
Aplicación del análisis multicriterio en la valoración del potencial ecoturístico de redes viales forestales: una revisión

Elí-Isaías Calvo-Vazquez¹, Genaro-Esteban García-Mosqueda^{1*}, Dora-Alicia García-García²,
Mario-Alberto García-Aranda³, Carlos Medina-Tello⁴, Melchor García-Valdez¹

¹UAAAN. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila. C.P.: 25315

² Campo Experimental Saltillo. INFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5 No. 9515 Col. Hacienda de Buenavista Saltillo, C.P. 25315. Coahuila de Zaragoza, México.

³Facultad de Ciencias Biológicas, UJED, Av. Universidad S/N Frac. Filadelfia, CP. 35020, Gómez Palacio, Dgo.

⁴Tecnológico Nacional de México. Campus Zitácuaro. Zitácuaro, Michoacán.

Artículo recibido 6 de marzo de 2020 y aceptado 23 de marzo de 2020

Application of multi-criteria analysis in the valuation ecotouristic potential in a forest road network: a review.

Abstract

The implementation of touristic alternatives has had beneficial results on economic development in Mexico, since in recent years has grown significantly because of its great potential to provide ecotourism services. In order to a Natural Area with a tourist potential vocation fulfill its purpose, it should have several characteristics of interest to the public. Which correspond to the natural attributes of the site. Being necessary a correct assignation of the forest use road infrastructure in order to have the maximum use of this natural spaces. The objective of this work is to know the state of art of multicriteria evaluation and its application to determinate the aptitude and ecotouristic potential of a forestry road network. As well as give a glimpse to the multicriteria analysis paradigm in Mexico. Evidencing in this way possible opportunity areas in this research field.

Key words: Multi-criteria analysis, forest road network, ecotourism, GIS, Saaty's analytic hierarchy, weighted linear summation, weighted linear combination methods, tourism management.

Resumen

La implementación del turismo alternativo ha resultado benéfica para el crecimiento económico en México, ya que en los últimos años ha crecido considerablemente debido al gran potencial para proveer servicios ecoturísticos. Para que un área natural con vocación o potencial turístico cumpla con este fin, debe reunir ciertas características de interés al público. Las cuales corresponden a los atributos naturales propios del lugar. Siendo necesaria la correcta asignación del uso de infraestructura vial forestal para el máximo aprovechamiento de los espacios naturales. El objetivo de este trabajo es conocer el estado del arte de la evaluación multicriterio y su aplicación para determinar la aptitud y potencial ecoturístico de una red caminera forestal. Así como vislumbrar el paradigma del análisis multicriterio en México. Evidenciando las posibles áreas de oportunidad en este campo de investigación.

Palabras claves: Análisis multicriterio, red vial forestal, ecoturismo, SIG, Jerarquías Analíticas de Saaty, Sumatoria Lineal Ponderada, métodos lineales ponderados mixtos, gestión de turismo.

*Autor de correspondencia

Email: gegmo2003@yahoo.com

ISSN 2594-0384 (Electrónica)

Introducción

México es uno de los países reconocidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), por la diversidad de sitios naturales y culturales que ofrecen una infinidad de oportunidades para su aprovechamiento turístico. En 2017 México se posiciona en el lugar número 6 a nivel mundial por llegada de turistas internacionales con una derrama de 21.3 millones de dólares, el cual represento el 8.8 % del PIB nacional (SECTUR, 2018; SECTUR, 2017).

La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017), en su publicación “Turismo Sustentable en México” demarca que la oferta de productos y servicios se ha ido transformando de acuerdo a sus características naturales y culturales, orientando sus espacios hacia el ecoturismo, el turismo de aventura y el turismo rural. El ecoturismo realiza actividades recreativas de apreciación y conocimiento de la naturaleza, basadas en el desarrollo sustentable que satisface las necesidades recreativas de las generaciones presentes sin afectar los recursos naturales de las generaciones futuras (Pérez, 2012).

El uso de los sistemas de información geográfica, que son una colección de software que permite crear, visualizar, consultar y analizar datos geoespaciales (información sobre la localización geográfica de la entidad), a través de datos ráster (imágenes de satélite o fotos aéreas) y datos vectoriales (localización a partir de un conjunto de coordenadas X, Y), es una herramienta utilizada para la planeación de proyectos ecoturísticos (Olaya, 2014).

Mediante la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio dentro de los SIG se puede alcanzar una valoración del potencial de un área en específico en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos de la evaluación (Ocaña y Galacho, 2002).

El presente trabajo consiste en determinar el estado del arte del análisis multicriterio, mediante la revisión de estudios realizados, los cuales parten de la consideración de que el correcto desarrollo de actividades recreativo-deportivas en espacios naturales con potencial ecoturístico, requieren de planeación y diseño considerando un amplio conocimiento técnico, no solo cuantitativo, sino que también cualitativo.

Objetivo general

Revisión de las técnicas de análisis multicriterio empleadas en México para la evaluación de las redes camineras que dan soporte a las actividades ecoturísticas.

Objetivos específicos

Revisar los análisis de la evaluación multicriterio y su aplicación a los sistemas de información geográfica, basados en criterios de decisión.

Analizar los diferentes métodos multicriterio usados como herramienta en la toma de decisiones para mejorar la planificación y gestión de las actividades en espacios naturales.

Determinar el potencial, de acuerdo a literatura, de éste tipo de análisis con base en funcionalidad de las redes camineras dentro de espacios ecoturísticos

Metodología

La metodología empleada se basó en consultas de la información disponible previa la selección del tema. Se identificaron las líneas más importantes para la sistematización de la información: ecoturismo, redes camineras forestales, sistemas de información geográfica y la evaluación multicriterio. De esta manera analizar la integración de los modelos de evaluación de aptitudes con ayuda de las técnicas de evaluación multicriterio.

