

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Medidas de adaptación en el
litoral: análisis multicriterio: el
caso de la Costa Daurada
(Tarragona)

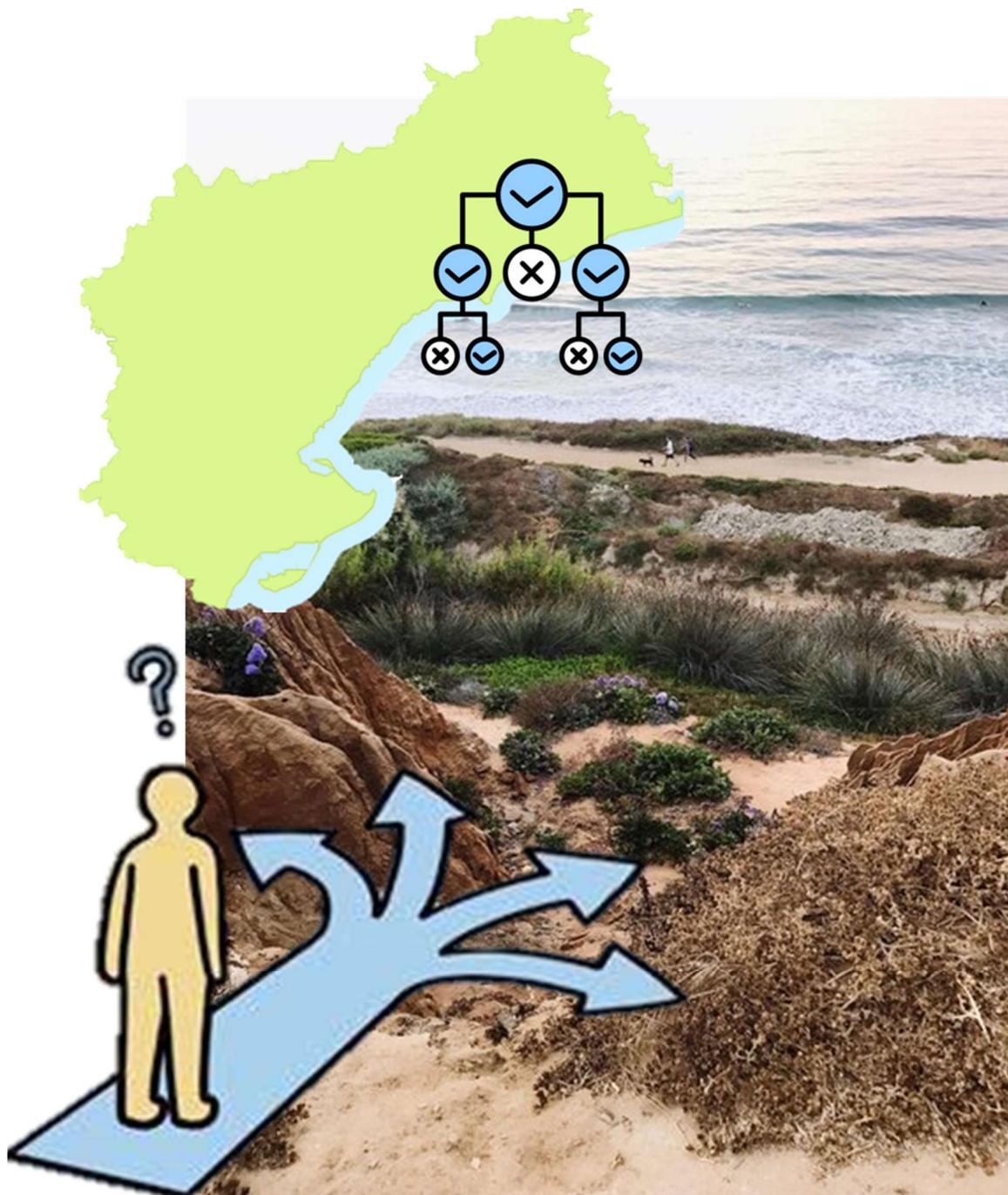


CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

Autor Principal: Lucía Castillo Fadda (UPC)

Otros autores: Montse Badia (UPC); Elsa Giffard (UPC); Rut Romero (UPC); Míriam Villares (UPC); Elisabet Roca (UPC).



ÍNDICE

1. RESUMEN
2. Problemática
3. Objetivos Y Motivación
4. Metodología
5. Definición Del Estudio Y Caracterización De La Costa
6. Análisis Multicriterio: AHP y TOPSIS
7. Discusión De Resultados
8. Conclusiones
9. Bibliografía

1. RESUMEN

La zona costera mediterránea, especialmente la de Tarragona, enfrenta graves desafíos debido al cambio climático, como la erosión y la subida del nivel del mar, exacerbados por el desarrollo urbano y el turismo. En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) se presentan como una alternativa sostenible para restaurar y conservar los ecosistemas costeros. El Proyecto CoastSpace propone estrategias a largo plazo que priorizan espacios de acomodación y adaptación a riesgos futuros. Este Trabajo Fin de Máster se enfoca en identificar áreas prioritarias de intervención en el litoral de Tarragona mediante un modelo de toma de decisiones multicriterio (MCDA). Se seleccionan 7 playas y se evalúan 6 criterios y 23 indicadores utilizando métodos como AHP y TOPSIS. El análisis produce un ranking de zonas donde las intervenciones son más efectivas, optimizando los recursos para proteger ecosistemas y comunidades vulnerables. El estudio se desarrolla en cinco fases clave: preparación, identificación del problema, desarrollo de alternativas, evaluación multicriterio y toma de decisiones. Además, se realiza un análisis de clusters y sensibilidad, proporcionando recomendaciones específicas para la gestión costera, como la necesidad de gobernanza efectiva, la aceptación comunitaria y la gestión sostenible del turismo. Este estudio no solo demuestra la eficacia del modelo de decisión propuesto, sino que también sienta una base sólida para futuras investigaciones, subrayando la urgencia de adaptarse proactivamente a un entorno marino cambiante para garantizar la sostenibilidad y la resiliencia a largo plazo.

