

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Análisis Multicriterio: su Aplicación en la Valoración del Potencial Ecoturístico en  
Función de una Red Caminera Forestal

Por:

**ELÍ ISAÍAS CALVO VÁZQUEZ**

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis Multicriterio: su Aplicación en la Valoración del Potencial Ecoturístico en  
Función de una Red Caminera Forestal

Por:

**ELÍ ISAÍAS CALVO VÁZQUEZ**

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

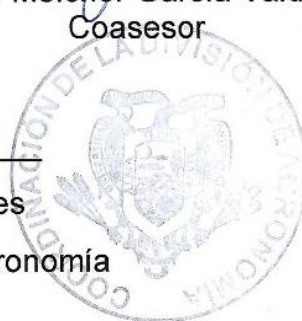
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Genaro Esteban García Mosqueda

Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Alberto García Aranda  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Melchor García Valdés  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres María Isabel Vázquez Ruiz y Refugio Isaías Calvo Hernández, por todo el apoyo incondicional que me han brindado y tantos consejos para ser cada día mejor persona. Y por su gran esfuerzo y sacrificio que día a día realizaron para para que pudiera cumplir mi objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia que siempre está al pendiente, y de una u otra manera su apoyo moral siempre he tenido.

A Mis hermanos que sin duda alguna son de lo mejor en mi vida, por tanto que hemos pasado. Momentos de tristeza, alegrías, discordias, pero aun así siempre nos hemos mantenido unidos, tal como nuestra familia nos ha inculcado.

Al Dr. Genaro Esteban García Mosqueda, por su valioso tiempo, apoyo y paciencia durante el desarrollo de esta investigación, y por haber confiado en que podría cumplir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

Al Dr. Mario Alberto García Aranda por ser parte de este gran equipo de trabajo, y aportar valiosas ideas en la etapa de investigación.

Al M.C. Melchor García Valdés por el tiempo dedicado en la elaboración del presente documento.

A todos los Maestros del Departamento Forestal quienes fueron parte fundamental en mi formación tanto ética como profesional.

A mi primo el Ingeniero Ronay de Jesús Calvo Utrilla, por apoyarme siempre que ha sido posible y por tantos consejos.

A los Ingenieros Agrónomos en Producción de la generación CXX con quienes tuve la oportunidad de convivir, y pasar momentos que sin duda fueron muy agradables. Recuerdos que llevare por siempre.

A mis compañeros de generación. Por tantos momentos que compartimos durante nuestra estancia en la universidad. Y gracias a todos aquellos que me han brindado su amistad al paso del tiempo, por su motivación a seguir adelante, por sus consejos y tiempo compartido.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	v
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 METODOLOGÍA .....	4
4 REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
4.1 Ecoturismo .....	6
4.1.1 Definición de conceptos .....	6
4.1.2 Antecedentes .....	7
4.2 Redes camineras forestales .....	8
4.2.1 Definición de conceptos .....	9
4.2.2 Antecedentes .....	10
4.3 Sistemas de información geográfica .....	11
4.3.1 Definición de conceptos .....	11
4.3.2 Antecedentes de los SIG .....	12
4.4 Evaluación Multicriterio .....	14
4.4.1 Definición de conceptos .....	14
4.5 Antecedentes de la evaluación multicriterio (EMC) .....	15
4.6 Métodos de Evaluación Multicriterio .....	22
4.6.1 Técnicas compensatorias .....	22
4.7 Técnicas compensatorias basadas en el análisis del punto ideal .....	29
4.8 Técnicas no compensatorias .....	32
4.9 Técnicas borrosas .....	33
4.10 Integración de SIG y EMC .....	41
4.11 La EMC como herramienta en la determinación del potencial ecoturístico en base a la funcionalidad de las redes camineras .....	44
5 DISCUSIÓN .....	49
6 CONCLUSIONES .....	53