Como parte del desarrollo de este trabajo, a cada línea de investigación se le aplica una revisión sistemática para la selección de las fuentes de información, para lo cual se planteó el siguiente diagrama de flujo (Figura 1).

El turismo es fenómeno social, cultural y económico que supone el desplazamiento de personas a países o lugares fuera de su entorno habitual por motivos personales, profesionales o de negocios. Esas personas se denominan viajeros y el turismo abarca sus actividades, algunas de las cuales suponen un gasto turístico (OMT, 2020).

El turismo alternativo, se define como aquel que realiza actividades recreativas en contacto directo con la naturaleza y las expresiones culturales que la envuelven, con actitud y compromiso de respetar, disfrutar y participar en la conservación de los recursos naturales y culturales. Su principal objetivo es propiciar un desarrollo integral del ser humano (físico, mental, social, cultural y espiritual), además de generar beneficios económicos a la población local y propiciar un turismo comprometido con los principios del desarrollo sustentable (SECTUR,

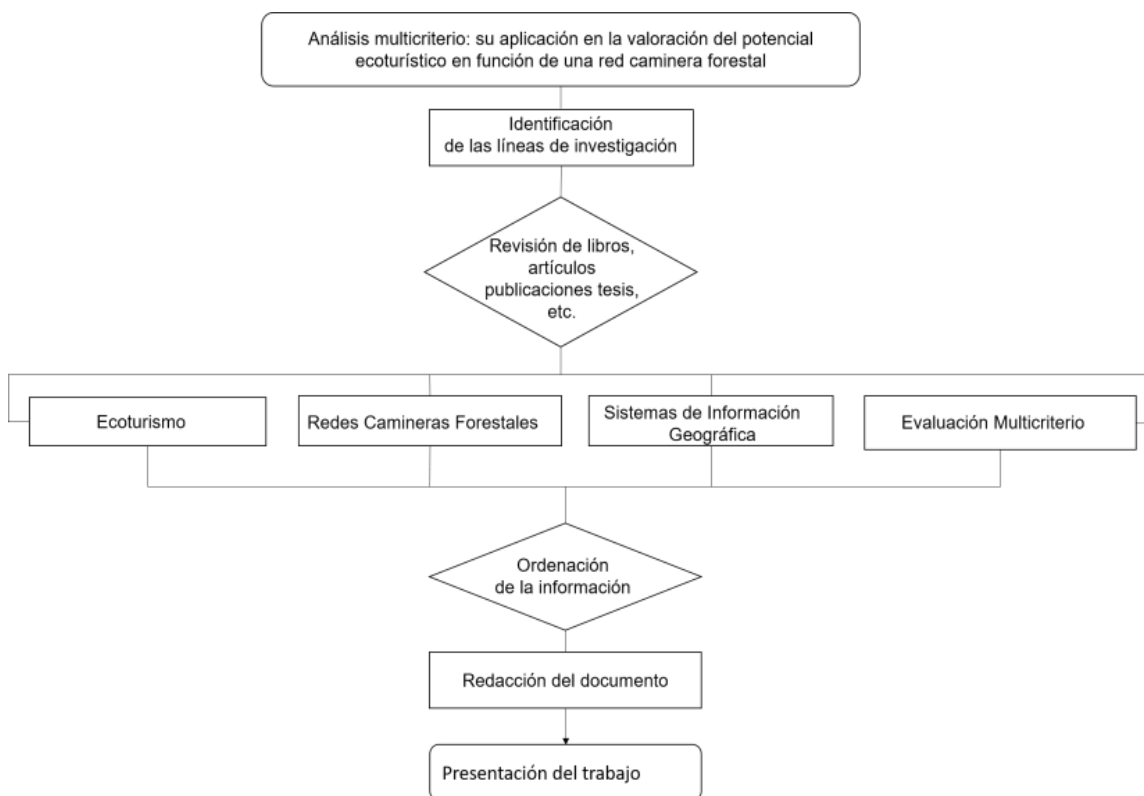


Figura 1. Diagrama de flujo que representa la forma en que se analiza y selecciona la información para la presentación del documento.

2017).

De acuerdo al Compendio de Estadísticas Ambientales el turismo alternativo está dividido en tres grandes segmentos: Ecoturismo, Turismo de aventura, Turismo rural (SEMARNAT, 2010).

La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), define al ecoturismo como: aquella modalidad turística ambientalmente responsable consistente en viajar o visitar áreas naturales sin provocar disturbios relativos con el fin de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales (paisaje, flora y fauna silvestre) de dichas áreas, así como cualquier manifestación cultural (del presente y del pasado) que puedan encontrarse ahí, a través de un proceso que promueve la conservación. Tiene bajo impacto tanto ambiental como cultural y propicia un involucramiento activo y socioeconómicamente benéfico de las poblaciones locales (Ceballos, 1998).

Redes camineras forestales

Las vías de comunicación son de gran importancia en el desarrollo de la vida humana, marcan una pauta importante cuando interactúan en áreas que pueden ser aprovechadas de acuerdo a su potencial turístico por ello es necesario tener claro los conceptos que están relacionados con la infraestructura vial y que en seguida se enlistan.

Vías de comunicación. Los medios de comunicación por tierra, agua y aire son conocidos como motores de la vida social, y poderosos instrumentos de la civilización, apareciendo en cada uno de ellos variedades que dependen de la clase de elemento y de su manera de utilizarlo (Crespo, 2004).

Caminos y carreteras. Según Crespo (2004), en su libro sobre "Vías de comunicación" algunos acostumbran denominar "caminos" a las vías rurales, mientras que el nombre de "carreteras" se adjudica a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos.

