

Impacto visual de parques eólicos marinos dentro de un sistema de soporte a la toma de decisiones



Visual impact assessment of offshore wind farms in a decision support system



Joaquín López-Uriarte¹, José-Andrés Díaz-Severiano¹, Cristina Manchado-del-Val¹, Valentin Gomez-Jauregui¹, Xabier Guinda-Salsamendi², Agustín Monteoliva-Herreras³ y César Otero-González¹

¹ Universidad de Cantabria. Grupo de I+D+i EgiCAD. Dpto. Ing. Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica. Avda. Los Castros, 44 - 39005 Santander, Cantabria (España).

² Environmental Hydraulics Institute. Universidad de Cantabria. Avda. Isabel Torres, 15. Parque Científico y Tecnológico de Cantabria - 39011 Santander (España).

³ Ecohydros S.L. Polígono de Cros, Edificio 5 - 39600 Maliaño, Cantabria (España).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9238> | Recibido: 02/05/2019 • Inicio Evaluación: 20/05/2019 • Aceptado: 17/07/2019

ABSTRACT

- Onshore or offshore renewable energy helps to obtain energy in a sustainable manner. However, the deployment of both alternatives can damage the environment with different kind of impacts. For this reason, the place to construct these infrastructures must take into account all related impacts. In this way, Decision Support Systems (DSS) are useful tools. In this paper, a methodology to introduce a visual impact indicator into a DSS for the Environmental Impact Assessment of Offshore Renewable Energy (AMBEMAR) is shown. This DSS is also described. This methodology is adjusted to DSS requirements and flexible to any study case. The result is one visual impact index calculated through a multicriteria analysis that can be used to compare different cases. This methodology is applied to a study case located in the coast in front of Cantabria region (Spain). Two hypothesis of wind farms and other two possible locations for its electric transforming substations are analysed from visual impact point of view. The method shows that furthest wind farm has the lowest impact but indices have a slight variation in both cases.
- Keywords:** DSS, visual impact, Spanish method, offshore wind farms, VIA, wind energy.

RESUMEN

Las energías renovables ayudan a obtener energía de forma sostenible, pero su emplazamiento también implica riesgos e impactos de diversa índole sobre el medioambiente, tanto en el ámbito marítimo como en el terrestre. Por ello, se deben tomar decisiones que tengan en cuenta estos tipos de impacto. Para facilitar este laborioso trabajo son útiles los Sistemas de Soporte a la toma de Decisiones (DSS). En este artículo se presenta el módulo para la valoración del impacto visual incluido en un DSS para la Evaluación de Impacto Ambiental de las Energías Renovables Marinas AMBEMAR-DSS. El índice de impacto visual que se presenta es aplicable a las características geográficas de cualquier área de estudio, y puede ser empleado dentro de los requisitos establecidos por el DSS. La metodología se sintetiza mediante un análisis multicriterio para obtener un único índice que permita comparar entre varias alternativas. Ésta es aplicada a dos hipótesis de parques eólicos situados a distintas distancias de la costa frente a la región de Cantabria (España); además, se analizan dos posibles ubicaciones de la subestación de transformación eléctrica desde el punto de vista del impacto visual. Con ello se obtiene que el par-

que eólico más lejano obtiene un menor impacto visual, aunque la variación de los índices es baja.

Palabras clave: DSS, impacto visual, Spanish method, parques eólicos marinos, VIA, energía eólica.

1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son una forma de reducir las emisiones de CO₂ al medio ambiente y una forma de generación energética sostenible. Presentan ventajas respecto a la generación de energía tradicional basada en el consumo de combustibles fósiles, aunque también producen impactos ambientales [1]. Centrándose en la energía eólica, actualmente en Europa las instalaciones marítimas están cada vez más presentes en comparación con las terrestres [2]. Parte de este cambio se debe a los impactos medioambientales, y principalmente, al incremento de la oposición social frente a esta fuente de energía debido a su impacto visual [3][4]. Aunque en la población también influyen otros aspectos como analizó Klain [5]. Al trasladar los parques eólicos al mar, la afección visual puede ser menor e incluso nula si se sitúan lo suficientemente lejos, aunque el coste de la energía eólica marina se incrementa con la distancia a la costa [6]. Para evitar el incremento del precio de la energía se deben buscar localizaciones costeras más cercanas, por lo que cambian los impactos ambientales y los agentes implicados [7].

Los efectos sobre el medio ambiente de un parque eólico marítimo son variados; por ello, el uso de un sistema de apoyo a la toma de decisión (DSS) ayuda al diseñador a decidir la mejor ubicación [8] teniendo en cuenta todas las afecciones que provocan. Existen algunos DSS, o sistemas multicriterio con posible implementación en DSS, enfocados a la energía eólica terrestre [9] [10][11] pero su uso no es habitual en la marítima. En algunos de ellos el impacto visual se usa como uno de los factores de diseño [10], aunque en otros no se considera, como en el caso realizado por Van Haaren [12] que sugiere que los parques eólicos una vez instalados tienen una mejor opinión pública que previamente a su instalación.