2. PROBLEMÁTICA

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

Las zonas costeras son altamente vulnerables debido a riesgos naturales, como temporales y erosión, y la acumulación de infraestructuras y poblaciones. La costa mediterránea es especialmente afectada por la urbanización intensiva y la economía turística. El cambio climático exacerba estos problemas al alterar patrones meteorológicos y elevar el nivel del mar, aumentando los riesgos de erosión e inundaciones. Para 2100, entre 190 y 630 millones de personas podrían verse afectadas por inundaciones costeras (Kulp y Strauss, 2019). La rigidez del litoral impide que los sistemas playa-duna se desplacen, afectando la conectividad biológica y sedimentaria (Generalitat de Catalunya), mientras que la urbanización reduce la capacidad protectora de las playas (Mayor, 2008). Soluciones sostenibles, como la desrigidificación y desurbanización de zonas litorales, buscan recuperar la dinámica de los ecosistemas y mitigar la regresión costera, enmarcándose en Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) (MedECC, 2020). Adaptar los usos del suelo y los recursos es crucial para minimizar los riesgos y vulnerabilidades del cambio climático, requiriendo estrategias que respondan a condiciones actuales y futuras (Adger et al., 2005; Foley et al., 2005; Jiménez et al., 2018).

3. OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

Seleccionar adecuadamente las zonas de actuación asegura que las intervenciones se dirijan a las áreas que más lo necesitan, optimizando los recursos disponibles y maximizando el impacto positivo de las medidas de adaptación. Esto no solo mejora la eficacia en la mitigación de los riesgos costeros y la protección de los ecosistemas y comunidades más vulnerables, sino que también refuerza la legitimidad y aceptación de las medidas entre la comunidad local y los diferentes actores involucrados. Así pues, el modelo de toma de decisión facilita la colaboración y el apoyo necesarios para una implementación exitosa de estas estrategias.

El Objetivo Principal es Identificar las áreas prioritarias de intervención en el litoral de Tarragona como parte de un Modelo de Toma de Decisión.

La motivación para este TFM se basa en tres pilares. Primero, la creciente implementación de soluciones innovadoras como las SbN en la gestión costera, que muestran resultados prometedores y me motivan a explorar su impacto. Segundo, la oportunidad de contribuir a una solución sostenible y a largo plazo en la gestión costera, permitiéndome aplicar mis conocimientos y habilidades en la conservación y adaptación costera. Tercero, el interés en la metodología de toma de decisiones multicriterio, crucial en la ingeniería para abordar decisiones complejas de manera informada y efectiva, lo cual me atrae a dominar esta herramienta.

4. METODOLOGÍA

Un modelo de toma de decisiones (MTD) es un marco estructurado utilizado para identificar y evaluar opciones disponibles, con el fin de seleccionar la mejor alternativa posible en función de criterios predefinidos. Este proceso implica varias etapas, desde la identificación del problema y la recopilación de información relevante, hasta la evaluación de las alternativas y selección de la opción más adecuada.

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA



Figura 1: Modelo de Toma de Decisión adaptado a nuestro estudio. (Elaboración propia)



Figura 2: Pasos de cálculo de las metodologías de AHP y TOPSIS. (Elaboración propia)

- **Weighting o Ponderación:** Estos métodos se utilizan para determinar la importancia relativa (peso) de cada criterio en el análisis multicriterio. Hemos seleccionado el método AHP para la ponderación debido a su capacidad para estructurar y descomponer un problema complejo en una jerarquía de criterios, facilitando la asignación de pesos de manera coherente y consistente a través de una comparación relativa (método Saaty).
- **Métodos de Evaluación:** para evaluar y priorizar las alternativas basándose en los pesos asignados a los criterios y las relaciones de ordenación. Para la evaluación final y la generación del ranking de alternativas, usamos TOPSIS. Al utilizar fórmulas matemáticas, aseguran un análisis riguroso y cuantificable de múltiples criterios de evaluación.

5. DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

Se ha escogido una escala local para permitir un análisis detallado de cada tramo de costa, facilitando la identificación de problemas a pequeña escala. Tarragona fue elegida por la facilidad de realizar visitas presenciales, lo que permite una mayor interacción con las comunidades afectadas, asegurando que las estrategias propuestas sean pertinentes y tengan apoyo comunitario. Se consideraron la primera línea de decisión política actual, los impactos de temporales recientes y la información de expertos locales. Esta selección asegura que los tramos reflejen prioridades políticas y áreas vulnerables que necesitan intervención inmediata. El segundo nivel de sectorización se basa en la playa como unidad básica de gestión. Siete municipios fueron seleccionados, resultando en un total de siete playas para el estudio.

Comarca	Nombre de la playa	Municipio	Población en km2	Superficie en km2	Densidad población (hab/km2)
---------	--------------------	-----------	------------------	-------------------	------------------------------

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

Baix Penedès	de Calafell	Calafell	20,38	20,38	1302,16
Baix Ebre	de l'Arenal	Ampolla	35,65	35,65	89,90
Tarragonès	Llarga de Barà	Roda Barà	16,5	16,5	398,00
Tarragonès	de la Pineda	Vila-Seca	21,64	21,64	1025,28
Garraf	de les Salines	Cubelles	13,49	13,49	1136,32
Tarragonès	d'Altafulla	Altafulla	6,95	6,95	754,39
Baix Penedès	del Francàs	Vendrell	36,8	36,8	1021,90

Tabla 1: Datos generales por municipio (Fuente: Elaboración propia).