<b>7</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de puntuaciones de los criterios, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	20
Cuadro 2. Matriz de asignación de los pesos, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	21
Cuadro 3. Matriz de valoración, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005....	21
Cuadro 4. Matriz de comparación por pares, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	27
Cuadro 5. Matriz de normalización de factores, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	28
Cuadro 6. Matriz de cálculo de pesos de cada factor, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	29
Cuadro 7. Resultados de diferentes aplicaciones de pesos ordenados en el método OWA, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005. ....	41
Cuadro 8. Principales métodos aplicados en México para determinar la aptitud de áreas con potencial ecoturístico, elaboración propia.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo que representa la forma en que se analiza y selecciona la información para la presentación del documento.....	4
Figura 2. Estructura del cuerpo del documento.....	5
Figura 3. Operaciones de los SIG, tomado de Gómez y Barredo, 2005. ....	14
Figura 4. Métodos de Evaluación Multicriterio, a partir de Gómez y Barredo, 2005. ....	16
Figura 5. La regla de decisión multicriterio, Toskano, 2005. ....	17
Figura 6. Fases de la regla de decisión, elaboración a partir de Toskano 2005. ..	17
Figura 7. Técnicas o métodos de evaluación multicriterio, elaboración a partir de Gómez y Barredo, 2005. ....	22
Figura 8. Comparación de objetos con límites bien definidos y límites borrosos Fisher 1996, tomado de Gómez y Barredo, 2005. ....	34
Figura 9. Modelos de conjuntos borrosos en base a funciones de pertenencia, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005). ....	35
Figura 10. Valores de los factores implicados en el cálculo de la sumatoria lineal ponderada borrosa, tomado de Gómez y Barredo, 2005. ....	37
Figura 11. Aplicación del método de la sumatoria ponderada borrosa, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005. ....	38
Figura 12. Valores finales para cada variable, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	38
Figura 13. Representación del método de la sumatoria ponderada borrosa, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.....	39
Figura 14. Método OWA, espacio de decisión en función del riesgo y la compensación asumidos, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005. ....	40
Figura 15. Modelo racional, elaborado a partir de (Gómez y Barredo, 2005). ....	44
Figura 16. Sistema turístico y sus componentes, tomado de Mikery y Pérez-Vázquez, 2014.....	45
Figura 17. Principales ámbitos del entorno rural e infraestructuras viales, elaboración a partir de Shiba, 1995.....	46



## **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 clave: Evaluación multicriterio, red caminera, ecoturismo, SIG.

## **ABSTRACT**

The implementation of alternative tourism has beneficial results on economic development in Mexico, because in the last 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 this purpose, it should have several characteristics of interest to the public. Which correspond to natural attributes of the place. 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 ecoturistic 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.

Keywords: Multicriteria evaluation, road network, ecotoruism, GIS.

# 1 INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el turismo se ha convertido en una de las actividades socioeconómicas más importantes para el desarrollo, prosperidad y bienestar. 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).

Por esto es importante que las actividades a desarrollar sean compatibles con el medio ambiente, para ello es necesario una buena planificación para la implementación de infraestructuras ecoturísticas. Además de las grandes infraestructuras existentes en cualquier proyecto ecoturístico se necesitan otras para que el visitante se encuentre a gusto y disfrute de la naturaleza, como por ejemplo, los senderos, caminos y carreteras. Estos influyen de manera importante en la perdida y destrucción de hábitats. Para que el impacto sea lo más mínimo posible deben diseñarse y construirse de la manera más ecológica posible, buscando que se camuflen o puedan integrarse al máximo en el terreno, que no se erosionen demasiado rápido y sean prácticos para su limpieza. (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 raster (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.

La falta de herramientas que ayuden a la gestión y planificación de las actividades que se realizan en estos espacios naturales, pueden marcar la pauta en la eficiencia de la infraestructura ligada directamente a las actividades ecoturísticas. Por ello es importante considerar el análisis espacial del territorio, evaluando su aptitud, por medio de sus características y atributos, para con ello determinar un mejor uso a cada área, haciendo eficiente su uso, minimizando los posibles impactos que se puedan presentar en el desarrollo de estas actividades a corto, mediano y largo plazo.