El impacto visual depende de varias variables como la distancia, el contraste o el tipo de paisaje entre otros [13]. Actualmente existen una gran variedad de métodos para evaluar el impacto visual de un parque eólico. En ellos se hace uso de encuestas que tratan de identificar las preferencias de la población [14] o de cuantificar económicamente el impacto [15], se crean mapas de restricciones [16], o bien, se hace uso de índices o indicadores

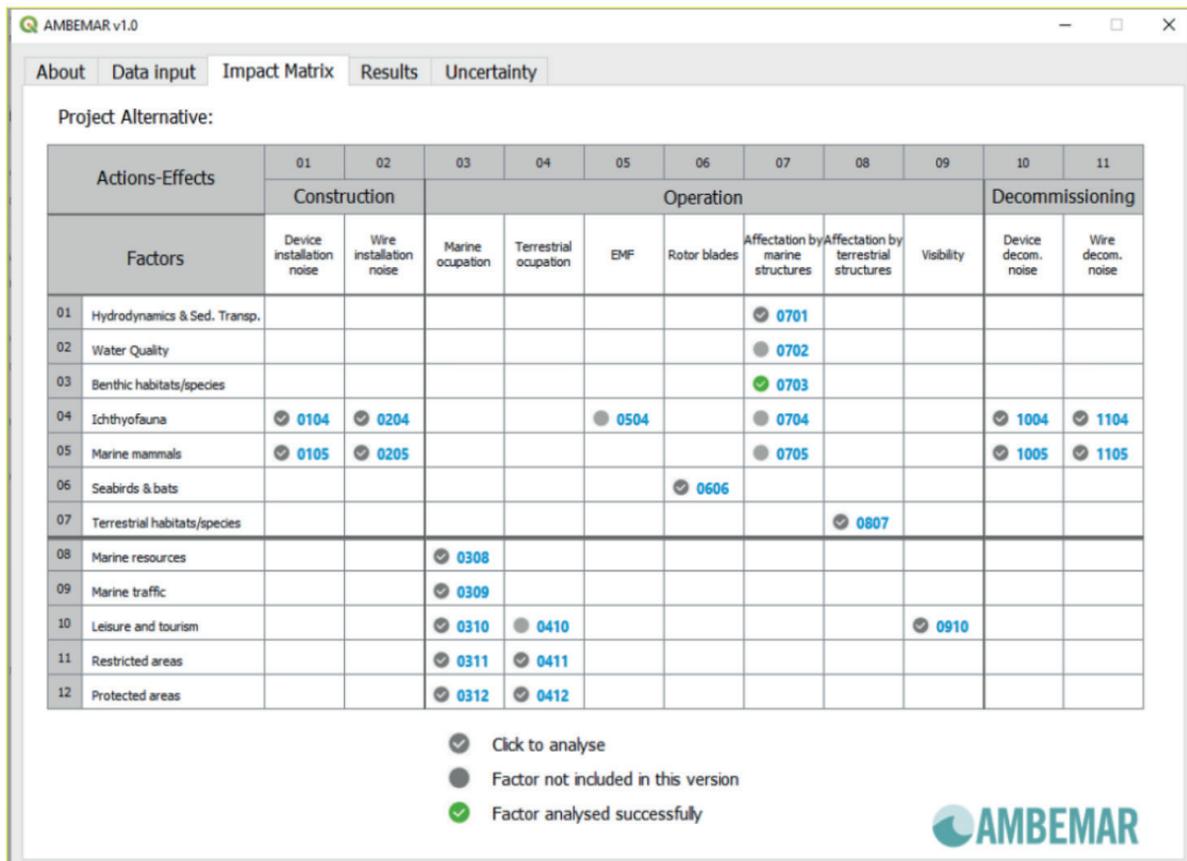


Fig. 1: Interfaz de AMBEMAR-DSS. Matriz de impactos de AMBEMAR-DSS v1.0

basados en cálculos geométricos como el MVE [17], el de Torres-Sibille [18], o el método español (SPM) [19], revisado como SPM2 por Manchado [20], y validado por Tsoutsos [21]. Además, existen algunos desarrollados específicamente pensados para el desarrollo de los DSS o inclusión en sistemas multicriterio [22][23].

La introducción de los indicadores del SPM dentro de un sistema DSS supone introducir la metodología de evaluación del impacto visual de la energía eólica durante la fase de diseño, y de esta forma, poder tener una visión transversal. En este artículo se describe como estos indicadores se pueden incluir dentro del nuevo software AMBEMAR-DSS.

El artículo se estructura como sigue: en el apartado 2 se describe el sistema AMBEMAR-DSS y en el apartado 3 se define la metodología para el cálculo del impacto visual. En el apartado 4 se presenta un caso de estudio, mostrando en el apartado 5 los resultados obtenidos. Por último, en el apartado 6 se ofrecen las conclusiones.

2. AMBEMAR-DSS

AMBEMAR-DSS es un sistema de soporte a la toma de decisiones para realizar valoraciones y análisis comparativos entre distintas alternativas de proyectos relacionados con las energías renovables marinas [24][25]. Consiste en un plugin para el software QGIS que permite aprovechar las ventajas de este SIG de código abierto [26]. Además, cuenta con una interfaz intuitiva y ágil para facilitar el uso del programa.

El objetivo principal del sistema es el análisis acciones del ciclo de vida de los proyectos de energías renovables marinas que pueden tener efectos negativos sobre los distintos factores ambientales y socioeconómicos para cada una de las fases de proyecto: construcción, operación y desmantelamiento. De esta forma se

obtiene una matriz de impactos simplificada como se puede ver en la fig. 1.

Los principales factores ambientales evaluados en este DSS son: la hidrodinámica marina y el transporte sedimentario, la calidad del agua, los hábitats y especies bentónicas, la ictiofauna, los mamíferos marinos, las aves marinas y los murciélagos y los hábitats y especies terrestres. En cuanto a los principales factores socioeconómicos, se incluyen: los recursos marinos, el tráfico marítimo, el ocio y el turismo, los espacios naturales protegidos y las áreas restringidas por usos diversos. Todos estos se agrupan en 6 categorías: ruido, ocupación terrestre y marina, electromagnetismo, acción de los rotores, afeción de las estructuras terrestres y marinas, y visibilidad.