Para determinar dónde implementar SbN, es necesario considerar ámbitos ambientales, sociales, culturales y económicos, como lo demuestra la evidencia científica. El creciente interés en SbN requiere comprender mejor las interacciones entre el entorno natural, el construido y el contexto social. En este apartado se buscan criterios e indicadores que combinen aspectos sociales, ecológicos y técnicos en la ingeniería costera (ONU, 2017). Para ello, se utiliza un marco teórico combinado de dos organismos destacados en gestión de recursos naturales.

Obtenemos un Framework que se basa en una combinación de los ámbitos de la European Commission y los indicadores socioeconómicos de la UICN.

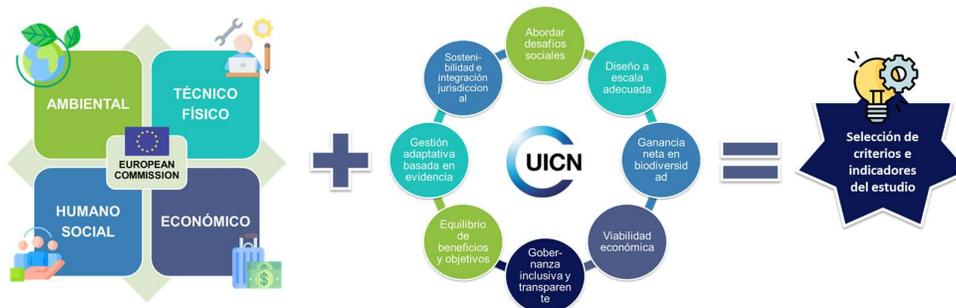


Figura 3: Framework de los criterios, a partir de la UE y la UICN. (Fuente: elaboración propia).

ÁMBITOS CLAVE								
	TÉCNICO / FÍSICO		AMBIENTAL	HUMANO / SOCIAL		ECONÓMICO		
	02	07	03	06	01	05	04	08
CRITERIO	VULNERABILIDAD	PELIGROSIDAD	BIODIVERSIDAD Y PAISAJE	PERCEPCIÓN SOCIAL	GOBERNANZA	TURISMO		
INDICADORES*	Morfología, ancho de playa, tipo de arena, espacio de acomodación...	Evolución línea de costa, altura de ola máxima, pendientes, riesgo de erosión, SLR...	Grado de urbanización, tipo de duna y evolución, Plan de Espacios de Interés Natural...	Respuestas a la encuesta de CoastSpace (disponible en Anejos)	Respaldo político, asociaciones ambientales, estado medidas de actuación...	Población estacional ETCA, nivel de ocupación en verano, alojamientos turísticos...		

*ver tabla completa con explicación y justificación de criterios, sub-criterios e indicadores.

Figura 33: Marco de estudio: criterios e indicadores de estudio. (Elaboración propia)

6. ANÁLISIS MULTICRITERIO

AHP

El primer paso es construir el **árbol de decisión AHP** ilustrando nuestro problema, que queda así:

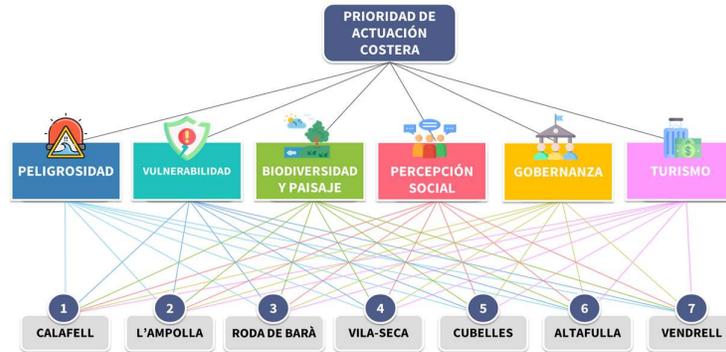


Figura 4: Árbol de decisión AHP adaptado de nuestro estudio. (Fuente: elaboración propia)

Tenemos que calcular cuánta importancia tiene cada criterio en comparación con los demás. Creamos una matriz en la que comparamos cada criterio con los otros. Utilizaremos la escala de importancia relativa de Saaty, que asigna valores del 1 al 9 para indicar cuán importante es un criterio en comparación con otro. Por ejemplo, si un criterio es mucho más importante que otro, le damos un valor alto, como 9; si son igualmente importantes, usamos el valor 1 (Saaty, 2005).

CRITERIO	Peligro sidad	Vulnerab ilidad	Biodivers idad	Goberna nza	Percepció n social	Turis mo
Peligrosidad	0,22	0,20	0,29	0,27	0,29	0,08
Vulnerabilidad	0,22	0,20	0,29	0,14	0,15	0,17
Biodiversidad	0,11	0,10	0,14	0,14	0,29	0,17
Gobernanza	0,11	0,20	0,14	0,14	0,07	0,25
Percepción	0,11	0,20	0,07	0,27	0,15	0,25
Turismo	0,22	0,10	0,07	0,05	0,05	0,08

Tabla 2: Matriz normalizada AHP. (Fuente: Excel elaboración propia)

Entonces, ya obtenemos el **vector w** , que será un vector de columnas de dimensión m . Este **vector de pesos de los criterios** representa la importancia relativa de cada criterio en el estudio y permite determinar cómo influye cada criterio en la toma de decisiones.