Actualmente en México no se ha optado por adaptar y aplicar metodologías basadas en técnicas de evaluación multicriterio, centradas específicamente en la evaluación de infraestructuras viales en espacios ecoturísticos que aborden las múltiples dimensiones que comprenden la complejidad del territorio y el fenómeno turístico.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Este trabajo tiene como finalidad la revisión de las técnicas de análisis multicriterio empleadas en México para la evaluación de las redes camineras que dan soporte a las actividades ecoturísticas.

### **2.2 Objetivos específicos**

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

Revisión de 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.

### 3 METODOLOGÍA

El presente trabajo consiste en conocer el estado del arte del “Análisis multicriterio empleándose para la evaluación de las redes camineras que dan soporte a las actividades ecoturísticas”. Para ello fue necesario realizar 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 del presente trabajo, a cada línea de investigación se le aplica una revisión sistemática para la selección de las fuentes de información, para lo cual se plantea el siguiente diagrama de flujo.

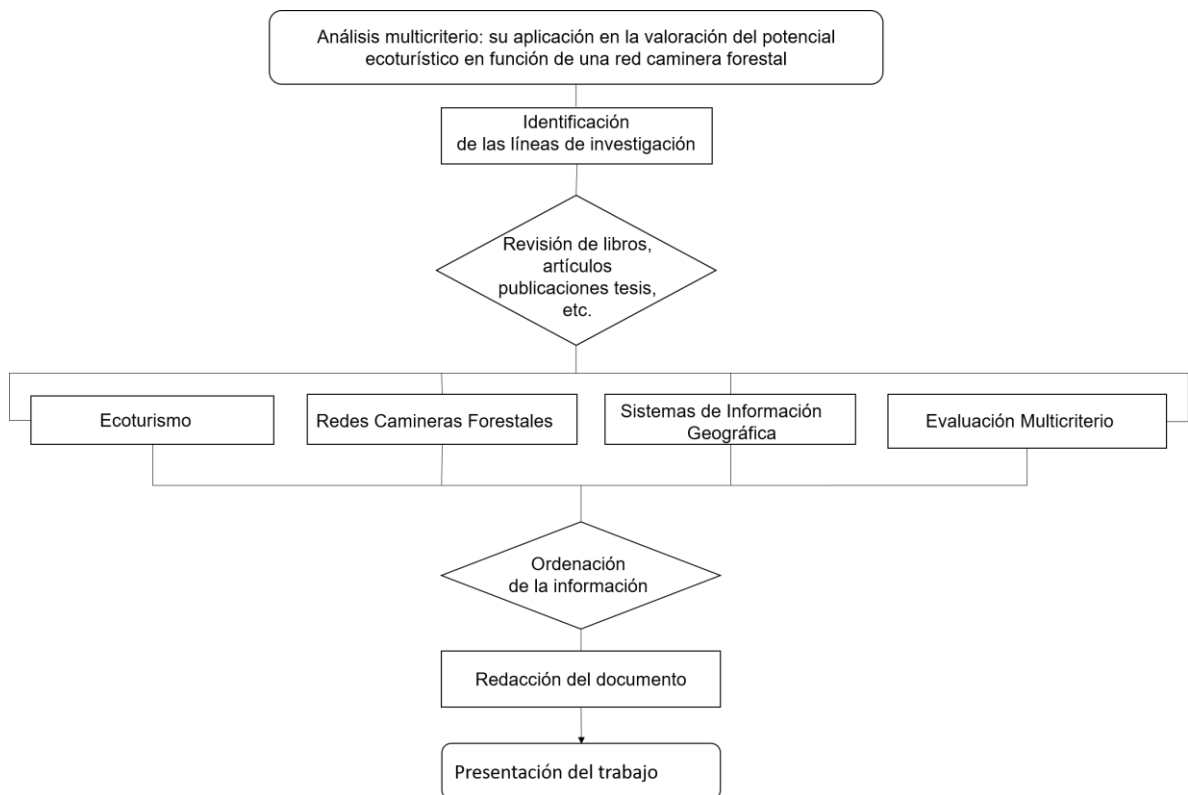


Figura 1. Diagrama de flujo que representa la forma en que se analiza y selecciona la información para la presentación del documento.