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

Caminos forestales. Los caminos forestales son complejas estructuras de ingeniería de las que dependen el transporte eficiente y acceso seguro al bosque (Weaver *et al.*; 2014). Estas infraestructuras permiten el acceso al bosque con el fin de servir para el aprovechamiento forestal, además de otras funciones como el uso recreativo y la ordenación de la vida silvestre (FAO, 1996).

Senderos interpretativos. Los senderos interpretativos se definen como infraestructuras organizadas que se encuentran en el medio natural, rural o urbano para facilitar y favorecer al visitante la realización y recreación con el entorno natural o área protegida donde se emplace el sendero (SECTUR, 2004).

Red de caminos. La red de caminos o red vial es la estructura o configuración que determina la unión de diferentes infraestructuras viales que se construyen dentro y fuera de un área forestal que permiten el acceso a las áreas forestales hasta un punto de interés (Gayoso y Acuña, 1999).

Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica se pueden definir como una tecnología que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc.; de información geográfica (Goodchild, 2000).

Capas temáticas. Son un conjunto de elementos geográficos lógicamente relacionados y sus atributos temáticos, pero además se puede entender como la separación lógica de los datos espaciales de un mapa de acuerdo a un tema determinado, así cada capa almacena un tipo particular y homogéneo de objetos espaciales (Aronoff, 1989). Una vez que una variable temática ha sido introducida en el SIG, recibe el nombre de capa temática, la cual representa una tipología específica de elementos del mundo real (Gómez y Barredo, 2005).

Análisis espacial. Se define como un amplio conjunto de procedimientos encaminados al estudio de los datos geográficos, en los que se considera de alguna manera sus características espaciales y la manera de cómo se comportan bajo ciertas

condiciones (Unwin, 1981).

Sistemas de información geográfica (SIG). El desarrollo que han tenido los SIG desde sus orígenes hasta nuestros días es importante. Por ello en este apartado se mencionan los primeros acontecimientos que establecieron las bases para el concepto de SIG, hasta la concepción moderna de este.

Durante décadas los sistemas de información geográfica se han aplicado a problemas de gestión territorial y de recursos naturales, a cuestiones relacionados con el medio ambiente. Los SIG han puesto un cambio paradigmático tecnológico e intelectual, fundamentalmente en el ámbito de las geociencias y de la cartografía (Del Bosque *et al.*, 2012).

Las operaciones que pueden realizarse en un SIG con la información de la base de datos son diversas, en la figura 2 se describen las principales operaciones que hoy en día es posible de realizar (Gómez y Barredo, 2005).

Evaluación multicriterio

En este capítulo se presentan primeramente definiciones de los conceptos en el entorno de la evaluación multicriterio (EMC), así como una breve historia de éstos. Posteriormente se describirán los métodos EMC más conocidos en este campo de aplicación.

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El cual busca investigar un número de alternativas bajo múltiples criterios y objetivos en conflicto, generando soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de solución (Voogd, 1982).

Decisión multicriterio. La toma de decisiones multicriterio puede entenderse como un mundo de conceptos, enfoques, modelos y métodos que pueden ayudar a los responsables de la toma de decisiones a describir, evaluar, ordenar, clasificar, seleccionar objetos candidatos, productos, proyectos, etc., con base en una evaluación expresada en puntajes, valores e intensidades, considerando una serie de criterios seleccionados previamente. Estos criterios pueden representar distintos aspectos: objetivos, metas, valores de referencia y niveles de aspiración, así como la utilidad (Colson y De Bruyn, 1989).

El análisis multicriterio y los modelos de decisión multiobjetivo favorecen a un análisis equilibrado de todas las facetas de los problemas de planificación, debido a que varios efectos intangibles, tales como los sociales y las repercusiones ambientales pueden

ser considerados cabalmente (Nijkamp y Van Delft, 1977). Según Gómez y Barredo (2005) se identifican los siguientes métodos EMC, que se han empleado en la interacción con los SIG-EMC, los cuales serán descritos (Figura 3).