Los pesos de los criterios aseguran que las medidas de adaptación se enfoquen en las playas más necesitadas y con mayor potencial de beneficio a largo plazo.

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

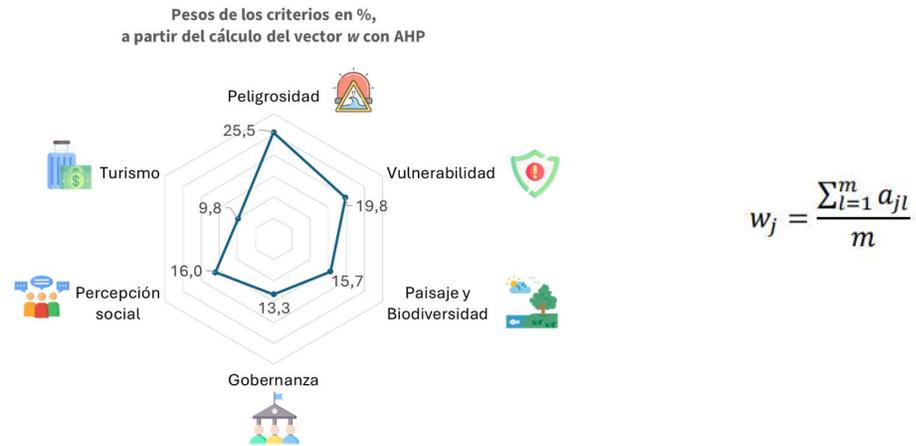


Figura 5: Vector w de pesos de los criterios calculado con AHP. (Fuente: elaboración propia).

TOPSIS

El objetivo es clasificar las alternativas según su proximidad a dos soluciones hipotéticas: la solución ideal positiva, que representa máximos beneficios y mínimos costos, y la solución ideal negativa, el opuesto. La mejor alternativa es aquella más cercana a la solución ideal positiva y más alejada de la solución ideal negativa. Esta cercanía se mide usando la distancia, y las soluciones ideal y negativa se determinan a partir de los valores máximos y mínimos en la base de datos (Velasquez y Hester, 2013). Esta es la matriz de datos utilizada:

Criterios	Vulnerabilidad				Peligrosidad				Paisaje y nivel de Biodiversidad				Valores y percepción social			Gobernanza			Turismo		
	Densidad de población	Ancho / Beach Class	Morfología (Tipo de arena)	Espacio de acomodación	en m/año, proporción ancho medio	Altura significante máxima mensual (período total)	Pendiente de entrada al agua	Evaluación riesgo de erosión	Estorno	Tubo y evaluación duna	Transformación dunar	Plas d'Espas d'Interès Natural - Zona Natural 2000	Percepción problemas	Valoración Medidas Activación	Percepción futura litoral	Asociaciones ambientales	Acción política medidas	Estrategia de adaptación	Polación estacional ETCA	Nivel de ocupación de la playa en verano	Alojamientos turísticos
de Calafell	1302,16	50	0,2	85	-5,10%	5,63	3	1	3	1	0	0	50,0%	79,5%	59,7%	1,4%	3	2	7419	3	9.857.635
de l'Arenal	80,90	33	0,16	71	-2,80%	6,79	2	2	2	1	1	11	30,0%	79,3%	65,7%	0,0%	2	1	1096	1	2.165.267
larga de Barà	398,00	41	0,35	49	-5,90%	5,4	4	1	2	2	2	39,09	63,6%	56,0%	43,6%	2,6%	3	1	3306	3	12.599.453
de la Pineda	1025,28	38	0,22	42	-5,70%	5,21	3	0	2	3	3	2,52	55,0%	76,5%	55,6%	0,0%	3	1	5995	3	12.599.453
de les Salines	1136,32	50	0,15	51	-7,00%	6,03	1	1	2	1	4	1,71	51,3%	74,9%	55,8%	6,7%	2	0	833	2	3.378.931
d'Altafulla	794,39	52	0,27	89	-18,30%	6,2	4	2	3	1,7	3	0,4	62,3%	72,5%	51,4%	4,9%	2	0	1387	2	12.599.453
del Francàs	1021,90	31	0,38	62	-15,60%	5,4	4	1	3	2	3	13,75	46,7%	85,3%	58,6%	1,7%	2	1	5558	3	9.857.635

Tabla 3: Matriz de datos finales listos para la aplicación de TOPSIS. (Elaboración propia)

PASO 1: MATRIZ NORMALIZADA

En los problemas de toma de decisiones multicriterio, los criterios pueden tener diferentes unidades, por lo que es necesario convertirlos en valores adimensionales para poder compararlos. Esto se logra a través del proceso de normalización. Los valores normalizados de cada x_{ij} en la matriz de decisión, utilizando la técnica de normalización vectorial, se calculan:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