Los factores ambientales mencionados anteriormente son desarrollados por tres equipos diferentes de expertos, modularizándolos de la siguiente forma:

- *Módulo de hábitats y especies:* en él se ha evaluado la flora y fauna de la zona de estudio. Para ello se han establecido una serie de criterios booleanos si son especies protegidas, y de lógica difusa si son de interés.
- *Módulo de impacto hidrodinámico y sedimentario:* se han fijado una serie de funciones que aportan el impacto sobre el fondo marítimo en función de la superficie afectada por socavamiento (*scouring*) y su profundidad.
- *Módulo de impacto visual:* evalúa la afeción sobre los paisajes marítimos en base al método español (SPM-SPM2). Este módulo es el objeto principal de este artículo.

La ejecución de este DSS entre tres equipos distintos se recurrió a un proceso iterativo en el que primero se realizó un análisis de los requisitos (RA) para valorar las diferentes características necesarias en el sistema. Con ello se consiguió un marco para el desarrollo del software. A continuación, se definieron las especi-

Criterio urbano	Criterio paisaje	Criterio itinerario
<ul style="list-style-type: none"> · Núcleos de población · Habitantes · Playas · Bienes de Interés Cultural (BIC) · Miradores · Villas monumentales. 	<ul style="list-style-type: none"> · Áreas de Interés Paisajístico (AIP) · Lugares de Interés Comunitario (LIC) · Áreas importantes para las aves y la biodiversidad (IBAs) · Parque Natural (P.N.) · Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) · Lugares de Interés Geológico (LIG) · RAMSAR 	<ul style="list-style-type: none"> · Carreteras · Grandes Rutas Litorales (GRL) · Pequeñas Rutas Litorales (PRL) · Ferrocarril · Camino de Santiago

Tabla 1: Distribución según los criterios de las capas de inventario obtenidas para el área de estudio definido por los parques eólicos. En el caso de la subestación el número de capas de inventario será menor debido a su menor radio de influencia

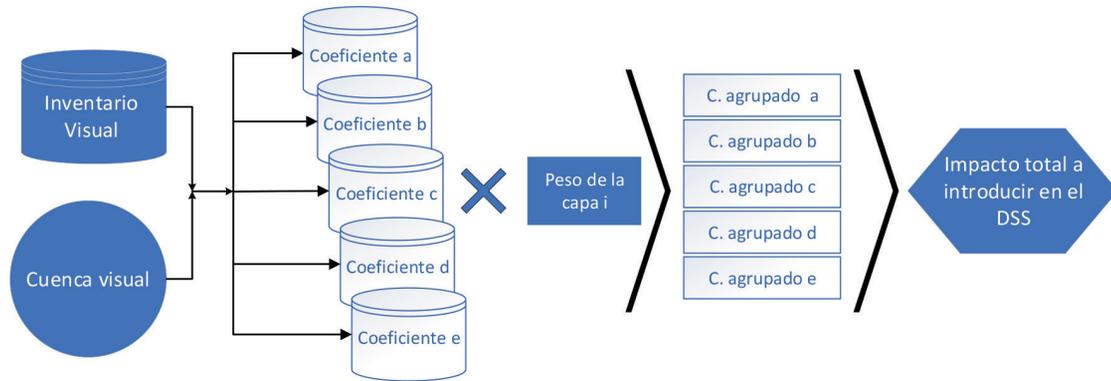


Fig. 2: Diagrama de flujo de la metodología, en la que, partiendo del inventario visual, se obtienen los coeficientes para cada capa de inventario. Posteriormente se agrupan en un único índice que se puede introducir en el DSS

ficaciones del software (SS) basándose en los RA evitando así la duplicación de actividades y posibles inconsistencias. En un tercer paso se desarrolló una versión del DSS basándose en las características necesarias especificadas anteriormente. La última fase de cada ciclo iterativo fue la retroalimentación y el seguimiento de errores (FB), que proporcionaron inputs para el RA que se debe comenzar en el siguiente ciclo [27].

A partir de todos los impactos analizados se estableció una matriz de impactos que evalúa entre 1 (impacto positivo máximo) y -1 (impacto negativo máximo). De ella se obtienen 4 escenarios¹:

- *Worst Case impact*: definido por el impacto negativo máximo.
- *3 Worst Environmental Impacts Average*: la media de los 3 impactos medioambientales más negativos.
- *3 Worst Socio-Economic Impacts Average*: la media de los 3 impactos socioeconómicos más negativos.
- *Global Average*: la media de todos los impactos contenidos en la matriz.

3. METODOLOGÍA: MÓDULO DE IMPACTO VISUAL

Se especifica la metodología para integrar el método español (SPM - SPM2) en el DSS. Para ello se sigue el flujo de trabajo de la fig. 2, dividido en los siguientes pasos: recopilación del inventario visual (conjunto de datos cartográficos sobre los que calcular los indicadores. Se describe en la sección 3.1.), cálculo de la visibilidad, obtención de los índices para cada capa de inventario visual y su combinación en un único índice.

3.1. INVENTARIO VISUAL

Se compone de todas aquellas capas de cartografía, con información relevante desde el punto de vista paisajístico o usos de suelo, por ejemplo: lugares turísticos, núcleos de población, etc.

Cada una de estas capas estará compuesta por una o más entidades distribuidas en la zona de estudio. Con este inventario se definen las características del territorio que alberga población y es por tanto susceptible de recibir un impacto visual.

Este inventario se ha clasificado según tres criterios (tabla 1):

- Criterio urbano: todas las zonas con incidencia antrópica o aquellas áreas principalmente visitadas por la población, ya sea local o visitante.
- Criterio paisaje: todas las áreas naturales con valor paisajístico asociado.
- Criterio itinerario: todas aquellas vías o rutas en las que la población normalmente se encuentra en movimiento.

3.2. VISIBILIDAD

El cálculo del impacto visual se basa en el cálculo de la cuenca visual de cada aerogenerador [28], obteniendo de esta forma un mapa de visibilidad (sumatorio de todas las cuencas visuales) del parque eólico. Para su cálculo se ha usado el software MOYSES® [29]. Como datos de entrada requiere el modelo digital del terreno de la zona de estudio, la posición de los aerogeneradores, su altura y el umbral de influencia visual.