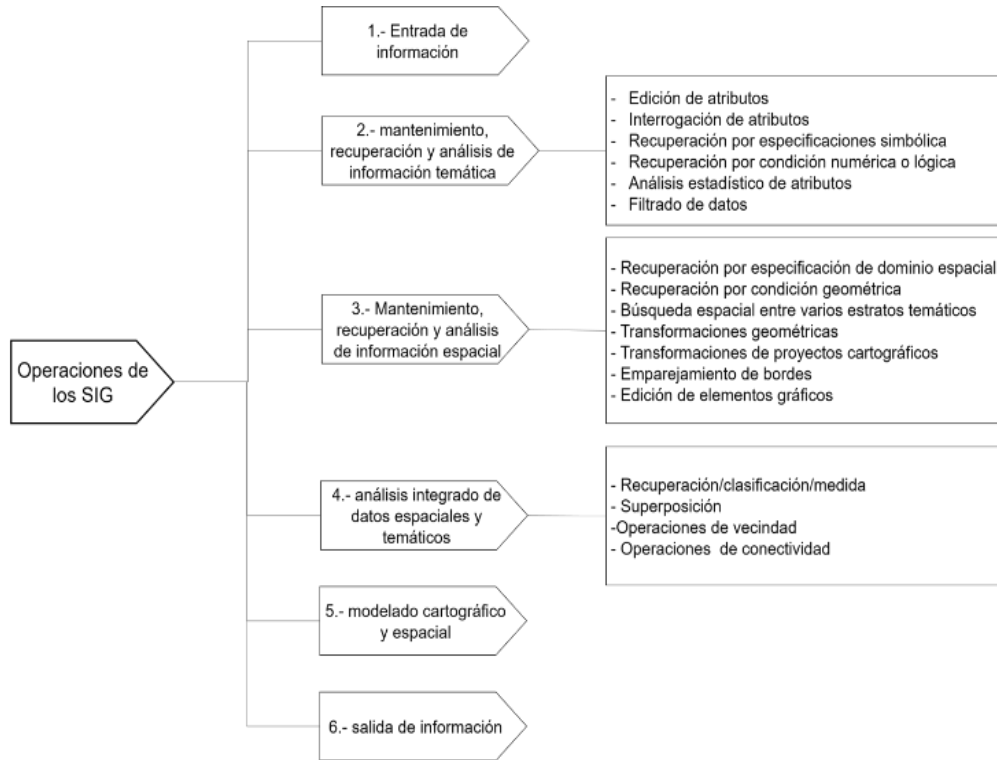


Figura 2. Operaciones de los SIG (Gómez y Barredo, 2005).

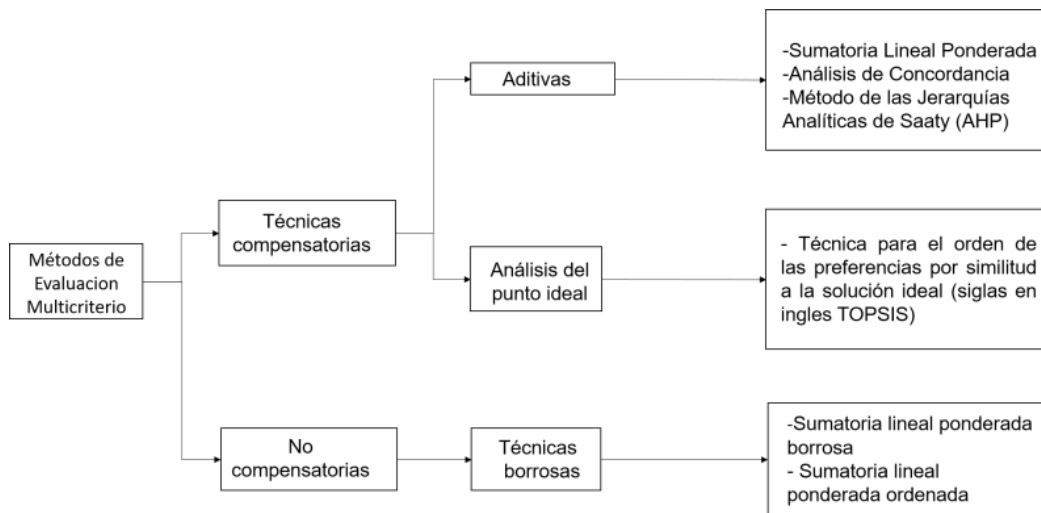


Figura 3. Métodos de Evaluación Multicriterio (Gómez y Barredo, 2005).

La regla de decisión. Gómez y Barredo (2005), mencionan que la toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos. Por convicción la regla de decisión es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación en particular, además de ser comparativa con otras evaluaciones con el fin de elegir la mejor entre varias alternativas (Figura 4) (Toskano, 2005)

Las tres primeras fases del proceso decisorio constituyen a la estructuración del problema, mientras que en las dos últimas fases son el análisis del mismo. Sin embargo, para la fase del análisis del proceso puede asumir dos formas básicas: cualitativa y cuantitativa (Figura 5).

En el análisis cualitativo está basado en el razonamiento y la experiencia del decisor, incluso la intuición del decisor sobre el problema. Mientras que el enfoque cuantitativo, el análisis se centra en hechos o datos en relación al problema y expresados matemáticamente se describen los objetivos, restricciones y las relaciones existentes en el problema.

En el análisis de decisión implica un proceso

racional en donde pueden presentarse problemas de decisión de un criterio y problemas de decisión multicriterio (Gómez y Barredo, 2005). En este sentido el proceso de decisión puede verse envuelto en tres categorías.

Toma de decisiones bajo certidumbre. Se refiere a la condición en que los involucrados son plenamente informados sobre un problema, las soluciones son obvias y los posibles resultados de cada decisión se tornan con claridad (Alvarenga et al., 2009).

Toma de decisiones bajo riesgo. Los casos de riesgo son particulares y la decisión a estos resultados posibles se les otorga una distribución de probabilidad (Alvarenga, et al, 2009; Begoña, 2007).

Toma de decisiones bajo incertidumbre. La incertidumbre hace referencia a aquella situación en la que no existe certeza sobre el resultado de la decisión, aun cuando se conoce al menos la probabilidad de los distintos resultados alternativos (Alvarenga et al., 2009; Begoña, 2007; Toskano, 2005).

Función de selección. Existen dos tipos de reglas de decisión. La selección: aquellas que utilizan un

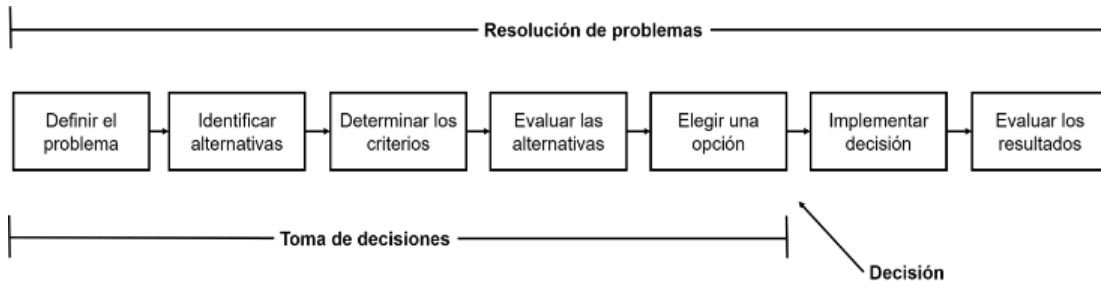


Figura 4. La regla de decisión multicriterio (Toskano, 2005).

