

MANUAL

Generación de escenarios de aptitud por media ordenada ponderada (OWA) para análisis mediante modelación geoespacial



Laboratorio
Nacional
de Ciencias
de la Sostenibilidad



MANUAL

Generación de escenarios de aptitud por media ordenada ponderada (OWA) para análisis mediante modelación geoespacial

AUTORES:

ILEANA ANGÉLICA GRAVE AGUILAR

ELVIRA TATIANA MERINO BENÍTEZ

VÍCTOR HERNÁNDEZ DÍAZ

LUIS ANTONIO BOJÓRQUEZ TAPIA



MANUAL: GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE APTITUD POR MEDIA ORDENADA PONDERADA (OWA) PARA ANÁLISIS MEDIANTE MODELACIÓN GEOESPACIAL

Responsable del proyecto:
Luis Antonio Bojórquez Tapia

Autores:
Ileana Angélica Grave Aguilar
Elvira Tatiana Merino Benítez
Víctor Hernández Díaz
Luis Antonio Bojórquez Tapia

Edición:
Esmeralda Osejo Brito

Diseño y maquetación:
Elizabeth Ortiz Caballero

Citar el documento como:
Grave, I., T. Merino-Benítez, V. Hernández-Díaz y L. A. Bojórquez-Tapia. 2021.
*Generación de escenarios de aptitud por Media Ordenada Ponderada (OWA) para
análisis mediante modelación geoespacial*. México: UNAM.

Este documento se realizó con apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de
Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) **1V100118** *Análisis integrado
de sistemas socio-ambientales acoplados: desarrollo de capacidades para la
evaluación de la vulnerabilidad costera*.



Licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-CompartirIgual (el
usuario puede compartir y modificar el contenido sin fines comerciales, siempre
y cuando se haga referencia explícita a la fuente original).

Índice

1. GUÍA DE USO	5
2. INTRODUCCIÓN	7
3. MÉTODO OWA	8
4. EJEMPLO	13
5. APLICACIÓN.....	17
6. REFERENCIAS	18

1. Guía de uso

En este manual aprenderás:

- A usar el método de análisis Media Promedio Ponderada (OWA, por sus siglas en inglés) para generar distintos escenarios de aptitud territorial a partir de un escenario base obtenido mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty, 1987).
- Los cuatro pasos del método (enlistar los atributos, ordenar los valores de los atributos, calcular los pesos de orden y calcular el valor del operador OWA).



- El análisis de aptitud territorial permite identificar los patrones espaciales más apropiados para representar futuros usos de suelo de acuerdo con la aptitud específica de la zona de estudio para cierta actividad particular.
- Un procedimiento de evaluación multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica (GIS-MCDA, por sus siglas en inglés) (Malczewski, 2004, 2006; Malczewski & Rinner, 2015) está compuesto por:
 - Sitios o alternativas geográficas: unidades espaciales tales como polígonos o rásters.
 - Criterios de evaluación: una serie de capas geográficas o atributos.
 - Peso de los criterios: representan las preferencias de los tomadores de decisiones.
- El objetivo del procedimiento GIS-MCDA es combinar los criterios de evaluación y las preferencias de los tomadores de decisiones usando una regla de decisión (regla de combinación) para evaluar las alternativas geográficas.



El GIS-MCDA (modelación geoespacial) es una herramienta de análisis que permite capturar, manipular y estudiar datos geográficos para simular comportamientos sociales y fenómenos biofísicos en un territorio.



DEFINICIÓN



ATENCIÓN



HERRAMIENTA



RECUERDA



TIP

2. Introducción

El operador OWA (Malczewski, 2006) es un procedimiento de evaluación que permite generar una serie de escenarios de aptitud territorial a partir de cuantificadores lingüísticos difusos (enunciados que estiman medidas de manera ambigua o imprecisa: por ejemplo, “casi 10”, “cerca de 5”, etcétera). El OWA permite generalizar métodos de evaluación multicriterio que consideran reglas de combinación no compensatorias (booleanas) y compensatorias (Combinación Lineal Ponderada o CLP). Su uso permite visualizar geográficamente la influencia de las estrategias de manejo ambiental.