3.3. COEFICIENTES DE IMPACTO DEL SPM-SPM2

La visibilidad previamente calculada se interseca espacialmente con los elementos del inventario visual. El SPM-SPM2, con el que se valora el impacto visual, está compuesto por 5 coeficientes que varían entre 0 (impacto nulo) y -1 (impacto máximo negativo). Éstos definen las siguientes propiedades de una intrusión visual concreta:

- Coeficiente a: promedio del número de turbinas vistas desde una localización concreta.
- Coeficiente b: la visibilidad desde el parque eólico sobre una capa de inventario.
- Coeficiente c: efecto combinado de la amplitud visual y el número de turbinas.
- Coeficiente d: efecto visual en función de la distancia.

¹ En este caso, se conservan los términos en inglés ya que el sistema AMBEMAR así los define

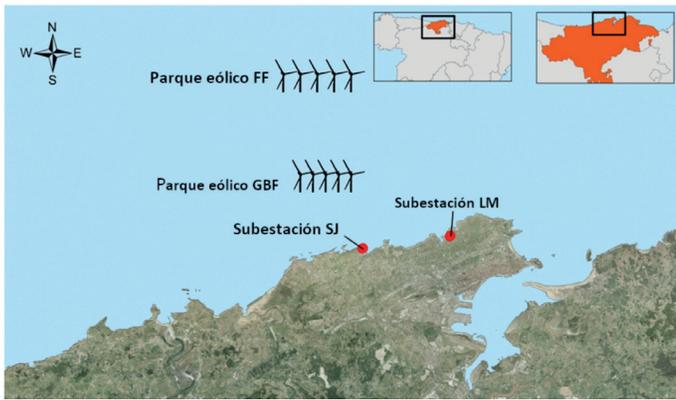


Fig. 3: Localización de las hipótesis de estudio fijadas durante el desarrollo de AMBEMAR-DSS

los coeficientes a, b, c, d y e se obtienen para cada capa de inventario C_i . Para sintetizar cada coeficiente en un único indicador, a cada C_i se le asigna un peso P_i entre 0 y 1. Posteriormente se hace el sumatorio de cada coeficiente de C_i multiplicado por su respectivo P_i , obteniendo 5 indicadores I_{sum} para cada C_i tal y como se indica en (Eq. 1). La suma de los pesos $\sum P_i$ tiene que ser igual a 1.

$$I_{sum}^N = \sum_{i=1}^{i=N^{\text{total de capas}}} P_i * C_i \quad N \in (a, b, c, d, e) \quad (1)$$

Posteriormente, con los indicadores reducidos a un único índice, se define el impacto visual I_{total} de la alternativa estudiada. Para ello, se realiza la combinación multiplicando los indicadores I_{sum}^N por un peso P^N entre 0 y 1. La suma de los pesos $\sum P^N$ es igual a 1. Posteriormente se hace la suma de todos los coeficientes y se multiplica por el indicadores obtenido a partir del coeficiente d. Con ello se obtiene I_{total} (Eq. 2).

Al multiplicar la suma por el coeficiente d, la distancia adquiere un carácter relevante como se refleja habitualmente en la literatura científica [13][22][23]. Se propone la siguiente expresión:

$$I_{total} = \left(\sum_{i=a}^{i=K} P^K_i * I_{sum}^K \right) * I^d_{sum} \quad K \in (a, b, c, e) \quad (2)$$

Los pesos P_i pueden ser asignados de diversos modos, por ejemplo, mediante el empleo de encuestas a los agentes implicados para un análisis de ámbito social. Estos pesos también podrían ser asignados por expertos en la materia y/o encargados del planeamiento.

· Coeficiente e: efecto visual en función de población afectada. Los coeficientes se calculan para todas y cada una de las entidades que componen una capa de inventario, ya estén total o parcialmente dentro del área de influencia visual. Posteriormente se obtiene el valor medio sin ponderar de las entidades, generando para cada capa de inventario un único valor de cada coeficiente.

Para clarificar la terminología utilizada, conviene especificar que denominamos coeficientes a los resultados parciales del SPM2 (a, b, c, d y e) sobre una capa de inventario visual, indicador a la combinación de un coeficiente concreto para todo el inventario visual, e índice a la combinación de indicadores. Se explica con más detalle en el siguiente apartado.

3.4. COMBINACIÓN DE INDICADORES

La aplicación de la metodología al inventario visual produce cinco coeficientes por cada capa del inventario visual. Es decir, que