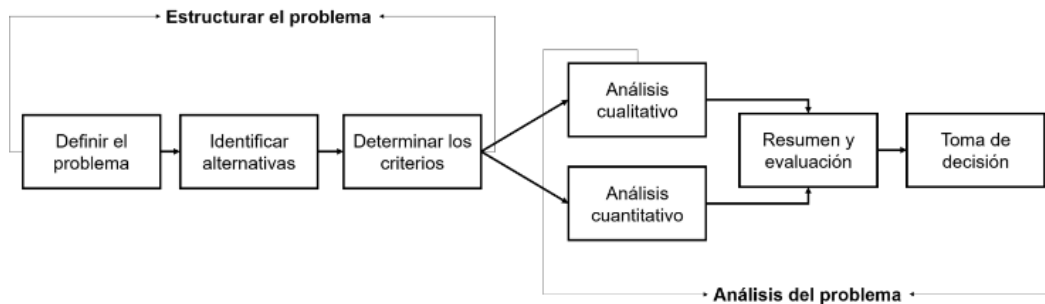


Figura 5. Fases de la regla de decisión (Toskano 2005).

proceso de clasificación y las que utilizan un proceso de selección. La función de selección es el procedimiento matemático utilizado para comparar alternativas y seleccionar aquella que mejor cumpla los objetivos o metas que se pretenden lograr con el proyecto. En la mayoría de los casos esto se logra mediante un proceso de optimización y comparación de todas las posibles soluciones (Fallas, 2002).

Selección heurística. Es de uso común debido a su simplicidad de comprensión e implementación. En este caso no se utiliza una función matemática para guiar el proceso de evaluación y selección de alternativas, sino que más bien se especifica el procedimiento a seguir en la evaluación y selección de la mejor alternativa. Este mecanismo de evaluación y selección es más amigable al usuario que el matemático, es más fácil de implementar y por lo tanto es muy utilizado (Gómez y Barredo, 2005; Fallas, 2002).

La evaluación. Se logra con base en los objetivos específicos que indiquen como va a actuar la regla de decisión, los criterios se estructuran en función de los objetivos propuestos, esto quiere decir que cada objetivo puede estar representado por uno o varios criterios cuya optimización logrará los objetivos (Gómez y Barredo, 2005).

Los procedimientos de la EMC aplicables en los SIG, están basados en su funcionamiento aritmético lo cual se ha definido como “Regla de Decisión”, que es la forma en que se evalúa y como resultado final se obtiene el modelo de decisión (Gómez y Barredo, 2005; Reyes, 2013).

La evaluación multicriterio y su organización. Voogd (1983), menciona la mejor forma de ordenar una relación de criterios con alternativas que define la EMC, la cual es una matriz. De ahí la importancia de la asignación de valores a las alternativas por parte del centro decisor, debido a que en la mayoría de las veces las variables o criterios a evaluar no están medidos en escalas de intervalo o razón, sino que por el contrario estos se presentan frecuentemente en los SIG, en escala nominal (Gómez y Barredo, 2005).

Es necesario tener información relativa adjunta a cada criterio, debido a que a menudo sucede que algunos criterios entran en conflicto, lo que hace casi imposible una interpretación directa de la matriz. Esta matriz recibe otros nombres como, matriz de puntuaciones matriz de efectividad, matriz de proyecto-efecto, o bien, matriz de evaluación

(Cuadro 1) (Voogd, 1983).

Cuadro 1. Matriz de puntuaciones de los criterios (Gómez y Barredo, 2005).

		ALTERNATIVAS (i)					
		1	2	3	.	.	I
CRITERIOS (j)	1	PUNTUACIONES DE CRITERIOS (X ij)					
	2						
	3						
	.						
	.						
	J						

En la matriz que aparece en el cuadro 1, los criterios (j) se pueden enlistar en la columna principal, dejando a las alternativas en la fila principal (i). Los valores internos de esta matriz reciben el nombre de puntuaciones de criterios (X ij), estos representan el valor que ha obtenido cada alternativa en función de cada criterio (Gómez y Barredo, 2005).

En esta matriz se establece la importancia de cada valor respecto a cada uno de los demás, siendo esta etapa marca indudable del resultado del proceso de evaluación (Galacho *et al.*, 2011).

De acuerdo con Gómez y Barredo (2005), una vez que se constituye la matriz de evaluación, debe tomarse en cuenta la importancia relativa de cada criterio frente al tipo de evaluación que se pretenda realizar y deberá contarse con abundantes criterios de evaluación, para que el problema sea mejor interpretado. Definiendo un orden de importancia de mayor a menor, estableciendo preferencias a través de valores que definan en términos cuantitativos la importancia de cada criterio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Matriz de asignación de los pesos (Gómez y Barredo, 2005).

		Criterios (j)					
		1	2	3	.	.	J
Puntos de vista (v)	1	Pesos (W j)					
	2						
	3						
	.						
	.						
	v						

A partir de la puntuación de los criterios y de la asignación de pesos, podemos acceder a uno de los procedimientos de EMC (que se describirán más adelante), para la asignación de valores a cada alternativa a la luz de los criterios de cada punto de vista; teniendo como resultado la matriz de valoración, en donde cada alternativa obtendrá un valor de acuerdo a cada punto de vista que se plantea (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de valoración (Gómez y Barredo, 2005).