Criterios	Vulnerabilidad				Peligrosidad			Paisatge/ nivell de biodiversitat				Valors i percepció social			Governança			Turisme			
	Densidad de població	Amplada/Reich Class	Morfologia (Tipus de serra)	Espacio de acomodación	Evolució línia de costa	Altura significativa	Percente d'entrada a l'erosió	Avaluació risc d'erosió	Entorn	Tipus i evolució	Transformació d'ús del sòl	Plans d'Espais Naturals	Percepció problemes	Valoració Medidas futura	Percepció futura	Asociacions ambientals	Reconocement polític	Estratègia adaptació	Nivell d'ocupació estacional	Tasas d'ocupació de acomodación	Costos
de Calafell	0.54	0.47	0.29	0.48	-0.19	0.36	0.36	0.29	0.46	0.21	0.00	0.00	0.36	0.40	0.40	0.15	0.46	0.71	0.64	0.45	0.38
de l'Arenal	0.04	0.31	0.23	0.40	-0.10	0.44	0.24	0.58	0.30	0.21	0.14	0.43	0.22	0.40	0.44	0.00	0.30	0.35	0.14	0.15	0.08
llarga de Barà	0.17	0.39	0.51	0.28	-0.22	0.35	0.47	0.29	0.30	0.42	0.29	0.73	0.46	0.28	0.29	0.29	0.46	0.35	0.29	0.45	0.48
de la Pineda	0.43	0.39	0.32	0.34	-0.21	0.34	0.36	0.00	0.30	0.63	0.43	0.10	0.40	0.38	0.37	0.00	0.46	0.35	0.48	0.43	0.48
de les Salines	0.47	0.47	0.22	0.29	-0.26	0.39	0.12	0.29	0.30	0.21	0.58	0.07	0.37	0.38	0.38	0.75	0.30	0.00	0.07	0.30	0.13
d'Altafulla	0.31	0.30	0.39	0.51	-0.68	0.40	0.47	0.56	0.46	0.35	0.43	0.02	0.45	0.36	0.35	0.55	0.30	0.00	0.12	0.30	0.46
del Francàs	0.42	0.29	0.35	0.35	-0.58	0.35	0.47	0.29	0.46	0.42	0.43	0.32	0.34	0.43	0.39	0.19	0.30	0.35	0.48	0.45	0.38

Tabla 4: Matriz normalizada de datos a partir del DataBase original (Elaboración propia).

PASO 2: MATRIZ NORMALIZADA PONDERADA

La matriz de decisión normalizada ponderada (V) se obtiene multiplicando la matriz de decisión normalizada por el vector de ponderación de criterios, Donde xij es el valor normalizado de la alternativa i con respecto al criterio j, y wj es el peso del criterio j. Es decir:

$$V = (v_{ij})_{n \times m} \quad \text{where } v_{ij} = w_j r_{ij}.$$

Criterios	Vulnerabilidad				Peligrosidad			Paisatge/ nivell de biodiversitat				Valors i percepció social			Governança			Turisme			
	Densidad de població	Amplada/Reich Class	Morfologia (Tipus de serra)	Espacio de acomodación	Evolució línia de costa	Altura significativa	Percente d'entrada a l'erosió	Avaluació risc d'erosió	Entorn	Tipus i evolució	Transformació d'ús del sòl	Plans d'Espais Naturals	Percepció problemes	Valoració Medidas futura	Percepció futura	Asociacions ambientals	Reconocement polític	Estratègia adaptació	Nivell d'ocupació estacional	Tasas d'ocupació de acomodación	Costos
de Calafell	0.11	0.09	0.06	0.10	-0.05	0.09	0.09	0.07	0.07	0.03	0.00	0.00	0.06	0.06	0.06	0.02	0.06	0.09	0.06	0.04	0.04
de l'Arenal	0.01	0.06	0.05	0.08	-0.03	0.11	0.06	0.15	0.05	0.03	0.02	0.07	0.03	0.06	0.07	0.00	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01
llarga de Barà	0.03	0.08	0.10	0.06	-0.06	0.09	0.12	0.07	0.05	0.07	0.05	0.11	0.07	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.03	0.04	0.05
de la Pineda	0.08	0.07	0.06	0.05	-0.05	0.09	0.09	0.00	0.05	0.10	0.07	0.02	0.06	0.06	0.06	0.00	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05
de les Salines	0.09	0.09	0.04	0.06	-0.07	0.10	0.03	0.07	0.05	0.03	0.09	0.01	0.06	0.06	0.06	0.10	0.04	0.00	0.01	0.03	0.01
d'Altafulla	0.06	0.06	0.08	0.10	-0.17	0.10	0.12	0.15	0.07	0.05	0.07	0.00	0.07	0.06	0.06	0.07	0.04	0.00	0.01	0.03	0.05
del Francàs	0.08	0.06	0.11	0.07	-0.15	0.09	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.05	0.07	0.06	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04

Tabla 5: Matriz normalizada después de la ponderación con el vector w. (Elaboración propia)

PASO 3: DETERMINACIÓN DE LAS SOLUCIONES IDEAL POSITIVA E IDEAL NEGATIVA

En este paso, se calculan la solución ideal positiva, A+, y la solución ideal negativa, A-. Las ecuaciones para obtenerlas son las siguientes:

$$A^+ = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} = \{(\max_j v_{ij} \mid i \in I'), (\min_j v_{ij} \mid i \in I')\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_j v_{ij} \mid i \in I'), (\max_j v_{ij} \mid i \in I')\}$$

Estas ecuaciones indican que A+ se obtiene a partir de los mejores desempeños en la matriz normalizada ponderada, recogiendo los valores máximos para cada criterio. Por otro lado, A- se deriva de los peores desempeños, seleccionando los valores mínimos para cada criterio.

Criterios	Vulnerabilidad				Peligrosidad			Paisatge/ nivell de biodiversitat				Valors i percepció social			Governança			Turisme			
	Densidad de població	Amplada/Reich Class	Morfologia (Tipus de serra)	Espacio de acomodación	Evolució línia de costa	Altura significativa	Percente d'entrada a l'erosió	Avaluació risc d'erosió	Entorn	Tipus i evolució	Transformació d'ús del sòl	Plans d'Espais Naturals	Percepció problemes	Valoració Medidas futura	Percepció futura	Asociacions ambientals	Reconocement polític	Estratègia adaptació	Nivell d'ocupació estacional	Tasas d'ocupació de acomodación	Costos
A+	0.11	0.06	0.04	0.10	-0.03	0.11	0.03	0.15	0.07	0.10	0.09	0.11	0.07	0.07	0.07	0.10	0.06	0.00	0.06	0.04	0.05
A-	0.01	0.09	0.11	0.05	-0.17	0.09	0.12	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.03	0.05	0.05	0.00	0.04	0.09	0.01	0.01	0.01

Tabla 6: Determinación de las soluciones ideal positiva y negativa (Fuente: Elaboración propia).