La estructura con la que se ordenará la información colectada, analizada, así como la presentación de los resultados de la revisión del estado del arte atenderá el siguiente guion temático propuesto, el cual consiste en una introducción general sobre el tema, establecimiento de los objetivos, revisión de literatura, un capítulo específico para la discusión, y conclusiones.

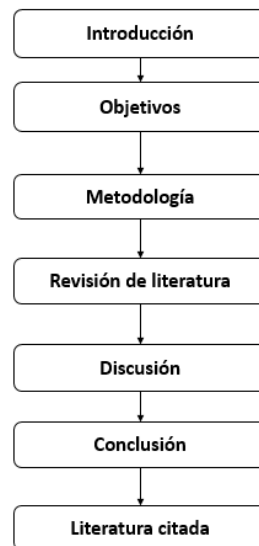


Figura 2. Estructura del cuerpo del documento.

## **4 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 Ecoturismo**

Para la estructuración de este documento se identificaron cuatro principales líneas de investigación en la cual destaca el ecoturismo, que forma parte del tema del turismo. A continuación se presentan las definiciones de conceptos que están relacionados con el turismo en base a definiciones de autores, así como entidades gubernamentales como la Secretaria de Turismo, recalcando que estos conceptos tienen una estrecha relación con el tema central de este trabajo.

#### **4.1.1 Definición de conceptos**

##### **Turismo**

El turismo comprende aquellas actividades que realizan las personas durante un viaje y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, por un periodo de tiempo consecutivo inferior a un año con fines de ocio y otros motivos no relacionados con el ejercicio de una actividad no remunerada en el lugar visitado (SECTUR, 2015).

##### **Turismo alternativo**

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, 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).

## **Ecoturismo**

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).

### **4.1.2 Antecedentes**

Mientras en el mundo se desarrolla el turismo moderno y su estructura funcional, en México se empieza a ver al turismo como un instrumento económico que auxilie al país en su desarrollo industrial. Los años de 1945 y 1958 marcan el inicio y fin de una etapa del turismo como resultado del desarrollo que va teniendo México. Después de la segunda guerra mundial la situación de la industria nacional se deteriora a consecuencia de la disminución de las exportaciones. De esta manera como parte de sus acciones el gobierno de México instituye el Departamento de Turismo (Jiménez, 1992).

Otro suceso importante en México es sin duda la creación del Fondo Nacional del Fomento al Turismo el 28 de enero de 1974. En la actualidad FONATUR es la



institución responsable de la planificación y desarrollo de proyectos turísticos sustentables de impacto nacional, el órgano de fomento de la inversión y la capacitación del sector, así como la entidad que aporte su experiencia a regiones, estados y municipios, además a la pequeña y mediana empresa (SECTUR, 2015).

Por otra parte a partir de 1993 la Secretaría de Turismo en México comienza a tener mayor interés en el entorno del ecoturismo de tal manera que en ese año se realiza el tercer simposio internacional de turismo, ecología y municipio, celebrado en Mazatlán. En mayo de 1994 un seminario sobre destinos ecoturísticos de México realizado en Barrancas del Cobre, Chihuahua; en ese mismo año la SECTUR encarga la elaboración de la Estrategia Nacional del Ecoturismo (SECTUR, 1994). Y es a partir de 1995 y con la carta de turismo sostenible, que fue redactada en Isla de Lanzarote (Islas Canarias), España, se reconoce al turismo alternativo como parte del turismo sustentable, y por lo tanto los gobiernos comienzan a incorporar criterios de sostenibilidad a las actividades turísticas (SECTUR, 2017).

A pesar que los patrones de desarrollo turístico nacional e internacional continúan dando prioridad a los destinos denominados de sol y playa, existe un segmento del turismo que muestra el interés por visitar e incluso pernoctar en espacios naturales no planificados. El territorio ejidal, comunal y las Áreas Naturales Protegidas (ANP), que cuentan con recursos naturales y culturales únicos o habituales constituyen un atractivo para los turistas y visitantes que pretenden alejarse de su entorno habitual (Acosta *et. al.*, 2016; Salcedo y San Martín, 2012).