		Alternativas (j)					
		1	2	3	...	J	
Puntos de vista (v)	1	Valores (r _j)					
	2						
	3						
	...						
	...						
	V						

Métodos de evaluación multicriterio. Los problemas relacionados a la toma de decisiones espaciales, como la selección del sitio y la asignación del uso de la tierra, demandan que quienes toman las decisiones consideren indudablemente los impactos de las alternativas de elección en múltiples escenarios, para elegir la mejor alternativa. En figura 6 se clasifican los métodos de decisión multicriterio según Jankowski, (1995). De acuerdo con lo establecido por Garcés (2015), los métodos de evaluación multicriterio compensatorias se pueden dividir en dos subclases, de acuerdo con el método de la agregación de las

ponderaciones de los criterios y prioridades de la toma de decisiones:

-Técnicas aditivas. Para éstas, las puntuaciones de los criterios están estandarizadas para permitir la compensación entre los criterios y permitir la comparación en una escala común. La puntuación de cada alternativa se obtiene del producto, peso por el criterio de puntuación de criterio de desempeño; en la cual se selecciona la alternativa que obtenga la puntuación más alta.

-Técnicas basadas en la aproximación del punto ideal. Mientras que para las técnicas de EMC basadas en el concepto de punto ideal, al decisor se le pide establecer un conjunto de soluciones ideales, en donde debe especificar el valor más deseable para cada criterio de decisión. Entonces, la distancia entre la solución ideal y cada alternativa considerada se mide usando una distancia euclidiana o una medida de distancia no lineal con el fin de llegar a la clasificación de las alternativas.

Sumatoria lineal ponderada. Barba-Romero en su publicación de 1996, denota que el método de ponderación lineal es el que más emplean en este tipo de evaluaciones por ser práctico, intuitivo y fácil de implementar, y parte de la siguiente ecuación.

$$ri = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Donde

ri: es el nivel de adecuación de la alternativa **i**

wj: es el peso del criterio **j**

vij: es el valor ponderado de la alternativa **i** en el criterio **j**

Este método es muy sencillo, pero es sumamente

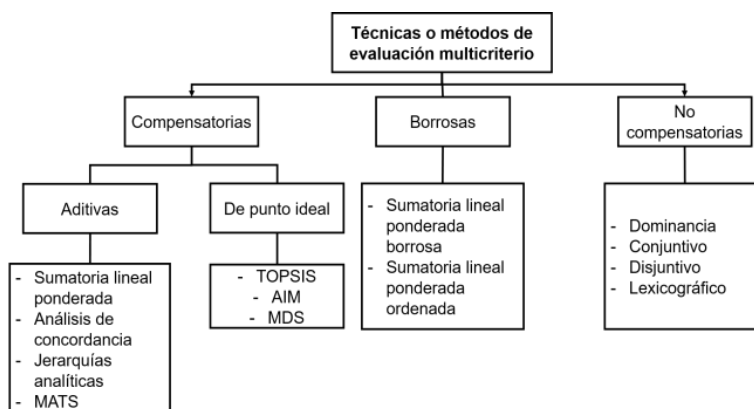


Figura 6. Técnicas o métodos de evaluación multicriterio (Gómez y Barredo, 2005).

importante detallar de manera precisa los datos de partida, la elaboración previa de los mismos y la aplicación del método en sí.

A) Datos de partida. Se parte de un problema de decisión multicriterio con m alternativas y n criterios. La característica objetiva o la utilidad que, para el criterio j , el decisor estima que tiene cada alternativa i , la recoge a_{ij} de la matriz de decisión, que supondremos son de tipo cardinal.

B) Elaboración previa de los datos. Luego se procede a la normalización de las evaluaciones a_{ij} por cualquiera de los procedimientos de normalización que no alteran la proporcionalidad. Los nuevos a_{ij} deben quedar comprendidos entre 0 y 1, con mejor evaluación en cuanto resulte más cercano a 1. Para llevar a cabo esta normalización se debe dividir los pesos originales por la suma de todos ellos.

C) Aplicación del método. Para cada alternativa i se calcula su puntuación global, una vez realizado este proceso la alternativa que obtenga el mayor puntaje será la que se seleccione.

Este método permite abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información, en este método se construye una función de valor para cada una de las alternativas (Toskano, 2005).

El análisis del punto ideal conlleva que en el proceso se utilicen las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio. Es una forma de ordenar linealmente las alternativas en las que hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo y no directamente las propias puntuaciones, a partir de la estructura inicial del procedimiento (Galacho *et al.*, 2016).

La ecuación siguiente establece el cálculo del punto ideal (Gómez y Barredo, 2005).

$$Lp = \left[\sum_{j=1}^n W_j |X_{ij} - 1|^p \right]^{1/p}$$

Donde

W_j : peso del criterio j

X_{ij} : valor de la alternativa i en el criterio j

p : métrica para el cálculo de la distancia ($p=2$ corresponde a la distancia euclidiana)

En el cálculo de la distancia al punto ideal se entiende que no todos los criterios tienen la misma importancia, es por ello que son sometidos a

puntuación para averiguar el peso de cada uno de forma individual y posteriormente aplicarlo al proceso (Galacho *et al.*, 2016).

Discusión

El potencial puede ser entendido como un adjetivo que hace referencia a lo que puede existir en el área, pero además se ha utilizado para referirse a la aptitud o uso de un área. Entonces la evaluación de la aptitud del territorio define el potencial de éste para desarrollar actividades con base en las cualidades que posee (Mikery y Pérez-Vázquez, 2014). Determinar el potencial ecoturístico del territorio implica abordar enfoques de investigación multidisciplinarios capaces de comprender la complejidad del territorio (Franco-Maass, 2009). Reyes-Pérez *et al.* (2012), señalan la relación entre los recursos y la infraestructura que atiende las necesidades de los visitantes. Por su parte Galacho (2016), considera que para la práctica de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales se deben analizar los efectos que éstas producen o pueden llegar a producir. Dentro del conjunto de dichos elementos destacamos las infraestructuras viales, compuestas principalmente por senderos, caminos rurales y pistas forestales.