PASO 4 Y 5: CALCULAR LAS DISTANCIAS DE SEPARACIÓN Y LA PROXIMIDAD RELATIVA

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

Una vez que se han establecido las soluciones ideales positivas y negativas, el siguiente paso es calcular cómo se separa cada alternativa de estas soluciones. En otras palabras, se mide qué tan cerca o lejos está cada alternativa de A+ y A-. En este caso, se utiliza la distancia euclidiana clásica, que es un método común para medir estas separaciones.

Nombre playa	Di+	Di-	Ci	RANKING
de Calafell	0.23	0.21	0.48	5
de l'Arenal	0.20	0.25	0.55	2
llarga de Barà	0.20	0.21	0.52	3
de la Pineda	0.23	0.20	0.46	6
de les Salines	0.18	0.26	0.59	1
d'Altafulla	0.23	0.23	0.50	4
del Francàs	0.21	0.18	0.46	7

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Tabla 7: Proximidades relativas calculadas para cada playa a partir de las distancias relativas (Fuente: Elaboración propia).

PASO 6: CLASIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En la etapa final de TOPSIS, las alternativas se clasifican de mayor a peor según un ranking. La mejor tiene el mayor Ci, mientras que la peor alternativa tiene el menor Ci. La mejor alternativa en la lista, que es aquella con el mayor valor de Ci, se considera la solución o alternativa más adecuada. Finalmente, en el ranking final tenemos a *De les Salines* en primer puesto, seguida por *De l'Arenal* y *Llarga de Barà*.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El **tratamiento de resultados post análisis MCDA** se ha hecho a distintos niveles.

POR CRITERIOS INDIVIDUALES: Se ha realizado un análisis TOPSIS para cada criterio por separado, resultando en 6 rankings distintos para las 7 playas en función de los 6 criterios. Así, se puede **comparar cada ranking de playa individual respecto a su ranking final** de TOPSIS de todos los criterios. Es útil para un análisis detallado y profundo de **cómo cada criterio afecta el ranking**.



CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

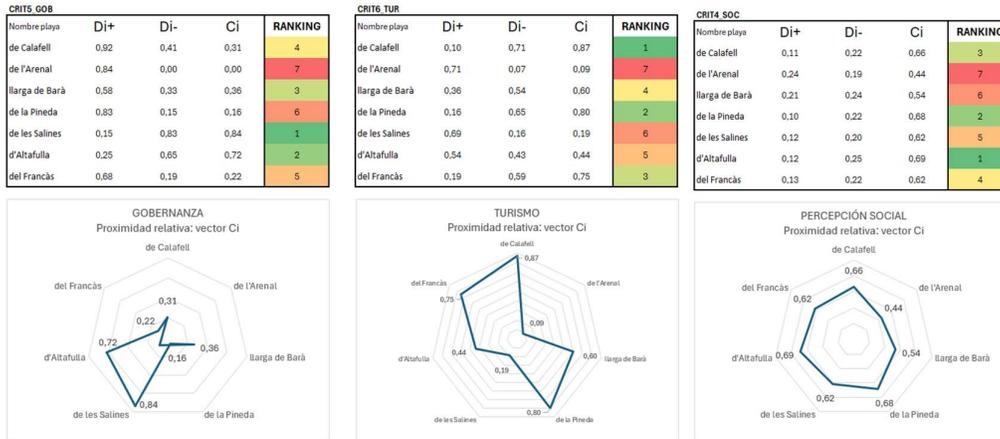


Figura 6: Aplicación de TOPSIS para cada criterio por individual (Elaboración propia).

Una vez obtenidos todos los rankings individuales, se puede crear un **Heatmap** o **mapa de calor de todos los criterios**. Es útil para reunir por grupos y poder extraer mensajes generales. Permite observar cómo se comporta cada playa respecto a cada criterio individualmente, e identificar criterios específicos en los cuales destacan o fallan.



Figura 7: Heatmap de puntuaciones de TOPSIS por criterio individual. (Elaboración propia)

CLUSTER ANALYSIS: Agrupaciones por tipos de playa. Siguiendo el razonamiento planteado al principio, separamos las playas en distintos clusters según sus niveles de urgencia y aptitud:

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA



Figura 8: Clusters de playas según su nivel de urgencia y aptitud. (Elaboración propia).

Análisis de sensibilidad: escenarios alternativos: Realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo las variaciones en las ponderaciones de los criterios afectan los resultados del modelo. Esto ayuda a asegurar la robustez del modelo y a identificar cuáles criterios son más influyentes en la toma de decisiones. Consideraremos dos enfoques diferentes: (1) Poner el mismo peso a todos los criterios para evaluar la robustez general del modelo. (2) Probar alternativas de pesos para comprender la influencia individual de cada criterio.