El OWA, aplicado a un modelo GIS-MCDA, asocia los atributos ambientales de un mapa de aptitud con un parámetro lingüístico difuso y dos tipos de pesos: (1) de importancia relativa y (2) de orden (Malczewski, 2004, 2006; Malczewski & Rinner, 2015). Los pesos de importancia relativa se obtienen a partir de métodos de priorización o jerarquización, como el AHP, mientras que los pesos de orden se obtienen ordenando los valores de los atributos de aptitud de manera descendente.

El parámetro lingüístico difuso es una fórmula matemática que se asocia a los cuantificadores lingüísticos difusos. Esta fórmula permite usar expresiones lingüísticas que reflejan las preferencias de los tomadores de decisiones con respecto a los criterios del mapa de aptitud (por ejemplo, “todos”, “muy pocos”, “al menos algunos”) y generar una variedad de posibles escenarios de aptitud. Estos escenarios se generan en conjuntos que incluyen tanto los escenarios límite (el “escenario con la mejor aptitud posible” o “escenario optimista”, y el “escenario con la peor aptitud posible” o “escenario pesimista”), así como los escenarios entre estos dos extremos.



Existen dos conjuntos de pesos:

1. Los pesos de los criterios, que representan su importancia relativa. En este caso, todos los sitios relacionados con un determinado criterio tienen el mismo peso.
2. Los pesos de orden o pesos OWA, que están asociados con un sitio y con la magnitud de sus atributos, sin importar su relación de dichos atributos con un criterio específico.



Si quieres aprender más sobre la generación de modelos mediante el método AHP, ve el manual *Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*.

3. Método OWA

A partir de la jerarquización mediante el método AHP se obtiene un modelo con: 1) criterios y 2) pesos de los criterios. Para cada criterio $i \in (1, \dots, I)$ existe un peso $w_i \in [0, 1]$ asociado a dicho criterio. Geográficamente, dichos criterios se representan como una serie de capas donde los valores normalizados o atributos $a_{ij} \in [0, 1]$ para cada sitio $j \in (1, \dots, J)$ se combinan a través de la combinación lineal ponderada (CLP) para obtener el escenario base.

El operador OWA (Malczewski, 2006) se basa en los siguientes tres puntos:

- (1) La reordenación de mayor a menor de los valores estandarizados de los atributos, $x_{ij} = v(a_{ij})$ para formar la secuencia ordenada $z_{1j} \geq z_{2j} \geq \dots \geq z_{Ij}$.
- (2) La inclusión del conjunto de pesos ordenados (pesos OWA), $\lambda_{ij} = \lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \dots, \lambda_{Ij}$ ($i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J; \forall \lambda_{ij} \in [0, 1]; \sum_i \lambda_i = 1$).
- (3) Evidentemente, la secuencia ordenada implica también reordenar los pesos, w_{ij} , en $u_{ij} = u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{Ij}$ para preservar la correspondencia entre la ponderación y los atributos respectivos.

De este modo, la aptitud, S_j^λ , se obtiene a través del operador OWA con la siguiente fórmula:

$$S_j^\lambda = \sum_i \left(\frac{u_{ij} \lambda_{ij}}{\sum_i u_{ij} \lambda_{ij}} \right) z_{ij}$$



- j está asociado a los sitios (píxeles o polígonos)
- El número total de sitios es J
- i está asociado a los criterios o capas geográficas
- En total existen I criterios

La ventaja del operador OWA es que posibilita la exploración de distintas actitudes respecto a la aptitud del territorio. En general, las actitudes optimistas tienen una propensión de tomar riesgos y, por lo tanto, enfatizan las buenas propiedades de una ubicación. Por el contrario, las actitudes pesimistas se inclinan hacia la aversión al riesgo y, por lo tanto, enfatizan las malas propiedades de una ubicación.