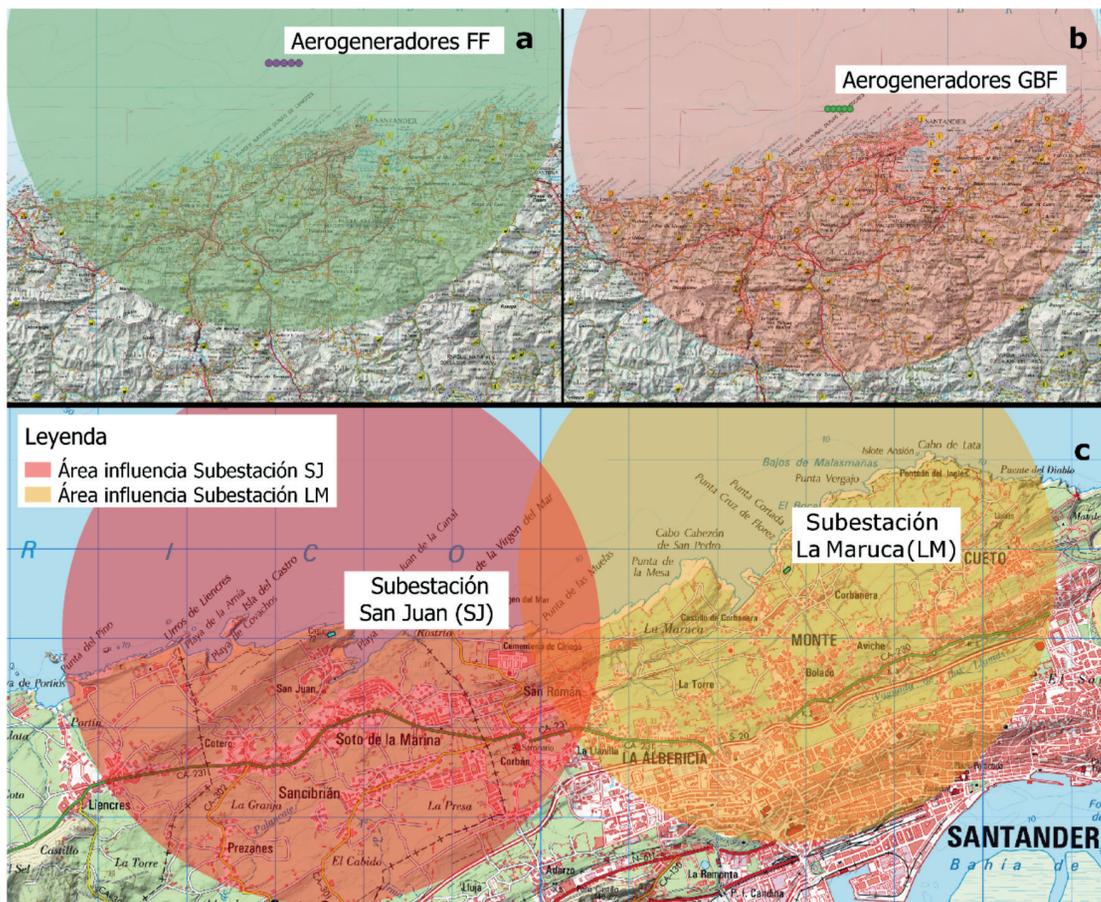


Fig. 4: (a) Posición de aerogeneradores FF; (b) posición de aerogeneradores GBF; (c) ubicación de ambas subestaciones. Cada uno de ellos con su respectivo radio de influencia

Crit.	Peso	Capa	Peso	San Juan (SJ)					La Maruca (LM)				
				a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Urbano	0.5	Núcleos	0.15	-0.549	-0.563	-0.046	-0.349	-1	-0.473	-0.055	-0.055	-0.466	-1
		Habitantes	0.15	-0.52	-0.536	-0.053	-1	-0.892	-0.192	-0.202	-0.037	-1	-0.971
		Playas	0.1	-0.199	-0.235	-0.072	-0.633	0	-0.713	-0.771	-0.170	-0.992	0
		BIC	0.1	0	0	0	0	0	-0.286	-0.333	-0.013	-0.363	0
Paisaje	0.3	AIP	0.2	-0.002	-0.019	-0.01	-0.457	0	0	0	0	0	0
		LIC	0.05	-0.032	-0.035	-0.16	-0.1	0	0	0	0	0	0
		IBAs	0.05	-0.014	-0.057	-0.06	-0.159	0	0	0	0	0	0
Itinerario	0.2	Carreteras	0.1	-0.303	-0.308	-0.035	-0.131	0	0	0	0	0	0
		GRL	0.05	-0.326	-0.380	-0.165	-0.590	0	-0.701	-0.706	-0.108	-0.788	0
		PRL	0.05	0	0	0	0	0	-0.657	-0.695	-0.104	-0.702	0
		I_{sum}		-0.229	-0.246	-0.047	-0.412	-0.283	-0.267	-0.219	-0.043	-0.430	-0.295

Tabla 2: Impactos obtenidos para cada una de las alternativas de las subestaciones eléctricas y pesos asociados a cada una de las capas de inventario y coeficientes. En la última fila se muestra el resultado obtenido de aplicar (Eq. 1)

4. CASO DE ESTUDIO

El escenario del caso de estudio en donde se muestra la aplicación del módulo de impacto visual de AMBEMAR-DSS se encuentra en la Comunidad Autónoma de Cantabria, Norte de España. En concreto, cerca de Santander, capital de Cantabria, y frente a una zona local con alto valor paisajístico conocida como Costa Quebrada.

En la Fig.3 se muestran las dos posibles ubicaciones consideradas de los dos parques eólicos y las dos subestaciones eléctricas. Uno de los parques se sitúa a una distancia de aproximadamente 3 km de la costa con cimentación mediante pilotes (GBF), mientras que el segundo se ubica a unos 8 km de la costa con cimentación flotante (FF). Respecto a las subestaciones, una de ellas se localiza en La Maruca (LM), y la otra en la Punta de San Juan de la Canal (SJ).

El parque eólico GBF está compuesto por 5 aerogeneradores de 150 metros de altura hasta la punta de la pala, y con una separación entre ellos de 750 metros. El parque eólico FF está compuesto por 5 aerogeneradores de 200 metros de altura hasta la punta de la pala y una separación entre ellos de 1 km. En la fig. 4 se representan los umbrales de distancia que se han fijado a 35 km para ambos parques, siguiendo las recomendaciones del Plan de Sostenibilidad Energético de Cantabria (PSEC) [30]. El modelo digital del terreno usado tiene una resolución de 25 metros.

Ambas subestaciones, de 40 x 80 metros, se han discretizado en 14 puntos a los que se les ha asignado su altura máxima que es de 20 metros. En este caso el umbral de distancia se ha fijado en 3 km como se representa en la fig. 4, siguiendo la normativa regional del paisaje vigente en España [31]. El modelo digital del terreno tiene una resolución de 5 metros debido a que el área de influencia es más pequeña y permite un cálculo computacional a menor resolución.

