los valores de las entradas son desconocidos, lo que quiere decir que el sistema no los ha utilizado para entrenarse.

Tabla 4. Comparación entre salida real y la salida del Neuro-Fuzzy para el punto WANA 1026018.

Punto WANA 1026018	
Salida real (kWh/m mes)	Salida proporcionada (kWh/m mes)
31.437	28.000
27.055	25.000
25.827	25.000
18.716	22.000
11.687	20.000
82.81	15.000
86.74	10.000
71.16	11.000
95.25	11.000
17.464	20.000
24.131	25.000
28.083	25.000

Tabla 5. Comparación entre salida real y la salida del Neuro-Fuzzy para el punto WANA 1022013.

Punto WANA 1022013	
Salida real (kWh/m mes)	Salida proporcionada (kWh/m mes)
24.257	25.000
20.773	25.000
19.570	21.000
14.659	11.000
8.888	11.000
6.102	9.000
6.240	9.000
5.609	10.000
7.571	10.000
14.272	10.000
19.289	22.000
21.749	25.000

Analizando ambas tablas se puede comprobar que el sistema Neuro-Fuzzy Genético ha alcanzado un nivel de generalización satisfactorio. La mayor parte de los resultados presentan variaciones en torno al 10 % con respecto al valor energético real. Aquellos que muestran mayores diferencias son los resultados 5 y 6, correspondientes a mayo y junio, en el punto WANA 1026018, y el dato número 8, que se corresponde con el mes de agosto, en el punto WANA 1022013. En referencia a estas grandes variaciones, próximas al 50 %, hay que hacer hincapié en que el estudio energético que se realiza en los distintos puntos WANA pretende analizar la viabilidad de esos puntos para la instalación de captadores, por lo tanto se realizará un estudio general anual y no únicamente un análisis de un mes

en particular. De esta manera, aunque el sistema muestre en algunos meses valores energéticos muy diferentes a los que debe indicar, al examinar el conjunto de los valores proporcionados a lo largo de todo un año, el sistema Neuro-Fuzzy Genético es capaz de realizar un buen análisis global.

5 Conclusiones.

1- Los mayores valores energéticos procedentes de las olas en los puntos WANA seleccionados ocurren en los meses de invierno: diciembre y enero, con valores que oscilan entre los 18,65 y los 31,75 MWh/m mes.

2- El mes de agosto es el que presenta menores aportes de energía para todos los puntos WANA, con valores que rondan entre los 5,5 y los 7,3 MWh/m mes.

3- Los valores energéticos anuales procedentes de las olas que se pueden obtener en cada uno de los puntos WANA analizados oscilan aproximadamente entre los 152,0 y 220,5 MWh/m año.

4- El punto WANA que presenta mayores potenciales de los analizados es el 1027018 con 220.541 kWh/m año, siendo el más oriental de todos los puntos estudiados.

5- Estos primeros resultados nos permiten determinar el interés que dichas zonas tienen de cara a hacer un estudio más exhaustivo en términos de poder evaluar la posibilidad de aprovechamiento de dichos potenciales por medio de diferentes dispositivos de captura de energía undimotriz.

6- En este estudio se ha analizado una técnica basada en algoritmos de inteligencia artificial al objeto de determinar un posible predictor de energía de las olas que vaya más allá de los puntos de malla calculado.

7- Los resultados ponen de manifiesto la conveniencia de la herramienta, si bien es necesario seguir realizando un estudio incorporando nuevas variables que hagan más efectivo el predictor, incluyendo adicionalmente aspectos socio-económicos y medioambientales que tienen un papel importante en la rentabilidad y viabilidad de emplazamiento de un capturador de energía undimotriz en esas localizaciones específicas.

Agradecimientos.

“Este trabajo ha sido cofinanciado por fondos FEDER, Programa Interreg MAC 2014-2020, en el marco del proyecto DESAL+ (MAC/1.1a/094)” y por el Proyecto Nacional DPI2015-69325- C2-2-R (MINECO/FEDER, UE).

Referencias

- [1] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), (2010). Evaluación del potencial de la energía de las olas. Estudio Técnico. PER 2011-2020.
- [2] Aranzadi, P., (2010). Valoración del entorno de simulación SESAM para el diseño de una estructura marina de tipo celosía. Trabajo de titulación de Ingeniero Industrial, Universidad pública de Navarra.
- [3] Ruiz, J. P., 2007. Aprovechamiento de la Energía de las Olas. Robotiker-TECNALIA (2da Jornada Internacional sobre Energía Marina), Bilbao
- [4] Puertos del Estado, 2017. Conjunto de datos WANA: http://calipso.puertos.es//BD/informes/INT_WANA.pdf
- [5] Marichal GN, Del Castillo ML, López J, Padrón I, Artés M. (2016) “An Artificial Intelligence Approach for Gears Diagnostics in AUVs. Wang X, ed. Sensors.” (Basel, Switzerland), 16(4):529. doi:10.3390/s16040529.
- [6] Jang, J.R. (1993) ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Trans. Syst. Man Cybernetics, 23, pp. 665–685.
- [7] Kohonen T., (2001) Self-Organizing Maps. Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- [8] Goldberg D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, January 1989
- [9] Chen, Cowan C. F. N., and Grant P. M., (1991) “Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks,” IEEE Trans. Neural Networks, vol. 2, no. 2, Mar., pp. 302-309.