En OWA, estas actitudes varían en un continuo en cuyos extremos se encuentran los operadores Y (MIN), del lado pesimista, y O (MAX), del lado optimista. Los distintos valores de λ_{ij} reflejan la variación dentro de esos extremos del grado de optimismo (o pesimismo) en el que se incurre en una evaluación de la aptitud. Considérese el siguiente ejemplo para ilustrar el funcionamiento de OWA:

Dada la siguiente secuencia ordenada z_{ij} a partir de $v(a_{ij})$:

$$z_{ij}=(0.9,0.6,0.3,0.2) \therefore v(a_{ij})=(0.6,0.3,0.2,0.9)$$

se obtiene la reordenación de los pesos de importancia u_{ij} a partir de w_{ij} :

$$u_{ij}=(0.1,0.1,0.5,0.3) \therefore w_{ij}=(0.1,0.5,0.3,0.1)$$

Posteriormente, se procede a seleccionar los pesos OWA, λ_{ij} , que reflejan el grado de optimismo (pesimismo) en la evaluación de la aptitud de una ubicación para una actividad, S_j^λ :

Si λ_{ij} corresponden a la actitud pesimista, entonces el operador OWA equivale al operador booleano “Y” y arroja como resultado la aplicación del criterio de Wald o $\min_k \{a_{ij}^k\}$:

$$\lambda_{ij}=(0,0,0,1) \therefore S_j^{\text{MIN}}=0.20$$

Si λ_{ij} corresponden al modo de decisión optimista, entonces el operador OWA equivale al operador booleano “O” y arroja como resultado la aplicación del criterio $\max_k \{a_{ij}^k\}$:

$$\lambda_{ij}=(1,0,0,0) \therefore S_j^{\text{MAX}}=0.90$$

Si λ_{ij} corresponden al modo de decisión compensatorio, entonces, el operador OWA arroja un resultado igual al de la combinación lineal ponderada (CLP):

$$\lambda_{ij}=0.25 \quad \forall i \therefore S_j^{\text{CLP}}=0.36$$

OWA, además, se puede clasificar mediante una medida basada en el concepto de *OTREdad* (“ORness” en inglés) (Malczewski *et al.*, 2003), el cual que es una medida de optimismo que identifica cuan cercano se está ya sea del operador **Y** (MIN) o del operador **O** (MAX) (ver Figura 1):

$$OTREdad = \frac{1}{I-1} \sum_i^I (I-i) \lambda_{ij}, \quad 0 \leq OTREdad \leq 1$$

Por su parte, la compensación indica que tanto se pueden substituir los valores bajos de ciertos atributos por los valores altos de los demás atributos.

$$Compensación = 1 - \sqrt{\frac{1}{I-1} \sum_i^I \left(\lambda_{ij} - \frac{1}{I} \right)^2}, \quad 0 \leq Compensación \leq 1$$

La otredad y la compensación conforman el espacio de la estrategia de decisión. Los operadores Y, CLP y O son casos especiales y sus valores de otredad y compensación son constantes:

$$OTREdad = (0.0, 0.5, 1.0) \rightarrow Compensación = (0, 0, 1)$$

En los demás casos, las medidas de otredad y compensación se determinan dependiendo de la cantidad de atributos: Cuanto mayor sea su número, mayor será el nivel de compensación que se obtendrá para una determinada otredad.