5. RESULTADOS

5.1. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Las subestaciones eléctricas afectan a distintas capas de inventario como se ve en la tabla 2. Aquellas capas cuyo valor es 0 en todos sus coeficientes no tienen visibilidad. La cantidad de capas afectadas es menor que las de la tabla 1 porque no todas se encuentran en su área de influencia.

Algunas de las capas se consideran más relevantes que otras, por ello, su peso en el sistema multicriterio es diferente. En este

caso de estudio, al repartir los pesos se ha primado la aficción que se produce sobre la población. Al criterio urbano se le ha asignado un peso de 0.5, al de paisaje un 0.3, y al de itinerario un 0.2. La suma de todos ellos es 1. Los pesos que se han asignado a cada criterio, y han sido repartidos entre las capas de inventario, son orientativos. Todos ellos necesitarían para su definición de una participación pública que permita escoger cuales son las más importantes para los agentes implicados. El impacto visual es intrínseco a la población y por ello, en este caso de estudio, se ha priorizado la aficción sobre entidades con afluencia de la misma.

El índice denominado I_{sum} de la tabla muestra, para cada coeficiente y todas las capas de inventario, el sumatorio de la multiplicación del valor del coeficiente por su respectivo peso como se indica en la sección 3.4. El único I_{sum} que indica menor impacto en la ubicación LM respecto a SJ es el del coeficiente b (tabla y fig. 5), es decir, que tiene menor visibilidad media sobre el inventario debido a que el número de capas afectadas también es menor. Esto indica que la solución LM tiene una mayor incidencia visual desde aquellas zonas desde donde es visible respecto a SJ, mientras que, en ésta última, los coeficientes muestran un impacto repartido entre el inventario. Centrándose en la aficción total sobre la superficie visible, LM tiene una visibilidad en el área de estudio de 5.95 km² mientras que en SJ es de 9.33 km².

A los coeficientes a, b, c y e se les ha asignado un peso de 0.25, en este caso no se ha asignado más prioridad a uno respecto al otro basado en el SPM original, donde todos los coeficientes tienen la misma importancia. Posteriormente se les ha multiplicado por el coeficiente d (ver expresión 2 de la sección 3.4), obteniendo con ello que la subestación SJ tiene un impacto total $I_{total} = -0.083$ mientras que en LM es de -0.089 . En LM existe una aficción superior en GRL, PRL y Playas, así como en BICs. En cambio, ésta es menor en el caso de Núcleos de población, Habitantes, y nulo para las Carreteras.

Por tanto, atendiendo únicamente al efecto visual, y tal como indica I_{total} , la mejor ubicación para la subestación sería SJ. El número de capas de inventario afectadas en LM es menor, pero la aficción sobre las capas de inventario que reflejan un carácter más turístico como pueden ser las playas o rutas paisajísticas es mayor.

5.2. PARQUES EÓLICOS

Como se muestra en la tabla 3, las mismas capas de inventario se encuentran afectadas por ambos parques eólicos. Los pesos se distribuyen siguiendo el mismo criterio usado con las subestaciones, es decir, se prioriza sobre aquellas capas cuya presencia de

Crit.	Peso	Capa	P	Monopilote (GBF)					Flotante (FF)				
				a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
				0.25	0.25	0.25	-	0.25	0.25	0.25	0.25	-	0.25
Urbano	0.5	Núcleos	0.1	-0.069	-0.094	-0.022	-0.218	-0.814	-0.092	-0.119	-0.03	-0.154	-0.838
		Habitantes	0.1	-0.136	-0.173	-0.094	-0.189	-0.747	-0.136	-0.172	-0.094	-0.189	-0.747
		Playas	0.08	-0.186	-0.236	-0.059	-0.551	0	-0.204	-0.254	-0.049	-0.393	0
		BIC	0.07	-0.08	-0.097	-0.005	-0.239	0	-0.134	-0.172	-0.009	-0.176	0
		Miradores	0.1	-0.167	-0.167	-0.013	-0.195	0	-0.04	-0.2	-0.001	-0.134	0
		Villas	0.05	-0.047	-0.078	-0.014	-0.121	-0.975	-0.167	-0.218	-0.026	-0.1	-0.971
Paisaje	0.3	AIP	0.1	-0.293	-0.324	-0.186	-0.482	0	-0.309	-0.339	-0.143	-0.345	0
		LIC	0.03	-0.071	-0.081	-0.047	-0.214	0	-0.104	-0.12	-0.054	-0.192	0
		IBAs	0.03	-0.158	-0.172	-0.123	-0.343	0	-0.182	-0.204	-0.096	-0.305	0
		PN	0.06	-0.14	-0.165	-0.095	-0.325	0	-0.184	-0.204	-0.12	-0.327	0
		ZEPA	0.02	-0.003	-0.004	-0.01	-0.1	0	-0.006	-0.009	-0.03	-0.1	0
		LIG	0.03	-0.291	-0.364	-0.045	-0.385	0	-0.467	-0.556	-0.057	-0.353	0
		RAMSAR	0.03	-0.002	-0.003	-0.005	-0.1	0	-0.003	-0.005	-0.015	-0.1	0
Itinerario	0.2	Carreteras	0.04	-0.068	-0.087	-0.028	-0.245	0	-0.087	-0.114	-0.037	-0.162	0
		GRL	0.04	-0.214	-0.265	-0.048	-0.459	0	-0.26	-0.303	-0.058	-0.273	0
		PRL	0.04	-0.308	-0.349	-0.07	-0.487	0	-0.308	-0.362	-0.065	-0.25	0
		Ferrocarril	0.04	-0.013	-0.018	-0.087	-0.265	0	-0.012	-0.037	-0.037	-0.137	0
		C. Santiago	0.04	-0.106	-0.142	-0.054	-0.259	0	-0.118	-0.147	-0.064	-0.162	0
		I_{sum}		-0.142	-0.168	-0.061	-0.297	-0.205	-0.157	-0.204	-0.057	-0.220	-0.207

Tabla 3: Impactos obtenidos para cada una de las alternativas de parques eólicos y pesos asociados a cada capa de inventario y coeficiente. En la última fila se muestra el resultado obtenido de aplicar (Eq. 1). P hace referencia al peso de cada capa de inventario

población es mayor. Al igual que con las subestaciones, el criterio urbano tiene una mayor relevancia, manteniéndose los mismos pesos.