Si bien los métodos multicriterio aunado a los modelos de decisión multiobjetivo nos ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado en la resolución de problemas (Gómez y Barredo, 2005; González, 2017), no están exentos de caer en la comparativa de cuáles son sus alcances y limitantes (Mikery y Pérez-Vázquez, 2014). Es importante la distinción del problema, así se distinguen dos grupos muy diferenciados, por un lado, aquellos en que el conjunto de alternativas a considerar por parte del centro decisor es infinito. Además, se encuentran los problemas de decisión de tipo discreto, donde el conjunto de alternativas es finito y normalmente no muy elevado (Muñoz y Romana, 2016).

Muchos trabajos se basan en el empleo de MJA de Saaty (AHP), ésta técnica permite establecer una jerarquía de criterios a través de la cual se realiza tanto la comprensión y análisis del problema como su solución, resultando ser muy práctica en su aplicación afirma Pérez-Vivar *et al.* (2012).

Se han diseñado métodos que miden la compatibilidad de tipo cualitativo que determinan un valor binario, ausencia/presencia, basado en la

descripción de información del área de interés. Y los cuantitativos que utilizan herramientas numéricas, estadísticas o analíticas, para la medición de cualidades del ambiente (suelo, vegetación, fauna, topografía, hidrografía, etc.), que en consecuencia se obtiene la aptitud (Pérez-Vivar *et al.*, 2012).

Los métodos que utilizan herramientas analíticas incorporan procesos específicos en el contexto de apoyo a la toma de decisiones, deben permitir el estudio de las características cualitativas así como las cuantitativas, la generación de un modelo detallado de la realidad con la información disponible, un grado de integración con herramientas SIG para el análisis espacial, y por último generar un gradiente de aptitud que identifica a cada espacio geográfico (Luque, 2003). Este tipo de métodos es el más adecuado para abordar el estudio de aptitud ecoturística bajo la premisa de que la información confiable es condición indispensable para la toma de decisiones en proceso de planeación (Muñoz y Romana, 2016).

Arroyo y Torrez en (2003), proponen una metodología basados en análisis de concordancia, en donde se seleccionaron como criterios el acceso a recursos naturales, la integración de mercados intrarregionales y el tamaño de la población. A través del cual fue posible determinar la importancia de la construcción o rehabilitación de los caminos rurales, en el estado de Oaxaca.

En 2007 Flores-Monter, mediante la aplicación de la técnica Proceso de Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP), obtuvo la georreferenciación de impactos potenciales del turismo en la anidación de las tortugas marinas en Chalacatepec, Jalisco

Conclusiones

Los métodos multicriterio son una herramienta de gran utilidad para determinar el impacto de acciones sobre una condición, mediante la implementación de soluciones compromiso.

Es importante que el responsable de la toma de decisiones conozca ampliamente el campo en que desea incursionar, para que el modelo matemático seleccionado reúna todos y cada uno de los elementos que tenga establecido el decisor sin necesidad de cambiarlos.

La combinación de herramientas multicriterio y sistemas de información geográfica, permite abordar eficientemente diversos problemas del

territorio en relación con ciertas funciones o actividades previamente seleccionadas como objetivos concretos de la evaluación.

En México la evaluación de la aptitud ecoturística con enfoque en infraestructuras viales, hasta la fecha, no figura en la literatura como un campo definido de estudio, existiendo aún un reducido número de trabajos con este enfoque.

Debido a su practicidad el método de las Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP), es el que más se ha aplicado en México, seguido de la Sumatoria Lineal Ponderada, Incluso métodos mixtos.

De acuerdo a lo descrito, se recomienda la utilización del análisis multicriterio, ya que es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones entorno al uso adecuado de la red vial forestal, como soporte a las actividades de ecoturismo, y la conservación de los recursos naturales; favoreciendo así el desarrollo de las zonas rurales y forestales.

Referencias

- Alvarenga A., A.R., Blanco H., C.A., Vásquez V., D.B. 2009. Introducción a la teoría de decisión estadística. Universidad de el Salvador. Ciudad Universitaria, El Salvador. pp. 12-30.
- Aronoff, S. 1989. Geographical Information Systems: A Management Perspective. Ottawa, WDL, publications. 294 p.
- Arroyo O., J.A., Torrez V., G. 2003. Metodología de evaluación social de proyectos de caminos rurales en México. Instituto Mexicano del Transporte. No. 234. Sanfandila, Querétaro. 67 p.
- Barba-Romero, S. 1996. Manual para la toma de decisiones multicriterio. Instituto Latinoamericano del Caribe de Planificación Económica y Social. 78 p.
- Bonis M., V. 2011. Decisión multicriterio booleana, probabilística y posibilística borrosa de la distribución de *Abies pinsapo* Boiss. Facultad de geografía Madrid. Universidad Complutense de Madrid. 65 p.
- Colson, G., De Bruyn, C., Rodin, E. 1989. Models and methods in multiple objective decision making. Models and methods in multiple criteria decision making. London, Pergamon. 1201 p.
- Del Bosque G., I., Fernández, F.C., Martín-Forero M., L., Pérez A., E. 2012. Los Sistemas de Información Geográfica y la investigación en ciencias humanas y sociales. Apuntes de ciencias instrumentales y técnicas de investigación. No. 3. Madrid. 143 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1996. Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO. Capítulo 3. La ingeniería de las carreteras forestales Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/v6530s/v6530s00.htm>.
- Fallas, J. 2002. Sistema de Posicionamiento Global. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica. 46 P.
- Flores-Monter, Y., Aceves-Quesada, F., García-Romero, A., Peters R., E.M. 2015. Análisis multicriterio del impacto