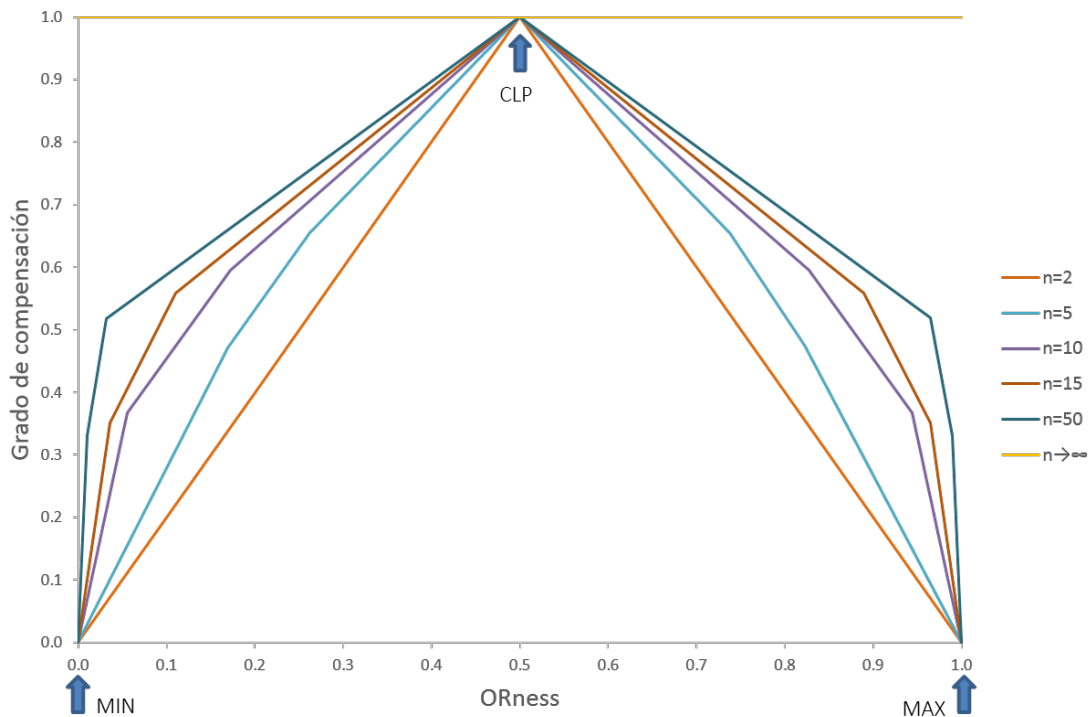


Figura 1. Espacio estratégico de decisión. © LANCIS.

En la práctica, el procedimiento para derivar los pesos del operador OWA se basa en cuantificadores lingüísticos difusos, Q . Los cuantificadores lingüísticos difusos permiten asociar un significado al atributo seleccionado a través del parámetro α (Tabla 1) y su relación con el grado de compensación y otredad.

Un cuantificador Q es un conjunto difuso en el intervalo $[0,1]$, en el cual $Q(p)$ indica el grado de compatibilidad de $p \in [0,1]$ con el concepto que denota Q :

$$Q = \{\text{al menos uno, muy pocos, pocos, la mitad, muchos, casi todos, todos}\}$$

$$Q = \{(p, \mu_Q(p))\}, \forall p \in Q, \mu(p)_Q \in [0,1]$$

$$Q(p) = p^\alpha, \alpha > 0$$

De este modo, con la modificación del exponente α es posible representar el continuo entre las actitudes enteramente pesimistas y enteramente optimistas. Por ejemplo, para el caso de los operadores Y, O y CLP:

Si $Q = \text{todos} \therefore \alpha \rightarrow \infty$, $Q(p)$ corresponde a la actitud pesimista y al operador Y (MIN)

Si $Q = \text{al menos uno} \therefore \alpha \rightarrow 0$, $Q(p)$ corresponde a la actitud optimista y al O (MAX)

Si $Q = \text{la mitad} \therefore \alpha = 1$, $Q(p)$ corresponde a la actitud neutral y a la CLP. En este caso $Q(p)$ es proporcional a α y se le conoce como “cuantificador identidad”.