Escenarios	Peso criterio 1	Peso criterio 2	Peso criterio 3	Peso criterio 4	Peso criterio 5	Peso criterio 6
Original	0,2	0,25	0,16	0,16	0,13	0,1
Ponderación Mixta	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Ponderación Física	0,33	0,33	0,33	0	0	0
Ponderación Social	0	0	0	0,33	0,33	0,33

Tabla 8: Variaciones de ponderación según el escenario estudiado. (Elaboración propia)

Ranking	Original	Físico	Social	Mixto
de Calafell	5	7	6	6
de l'Arenal	2	2	7	7
llarga de Barà	3	1	3	2
de la Pineda	6	5	5	5
de les Salines	1	3	2	1
d'Altafulla	4	6	1	3
del Francàs	7	4	4	4

Tabla 9: Tabla de rankings finales según el escenario estudiado (Fuente: Elaboración propia).

Este análisis de sensibilidad nos demuestra que los diferentes escenarios de ponderación conducen a **rankings finales notablemente divergentes**. Esto subraya la importancia de considerar los **diferentes puntos de vista** para obtener una visión más equilibrada en la toma de decisiones.

8. CONCLUSIONES



Figura 9: Modelo de Toma de Decisión definitivo. (Fuente: Elaboración propia).

En la actual crisis climática, es vital adaptar la costa mediante medidas innovadoras como las SbN, aceptando la necesidad de retroceder adaptativamente y renaturalizar en lugar de depender exclusivamente de medidas grises. La precisión en la identificación de puntos de intervención y una estrategia proactiva, basadas en decisiones científicas y socialmente aceptadas, son esenciales. Este trabajo ha desarrollado un modelo multicriterio para la toma de decisiones en la adaptación costera del litoral de Tarragona, estructurado en cinco partes: comprensión del problema, confirmación de la necesidad de intervención, selección de 7 playas, 6 criterios y 23 indicadores, evaluación multicriterio mediante AHP y TOPSIS, y toma de decisiones con recomendaciones para una gestión costera eficiente. El análisis multicriterio ha clasificado las playas según su necesidad de intervención, destacando tanto factores físicos como socioeconómicos. Les Salines, l’Arenal y Llarga de Barà deben recibir prioridad. Para una gestión efectiva, es crucial priorizar según vulnerabilidad, fortalecer la gobernanza, implementar turismo sostenible y conservar biodiversidad.

Las conclusiones incluyen dirigir recursos hacia playas con deficiencias físicas como Calafell y Cubelles, mejorar la gobernanza en playas como l’Ampolla y Vila-Seca, y mantener el buen estado en Francàs y Llarga de Barà. Buenas prácticas pueden implementarse en playas con fuerte gobernanza como Altafulla y Calafell, desarrollando turismo sostenible y manteniendo la calidad biológica en Del Francàs y De la Pineda. El análisis de sensibilidad confirma la necesidad de evaluar todos los criterios para una comprensión integral. Este trabajo ofrece una base sólida para decisiones informadas en gestión costera, proponiendo un enfoque holístico y adaptativo para restaurar y preservar el litoral. Se necesita una intervención proactiva y coordinada para mitigar los efectos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de zonas costeras, avanzando hacia la retirada adaptativa y renaturalización de la costa.

“El futuro de las playas mediterráneas es incierto debido a los impactos del cambio climático, pero aún hay tiempo para actuar y adaptarse, por el bien común. El futuro del litoral depende de todos nosotros. - CoastSpace.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Análisis De Riesgos Y La Adaptación Al Cambio Climático En La Costa. Report.
- [2] Ajuntament Altafulla. (2020). Percepcions sobre les platges d'Altafulla. Informe.
- [3] Ajuntament Calafell. (2021). Diagnosi i redacció d'un pla de gestió, planificació, manteniment i recuperació del sistema platja, accessos i entorns de la platja Calafell. Pdf.
- [4] Ajuntament Rosa de Barà. (2018). DECLARACIÓ AMBIENTAL DE PLATGES RODA DE BERÀ. Pdf.
- [5] Ajuntament Tarragona. (2020). Diagnosi i redacció d'un pla de gestió, planificació i recuperació del sistema platja, accessos i entorns de la platja Llarga. Pdf.
- [6] Ajuntament Tarragone. (2020). Presentació de la diagnosi i redacció del pla de gestió, planificació i recuperació. Ppt.
- [7] Alvar Garola. (2022). The economic impact of sea level rise-induced decrease in the carrying capacity of Catalan beaches (NW Mediterranean, Spain). Artículo.
- [8] Ankita Singhvi. The grey – green spectrum: A review of coastal protection interventions. Artículo.
- [9] Area Metropolitana de Barcelona. (2024). Playas de Castelldefels - Territori - Àrea Metropolitana de Barcelona (amb.cat). Web.
- [10] Ayuntamiento de Castelldefels. (2024). Gestión Ambiental - Ajuntament de Castelldefels. Web.
- [11] Borsje, B.W. et al (2011). How ecological engineering can serve in coastal protection. Ecological Engineering, 37, 113-122.
- [12] Carla Lozano. (2022). La gestión de playas basada en la naturaleza. Artículo.
- [13] Carla Lozano, Universitat de Girona. (2019). Els sistemes dunars de la costa catalana Evolució històrica, estat actual i potencial de restauració. Tesi doctoral.
- [14] CoastSpace. Base de dades indicadors. Excel + Word.
- [15] CoastSpace. (2021). COASTSPACE - MEMÓRIA. Memoria.
- [16] Coastal Partners. Coastal Partners. Web.
- [17] Conservation International. (2011). Ecosystem-based adaptation: Essential for achieving the Sustainable Development Goals. Artículo.
- [18] Dipuació Tarragona. (2020). SISTEMA DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

DE LAS PLAYAS. Reports.