Lo mismo ocurre con cada uno de los coeficientes, qué siguiendo el mismo razonamiento que en el caso de las subestaciones, se les ha asignado un peso de 0.25 y posteriormente se los ha multiplicado por el coeficiente d siguiendo la expresión (eq. 2) indicada en la sección 3.4. Con ello se ha obtenido que el parque eólico GBF tiene un impacto I_{total} de -0.043 mientras que en el parque FF tiene un I_{total} de -0.034.

El I_{sum} para los coeficientes a y b es mayor (en términos absolutos) para el parque FF que para el GBF según la tabla 3 y fig. 5, lo que muestra que, para esta zona, la visibilidad sobre el inventario aumenta al alejar el parque eólico. Esto se debe a que, con la topografía existente en la zona de estudio, FF resulta visible desde otros valles desde los que no se tenía visibilidad de GBF. Esto es más acusado en el caso de las Villas monumentales y LIG, aunque sucede justo lo contrario con la capa de miradores, en la que el coeficiente a es mucho menor para FF. En cambio, el

I_{sum} para el coeficiente d y c si siguen el comportamiento lógico y disminuyen con la distancia. Realmente, la superficie visible de la opción GBF es de 254.48 km² mientras que para FF es menor: 242.2 km².

Con estos datos, se puede concluir que, en este caso de estudio, el parque eólico FF tiene un menor impacto visual sobre el territorio ya que su I_{total} es menor, con un porcentaje de reducción del impacto de un 21 % comparando únicamente ambos parques. En términos absolutos la variación entre ambas hipótesis es de un 0.009, es decir, un 0.9%.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se ha propuesto un método para introducir un índice que mide varias características del impacto visual en un sistema DSS enfocado a la evaluación medioambiental de las energías renovables marítimas. Los índices de impacto obtenidos junto a los resultados de otros impactos se combinan en AMBEMAR-DSS para llegar a una solución conjunta y transversal.

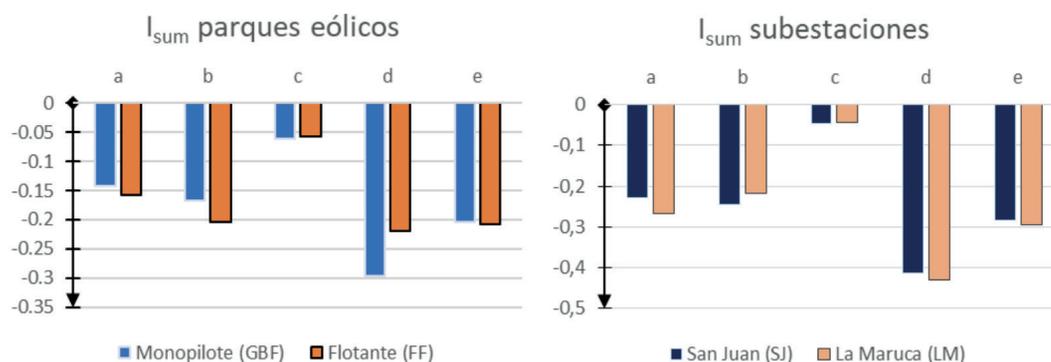


Fig. 5: En la gráfica izquierda se representa el I_{sum} de ambos parques eólicos, mientras que a la derecha se muestra el I_{sum} para ambas subestaciones

Con este método se pueden comparar varios parques eólicos desde el punto de vista del impacto visual teniendo en cuenta las características que definen el territorio. Una de las principales limitaciones, pero a la vez fortaleza de este método, es la posibilidad de introducir distintas sensibilidades sociales en la asignación de los pesos. Ello podría conllevar resultados distintos sobre un mismo parque eólico dependiendo de esos factores sociales, permitiendo adaptarse a las necesidades de la sociedad en donde se desarrolla el proyecto.

En conclusión, el método de agregación de impactos aquí desarrollado también puede ser usado para evaluar condiciones de impacto visual en la fase de diseño.