Una vez que el cuantificador lingüístico difuso Q ha sido seleccionado, se procede a calcular la aptitud mediante el siguiente cuantificador RIM:

$$S_j^\alpha = \sum_I \left(\left(\frac{\sum_i^I u_{ij}}{\sum_i^I u_{ij}} \right)^\alpha - \left(\frac{\sum_i^I u_{ij}}{\sum_i^I u_{ij}} \right)^\alpha \right) Z_{ij}$$

Este cuantificador puede simplificarse dado que una propiedad de la ponderación en un modelo multicriterio es $\sum_i^I w_{ij} = 1$ y, por ende, $\sum_i^I u_{ij} = 1$, así:

$$S_j^\alpha = \sum_I \left(\left(\sum_{o=1}^j u_{ij} \right)^\alpha - \left(\sum_{o=1}^{j-1} u_{ij} \right)^\alpha \right) Z_{ij}$$

Parámetro lingüístico	Parámetro α	ORness	Grado de compensación	Atributo a_{ij} seleccionado
Al menos uno	$\alpha \rightarrow 0$	1.0	0	Valor máximo
Al menos algunos	0.1		Depende del problema	
Algunos	0.5		Depende del problema	
La mitad	1.0	0.5	1	CLP
La mayoría	2.0		Depende del problema	
Casi todos	10.0		Depende del problema	
Todos	$\alpha \rightarrow \infty$	0	0	Valor mínimo

Tabla 1. Cuantificadores lingüísticos difusos. Fuente: Adaptado de Malczewski (2006). © LANCIS.



A mayor cantidad de criterios, mayor grado de compensación para un determinado valor de *OTREdad*.

4. Ejemplo

A continuación, se describe un ejemplo simple para calcular el valor del operador OWA para un sitio hipotético i con 7 criterios y 3 cuantificadores lingüísticos: al menos uno, identidad y todos. Los pesos de los criterios provienen del ejemplo de modelo AHP que representa la aptitud turística costera de la zona de Yucatán, desarrollado en el manual *Proceso Analítico Jerárquico (AHP)*.

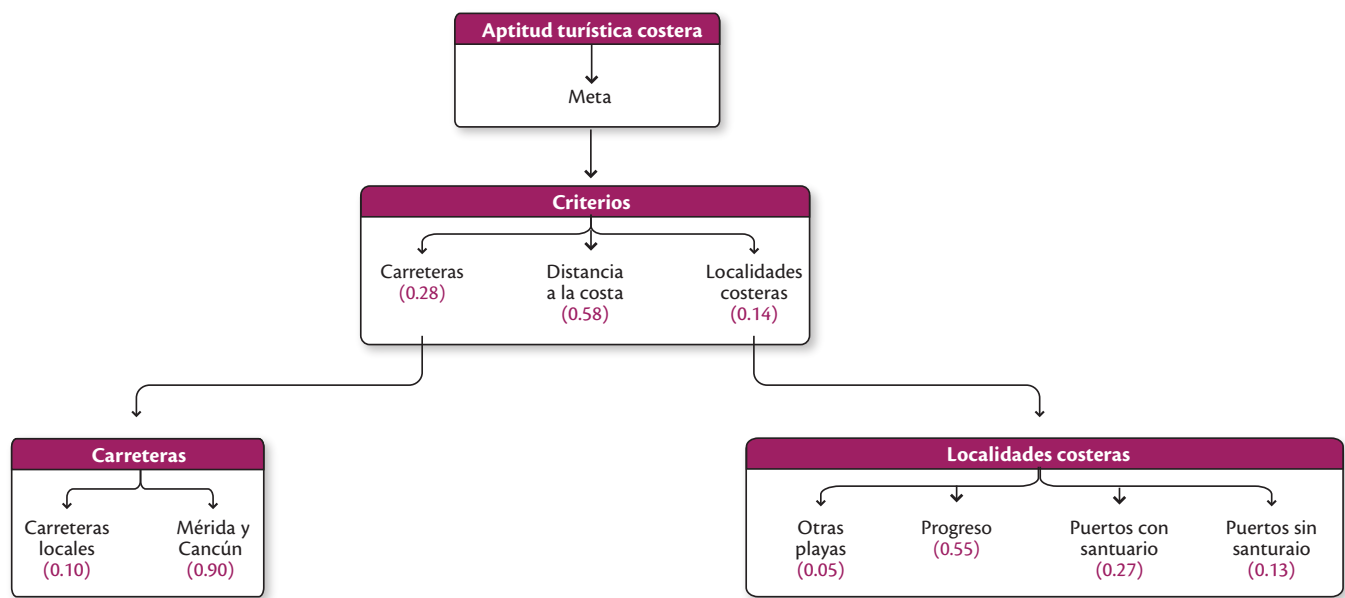


Figura 2. Modelo AHP de decisión para determinar la aptitud turística en la costa de Yucatán. © LANCIS.