## **4.2 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.

### **4.2.1 Definición de conceptos**

#### **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).

### **4.2.2 Antecedentes**

Siempre, en toda la humanidad, los caminos han sido un medio de desarrollo de las civilizaciones. A partir de estos surgieron la primeras redes de comercio, y no solo para comerciar bienes, sino que también fueron rutas de intercambio de ideas entre distintas culturas (Johnston, 2014).

En el México antiguo y colonial, el transporte de objetos, personas e ideas entre distintos sitios de relevancia económica, política y religiosa se realizaba por caminos, rutas, veredas y senderos. Los aztecas y sus antecesores construyeron majestuosas calzadas en los lagos de la Cuenca de México, complementadas con los canales para llegar en canoa a la ribera, islas y zonas chinamperas (Fournier, 2006).

Uno de los elementos del paisaje que más se ha reconocido como causa y efecto de la perturbación y pérdida de espacios forestales son los caminos (Ramírez *et al.*, 2015). En la actualidad, los usos de carácter recreativo y deportivo en el medio

natural han incrementado notablemente el tráfico sobre vías, que no fueron construidas con las condiciones técnicas que permitan garantizar la circulación segura de todo tipo de vehículos (Rodríguez, 2011). A pesar que se tiene clara la relación entre los caminos y la perturbación del bosque, los estudios que profundizan, cuantifican y señalan estos efectos son apenas recientes (Spellerberg, 2002).

Galacho *et al* (2016) señala que las infraestructuras viales están relacionadas con las actividades recreativo-deportivas, compuestas principalmente por senderos, caminos rurales y pistas forestales.

### **4.3 Sistemas de información geográfica**

Es necesario dejar en claro que para este trabajo se involucran los sistemas de información geográfica con los principales métodos de EMC. Por ello se enlistan y definen conceptos, así como se indican los fundamentos que dan origen a tan vital herramienta hoy en día.

#### **4.3.1 Definición de conceptos**

##### **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**

Las 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)

### **4.3.2 Antecedentes de los 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.

Con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía, John K. Wright publica su obra *Elements of cartographic* en 1953 ampliando el campo de la geografía cuantitativa. Sin embargo la primera experiencia relevante aparece en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (Map in-map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores a la cartografía, estableciendo principios básicos para la creación de datos geográficos, su

codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Rogers Tomlinson desarrolla el primer sistema de información geográfica aparece en Canadá, en el Departamento Federal de Energía y Recursos, denominado CGIS (Canadian geographical information systems) quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. En 1964 en el Harvard Laboratory aparece SYMAP, una aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual corresponde a grandes rasos con el enfoque que conocemos hoy como vectorial. Y para 1969 David Sinton desarrolla GRID con bases de SYMAP, un programa que almacena la información en forma de cuadrículas que darían principio al desarrollo del modelo ráster (Olaya, 2014).

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 siguiente figura se describen las principales operaciones que hoy en día es posible de realizar (Gómez y Barredo, 2005).