REFERENCIAS

- [1] Leung DYC, Yang Y. "Wind energy development and its environmental impact: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol.16-1, p.1031-1039. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024>.
- [2] Wind Europe. Wind energy in Europe in 2018. [en línea]. Disponible en: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf> [Consulta: 9 de Abril de 2019]
- [3] Mirasgedis S, Tourkolias C, Tzovla E, et al. "Valuing the visual impact of wind farms: An application in South Evia, Greece". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol.39, p.296-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.100>
- [4] Cowell R. "Wind power, landscape and strategic, spatial planning—The construction of 'acceptable locations' in Wales". *Land Use Policy*. 2010. Vol.27-2, p.222-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.01.006>.
- [5] Klain ST, Satterfield T, Sinner J, Ellis JI, et al. "Bird Killer, Industrial Intruder or Clean Energy? Perceiving Risks to Ecosystem Services Due to an Offshore Wind Farm", *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143, pp. 111-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.030>.
- [6] Pantaleo A, Pellerano A, Ruggiero F, et al. "Feasibility study of off-shore wind farms: an application to Puglia region". *Solar Energy*. 2005. Vol.79-3, p. 321-331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.030>.
- [7] Wolsink M. "Near-shore wind power—Protected seascapes, environmentalists' attitudes, and the technocratic planning perspective". *Land Use Policy*. 2010. Vol.27-2, p.195-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.04.004>.
- [8] Razmak J, Aouni B. "Decision Support System and Multi-Criteria Decision Aid: A State of the Art and Perspectives". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 2015. Vol.22-2, p.101-117. DOI: <https://doi.org/10.1002/mcda.1530>.
- [9] Lejeune P, Feltz C. "Development of a decision support system for setting up a wind energy policy across the Walloon Region (southern Belgium)". *Renewable Energy*. 2008. Vol.33-11, p.2416-2422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.02.011>.
- [10] Ramírez-Rosado IJ, García-Garrido E, Fernández-Jiménez L, et al. "Promotion of new wind farms based on a decision support system". *Renewable Energy*. 2008. Vol.33-4, p.558-566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.028>.
- [11] Aydin NY, Kentel E, Duzgun S. "GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. Vol.14-1, p.364-373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.023>.
- [12] Van Haaren R, Fthenakis V. "GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol.15-7, p.3332-3340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.010>.
- [13] Bishop ID, Miller DR. "Visual assessment of off-shore wind turbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables". *Renewable Energy*. 2007. Vol.32-5, p.814-831. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.009>.
- [14] Ladenburg J. "Attitudes towards on-land and offshore wind power development in Denmark; choice of development strategy". *Renewable Energy*. 2008. Vol.33-1, p.111-118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.01.011>.
- [15] Ladenburg J, Dubgaard A. "Preferences of coastal zone user groups regarding the siting of offshore wind farms". *Ocean & Coastal Management*. 2009. Vol.52-5, p.233-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.02.002>.
- [16] Nadaï A, Labussière O. "Wind power planning in France (Aveyron), from state regulation to local planning". *Land Use Policy*. 2009. Vol.26-3, p.744-754. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.10.018>.
- [17] Otero C, Manchado C, Arias R, et al. "Wind energy development in Cantabria, Spain. Methodological approach, environmental, technological and social issues". *Renewable Energy*. 2012. Vol.40-1, p.137-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.09.008>.
- [18] Torres-Sibille AC, Cloquell-Ballester VA, Cloquell-Ballester VA, et al. "Development and validation of a multicriteria indicator for the assessment of objective aesthetic impact of wind farms". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol.13-1, p.40-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.002>.
- [19] Hurtado JP, Fernández J, Parrondo JL, et al. "Spanish method of visual impact evaluation in wind farms". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2004. Vol.8-5, p.483-491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.009>.
- [20] Manchado C, Gomez-Jauregui V, Otero C. "A review on the Spanish Method of visual impact assessment of wind farms: SPM2". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol.49, p.756-767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.067>.
- [21] Tsoutsos T, Tsouchlaraki A, Tsiropoulos M, et al. "Visual impact evaluation of a wind park in a Greek island". *Applied Energy*. 2009. Vol.86-4, p.546-553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.013>.
- [22] Griffin R, Chaumont N, Denu D, et al. "Incorporating the visibility of coastal energy infrastructure into multi-criteria siting decisions". *Marine Policy*. 2015. Vol.62, p.218-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.09.024>.
- [23] Depellegrin D, Blažauskas N, Egarter-Vig, L. "An integrated visual impact assessment model for offshore windfarm development". *Ocean & Coastal Management*. 2014. Vol.98, p.95-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.019>.
- [24] Guinda X, Puente A, Juanes, JA, et al. "AMBEMAR-DSS: A Decision Support System for the Environmental Impact Assessment of Marine Renewable Energies". En: *ASME Proceedings*, (Madrid 2018), Vol.6, p.V006T05A018. ISBN: 978-0-7918-5125-8
- [25] IHCantabria. AMBEMAR [en línea]. Disponible en: <http://ambemar.ihcantabria.es> [Consulta: 4 de Abril de 2019]
- [26] OSGeo. QGIS [En línea]. Disponible en: <https://www.qgis.org/es/site/> [Consulta: 01 de Julio de 2019]
- [27] Guinda X. Assessment criteria for the application of AMBEMAR-DSS_V1.0 [en línea]. [Santander, Spain]: February 2019. Disponible en: http://ambemar.ihcantabria.es/wp-content/uploads/2019/02/Entregable-1.1B_Anejo.pdf [Consulta: 5 de Abril de 2019]
- [28] Llobera M. "Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualsapes". *International Journal of Geographical Information Science*. 2003. Vol.17-1, p.25-48. DOI: <https://doi.org/10.1080/713811741>.
- [29] Manchado C, Otero C, Gómez-Jáuregui V, et al. "Visibility analysis and visibility software for the optimisation of wind farm design". *Renewable Energy*. 2013. Vol.60, p.388-401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.026>.
- [30] Gobierno de Cantabria. Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020. [en línea]. [ref. de Julio de 2014]. Disponible en: http://www.dgicc.cantabria.es/documents/16626/2533500/PSEC_2014-2020_Julio_2014.pdf/cce75efd-56d7-9d9d-9286-1fad7eec99eb [Consulta: 2 de Octubre de 2018]
- [31] España. Ley 5/2014, de 25 de julio, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana. *Boletín Oficial del Estado*, 23 September 2014. num.231, p.74030-74200.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del proyecto AMBEMAR-DSS – Desarrollo de un Sistema de apoyo a las tomas de decisión para la evaluación ambiental de las energías renovables marinas (2016-2018) – se ha llevado a cabo gracias a la cofinanciación de SODERCAN S.A., el Gobierno Regional de Cantabria y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), en el marco del "Programa de apoyo a proyectos de I+D en Cooperación en Energías Renovables Marinas, I+D+C 2016".