Procedimiento:

1. Enlistar los atributos de todos los criterios para el sitio i con su respectivo peso:

Criterio j	Nombre del criterio	Valor del atributo a_{ij}	Peso del criterio w_j
1	Carreteras locales	0.1	0.03
2	Mérida y Cancún	0.0	0.25
3	Distancia a la costa	0.6	0.58
4	Otras playas	0.8	0.01
5	Progreso	0.3	0.08
6	Puertos con santuario	0.2	0.04
7	Puertos sin santuario	0.5	0.02

2. Ordenar los valores de los atributos en orden descendente z_j y asociar el peso de los criterios al atributo correspondiente:

Criterio j	Nombre del criterio	Valor del atributo a_{ij}	Peso del criterio w_j	Valor ordenado del atributo a_{ij} z_{ij}	Peso ordenado del criterio u_j
1	Carreteras locales	0.1	0.03	0.8	0.01
2	Mérida y Cancún	0	0.25	0.6	0.58
3	Distancia a la costa	0.6	0.58	0.5	0.02
4	Otras playas	0.8	0.01	0.3	0.08
5	Progreso	0.3	0.08	0.2	0.04
6	Puertos con santuario	0.2	0.04	0.1	0.03
7	Puertos sin santuario	0.5	0.02	0	0.25

3. Calcular los pesos de orden utilizando la ecuación (2) para cada parámetro α :

α	Criterio j	Nombre del criterio	Valor ordenado del atributo a_{ij} z_{ij}	Peso ordenado del criterio u_j	Peso del criterio v_j
0.0001					
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	1
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0
	4	Otras playas	0.3	0.08	0
	5	Progreso	0.2	0.04	0
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	0
1					
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	0.01
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0.58
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0.02
	4	Otras playas	0.3	0.08	0.08
	5	Progreso	0.2	0.04	0.04
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0.03
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	0.25
1000					
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	0
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0
	4	Otras playas	0.3	0.08	0
	5	Progreso	0.2	0.04	0
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	1

4. Calcular el valor del operador OWA, utilizando la ecuación (1), para cada parámetro α :

α	Criterio j	Nombre del criterio	Valor ordenado del atributo $a_{ij} z_{ij}$	Peso ordenado del criterio u_i	Peso del criterio v_j	$v_j z_{ij}$	OWA _i
0.0001							
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	1	0.8	
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0	0	
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0	0	
	4	Otras playas	0.3	0.08	0	0	
	5	Progreso	0.2	0.04	0	0	
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0	0	
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	0	0	
							0.8
1							
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	0.01	0.008	
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0.58	0.348	
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0.02	0.010	
	4	Otras playas	0.3	0.08	0.08	0.024	
	5	Progreso	0.2	0.04	0.04	0.008	
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0.03	0.003	
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	0.25	0.000	
							0.401
1000							
	1	Carreteras locales	0.8	0.01	0	0	
	2	Mérida y Cancún	0.6	0.58	0	0	
	3	Distancia a la costa	0.5	0.02	0	0	
	4	Otras playas	0.3	0.08	0	0	
	5	Progreso	0.2	0.04	0	0	
	6	Puertos con santuario	0.1	0.03	0	0	
	7	Puertos sin santuario	0	0.25	1	0	
							0



El operador OWA se aplica a cada sitio (pixel o polígono). Para generar los escenarios de aptitud relacionados con la zona de estudio, es necesario implementar un algoritmo computacional que calcule el valor del operador OWA para cada sitio. Puedes consultar el uso del algoritmo en el manual en línea en el siguiente enlace: https://lancis-apc.github.io/geo_lancis/owa.html