- potencial del turismo en la anidación de las tortugas marinas en Chalacatepec, Jalisco. *Revista Electrónica Nova Scientia*. México. Vol.7 (2). No. 14. pp. 644-673.
- Franco-Maass, S., Osorio-García, M., Nava-Bernal, G., Regil-García, H.H. 2009. Evaluación multicriterio de los recursos turísticos: Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Estudios y perspectivas en turismo*. Centro de investigaciones y Estudios Turísticos. Argentina. Volumen 18. No. 2. pp. 208-226.
- Galacho J, F.B., Reyes C, s., Arrebola C, J.A. 2016. Procedimiento de análisis combinado con SIG y técnicas multicriterio de la evaluación de la aptitud y el régimen de uso de senderos, caminos y pistas en espacios naturales. XVII congreso nacional de tecnologías de información geográfica. Málaga, España. pp. 120-130.
- Galacho J., F.B., Arrebola C., J.A., Luque G., A.M. 2011. Metodología de la evaluación de la aptitud con relación a las infraestructuras viales ligadas a las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales. Universidad de Málaga. España. 25 p.
- Garcés O., J.H. 2015. Aplicación de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica para el modelado de la capacidad de acogida para la localización de viviendas de mediana densidad: Caso de estudio cuenca del río Guadalajara (Valle del Cauca). Facultad de Humanidades de la Universidad del Valle. Colombia. 78 p.
- Gayoso, J., Acuña, M. 1999. Guía decampo. Mejores prácticas de manejo forestal. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: <http://www.uach.cl/proforma/gcampo/gbmps.pdf>.
- Goodchild, M. 2000. New horizons for the social sciences: geographic information systems. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris. pp. 163-172.
- Gómez D., M., Barredo C., J.I. 2005. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Alfa Omega. México 2º edición. 247 p.
- Jankowski, P. 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International journal of Geographical Information Systems*. Vol. 9. No. 3. pp 251-273. DOI: 10.1080/02693799508902036.
- Mikery G., M.J., Pérez-Vázquez, A. 2014. Métodos para el análisis del potencial turístico del territorio rural. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. No. 9. pp. 1729-1740.
- Muñoz, B., Romana, G.M. 2016. Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. *Revista Pensamiento Matemático*. Vol. VI. No. 2. pp. 27-46.
- Nijkamp, P., Van Delft, A. 1977. Multi-Criteria analysis and Regional Decision-Making. Springer US. No.1. 140 p.
- Ocaña O., C., Galacho J, F.B. 2002. Un modelo de aplicación de sig y evaluación multicriterio, al análisis de la capacidad del territorio en relación a funciones turísticas. IV congreso "turismo y tecnologías de la información y las comunicaciones" TuriTec. Universidad de Málaga. España. pp. 235-253.
- Olaya, V. 2014. Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf.
- OMT. Organización Mundial de Turismo. 2020. Glosario de términos de turismo. Recuperado de: <https://www.unwto.org/es/glosario-terminos-turisticos>.
- Pérez-Vivar, M.A., González-Guillen, M.J., Valdez-Lazalde, J.R., De los Santos-Posadas, H.M., Ángeles-Pérez, G. 2012. Diseño de un sistema de cómputo para determinar aptitud ecoturística de áreas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Texcoco, México. pp. 14-28.
- Pérez-Vivar, M.A., González-Guillen, M.J., Valdez-Lazalde, J.R. 2012. Métodos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Texcoco, México. pp. 272-289.
- Pérez-Vivar, M.A., González-Guillen, M.J., Valdez-Lazalde, J.R., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez G. 2014. Aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México. *Madera y Bosques*. Vol. 20. No. 2. Pp 127-140.
- Reyes-Pérez, O., Vazquez-Solís, V., Reyes-Hernández, H., Nicolás-Caretta, M., Rivera-González J. G. 2012. Potencial turístico de la región Huasteca del estado de San Luis Potosí, México. *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. XII. No. 38. pp. 249-275.
- SECTUR, Secretaria de Turismo. 2004. Guía para el diseño y operación de senderos interpretativos. México, D.F. 1ª edición. 145 P.
- SECTUR, Secretaria de Turismo. 2017. Compendio estadístico del turismo en México 2017. México. 9 p.
- SECTUR, Secretaria de Turismo. 2018. Nuestro turismo, el gran motor de la economía nacional. México. Primera edición. 122 p.
- SEMARNAT, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). Turismo sustentable en México. Ciudad de México. Primera edición. 51 p.
- SEMARNAT. 2010 Compendio de Estadísticas Ambientales. Turismo. Recuperado de: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio_2010/02_ekonomica/turismo.html.
- Unwin, D. 1981. *Introductory spatial analysis*. Computers and Geosciences. London, Methuen and New York. 819-820 p.
- Voogd, J.H. 1982. Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Gouda, the Netherlands. 380 p. DOI: 10.6100/IR102252.
- Voogd, J.H. 1983. Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data. Delft University of Technology. The Netherlands. 29 p.
- Weaver, W., Weppner, E., Hagans D. (2014). *Manual de caminos forestales y rurales: Una guía para planificar, diseñar, construir, reconstruir, mejorar, mantener y cerrar caminos forestales*. El Libro Verde. Distrito de conservación de recursos del condado de mendocino. Ukiah, California. 416 p.