- [19] Diari de Tarragona. (2022). La regresión y los temporales amenazan las playas (diaridetarragona.com). Noticia.
- [20] EPA U.S. (2009). Synthesis of Adaptation Options for Coastal Areas. Report.
- [21] Elsa Giffard. (2023). Barriers and Drivers to Implementing Nature-based Solutions and Managed Retreat on the Catalan Coast. TFM.
- [22] EU Commission. (2021). EVALUATING THE IMPACT OF NATURE-BASED SOLUTIONS. Report.
- [23] Francisco M. Cortés Sánchez. (2024). Evaluación de actuaciones de restauración en el litoral: La playa de los Enebrales y el Charco de los Clicos. JORNADA IAHR.
- [24] Frontiers. (2022). Editorial: Consequences of global change in coastal ecosystems from a multidisciplinary perspective. Front. Mar. Sci., 11 January 2023 Sec. Coastal Ocean Processes.
- [25] FUHEM. (2021). Impactos del Cambio Climático en los sistemas Litorales Españoles y repercusiones sobre la Calidad de Vida. Infográfico.
- [26] Generalitat de Catalunya. (2010). Estat de la zona costanera a Catalunya - Llibre Verd_Aspectes_metodologics_platges_Tarragona. Report.
- [27] Generalitat de Catalunya. (2021). Un litoral al límit. Informe.
- [28] Gencat. Agència Catalana de l'Aigua | Platges Cat. Web.
- [29] Hilferink, M. (año). An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services. Academia.edu.
- [30] IAHR. 2024. Jornada IAHR-Spain Water | Mares y Costas Sostenibles: Restauración y Protección Ambiental en España.
- [31] IDESCAT. Institut d'Estadística de Catalunya. Web.
- [32] IUCN. (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. Report.
- [33] Javier Estevan Sanchís. (2024). Regeneración de las playas de l'Arbre del Gos, Saler y Garrofera. JORNADA IAHR.
- [34] José A. Jiménez. (2019). Shoreline Evolution and its Management Implications in Beaches Along the Catalan Coast. Artículo.
- [35] Maarten Hilferink, P. H. Verburg. (2012). An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services. Artículo.
- [36] Manoj Mathew. (2018). TOPSIS using Excel - MCDM problem. Video.

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

- [37] Velasquez and Hester (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods. Artículo. *International Journal of Operations Research*.
- [38] Michael Bruen. (2021). Uptake and Dissemination of Multi-Criteria Decision Support Methods in Civil Engineering—Lessons from the Literature. Artículo.
- [39] Microsoft. (2023). Generación de imágenes y texto con Bing Creator [IA]. Bing Creator.
- [40] Mitra Madanchian. (2023). A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making. Artículo.
- [41] Montse. (2022). APROXIMACIÓ A LA FREQUËNTACIÓ INDUÏDA DELS PARCS NATURALS DE L'ALT EMPORDÀ: Proposta de gestió i monitoratge. TFM.
- [42] Mohammed Aatur Rahman. (2021). Ecosystem management is the key to reduce climate impacts and food security | Mohammed Aatur Rahman - Academia.edu. Artículo.
- [43] Niki Evelpidou, Maria-Anna Gatou. (2019). Best Practices in Evaluation and Restoration of Degraded Mediterranean Environments. Report.
- [44] Munang et al (2013). Climate change and Ecosystem-based Adaptation: A new pragmatic approach to buffering climate change impacts. Article: *Current Opinion in Environmental Sustainability*.
- [45] Frank van der Meulen, *Nordic Journal of Botany*. (2022). Nature-based solutions for coastal adaptation management, concepts and scope, an overview. Artículo.
- [46] Locatelli, B. (año). Ecosystem-based adaptation: Essential for achieving the Sustainable Development Goals. Academia.edu.
- [47] Ocean & Climate Platform. (2021). COASTAL AND MARINE ECOSYSTEMS AS NATURE-BASED SOLUTIONS IN NEW OR UPDATED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONS. Report.
- [48] P. H. Verburg. (2012). An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services. Artículo.
- [49] PNUMA-CMVC y el PNUMA. (2019). Selección de medidas de adaptación complementarias.
- [50] Robusté. (2017). 11. Multi-Criteria decision analysis. Apuntes.
- [51] Roberta P. L. Moraes et al. (2022). Nature-Based Solutions in Coastal and Estuarine Areas of Europe. Artículo.
- [52] Saaty (2002). *The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling Volume 9.*

CONAMA 2024

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL DE TARRAGONA

- [53] Sanuy et al. (2017). Linking source with consequences of coastal storm impacts for climate change and risk reduction scenarios for Mediterranean sandy beaches. Artículo..
- [54] Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. et al. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature* 504, 79–83.
- [55] Théophile Bongarts Lebbe1. (2021). Designing Coastal Adaptation Strategies to Tackle Sea Level Rise. Artículo.
- [56] UPC. (2019). Beach Users' Perceptions of Coastal Regeneration Projects as An Adaptation Strategy in The Western Mediterranean. Artículo.
- [57] UPC. (2020). The influence of climate change on the coastal risk landscape of the Catalan coast. Tesis doctoral.
- [58] UPC. (2024). Projecte CoastSpace: desenvolupament d'estratègies d'adaptació del litoral català als impactes del canvi climàtic. Web.
- [59] Uxía López-Dóriga Sandoval, UPC. (2020). The influence of climate change on the coastal risk landscape of the Catalan coast. Tesis doctoral.
- [60] Verburg, P. H. (2012). An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services. Artículo.
- [61] (2021). Assessing Nature-based solutions in the face of urban vulnerabilities: A multi-criteria decision approach. Artículo.
- [62] (2023). Towards Explainable TOPSIS: Visual Insights into the Effects of Weights and Aggregations on Rankings. Artículo.