5. Aplicación

El ejemplo desarrollado corresponde a la aptitud turística de la costa de Yucatán. Particularmente, se aplicaron el análisis AHP (Figura 2) y el análisis OWA para visualizar geográficamente la influencia de las estrategias de manejo ambiental en dos ejes: desarrollo y precaución. Estos ejes se exploraron mediante diferentes escenarios delimitados por altas y nulas restricciones de expansión turística, reflejadas a través del parámetro α (Tabla 2). En la Figura 3 se observa cómo un valor de α pequeño refleja el escenario con la mayor expansión turística, mientras que el escenario con la menor expansión tiene un valor de $\alpha = 10$. El escenario base está dado por $\alpha = 1$.

Escenarios	Valor α
Expansión máxima	0.0001
Expansión alta	0.1
Base	1
Expansión mínima	10

Tabla 2. Escenarios de expansión turística. © LANCIS.

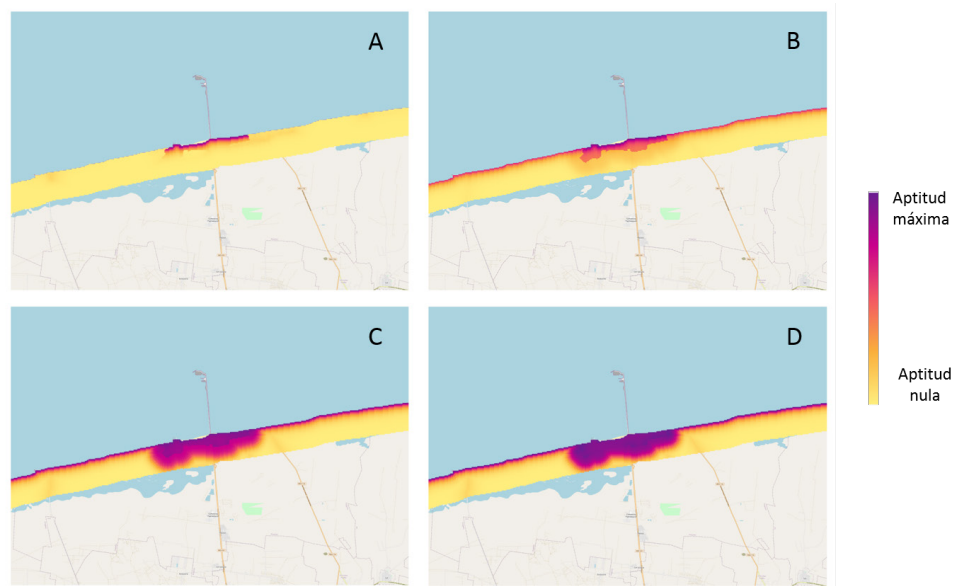


Figura 3. Escenarios de aptitud turística para la zona de Progreso, Yucatán: A. Expansión mínima, B. Base, C. Expansión alta, D. Expansión máxima. © LANCIS.

4. Referencias

- Beinat, E. 1997. *Value functions for environmental management*. *Value Functions for Environmental Management*. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8885-0_4
- Bojórquez-Tapia, L. A., G. M. Cruz-Bello, L. Luna-González, L. Juárez y M. A. Ortiz-Pérez. 2009. V-DRAS-TIC: Using visualization to engage policymakers in groundwater vulnerability assessment. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.005>
- Bojórquez-Tapia, L. A., L. Juárez y G. Cruz-Bello, G. 2002. Integrating fuzzy logic, optimization, and GIS for ecological impact assessments. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2655-1>
- Bojórquez-Tapia, L. A., S. Sánchez-Colon y A. F. Martinez. 2005. Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0127-5>
- Malczewski, J., T. Chapman, C. Flegel, D. Walters, D. Shrubsole y M. A. Healy. 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. *Environ. Plann. A* 35 (10), 1769–1784.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Malczewski, J. 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.003>
- Malczewski, J. y C. Rinner. 2015. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. Analysis methods*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Saaty, R. W. 1987. The analytic hierarchy process-what and how it is used, *Mathl Modelling*, 9(3), 161–176.