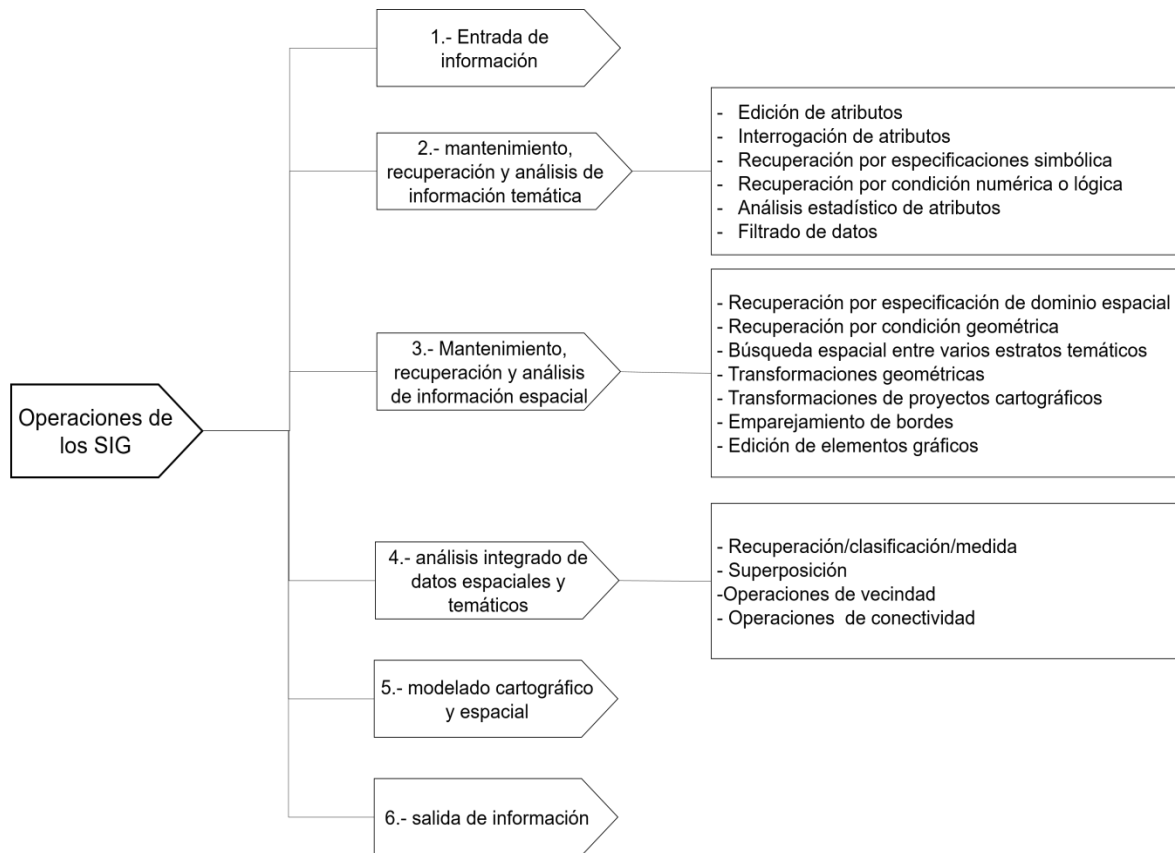


Figura 3. Operaciones de los SIG, tomado de Gómez y Barredo, 2005.

## 4.4 Evaluación Multicriterio

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

### 4.4.1 Definición de conceptos

#### Evaluación multicriterio

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., en base a 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).

#### **4.5 Antecedentes de la evaluación multicriterio (EMC)**

Aunque la consagración del análisis multicriterio se realiza a partir de los años 70, la primera reunión científica dedicada a la toma de decisiones multicriterio se celebró en Carolina del Sur en el año de 1972. Las reflexiones políticas de Francia sobre la acción de los jueces y su traslación a la política, llevan a cabo a profundizar la toma de decisiones en base a varios criterios. Estos planteamientos se trasladan a finales del siglo XIX y principios del siglo XX al estudio del comportamiento de los agentes económicos y es a partir de 1960 cuando se establece su propia terminología y problemática, tal y como es hoy. En los años 1980 se produce otro impulso con la introducción de la informática (Barba-Romero, 1996). Y desde entonces se ha avanzado en que las contribuciones orientadas a aplicaciones o teóricas que se clasifican en: toma de decisiones multiatributo y toma de decisiones multiobjetivo. La primera se refiere a la clasificación, ranking o evaluación de los objetos de elección de acuerdo con varios criterios. Y la segunda se ocupa de la optimización del vector en la



programación matemática de acuerdo al contexto de aplicación (Colson y De Bruyn, 1989).

A pesar de que en sus inicios los métodos de EMC no tuvieron un desarrollo destacable en la decisión territorial, hoy en día existen numerosos trabajos relacionados con este campo y la integración de estas técnicas con las herramientas SIG (Gómez y Barredo, 2005).

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.

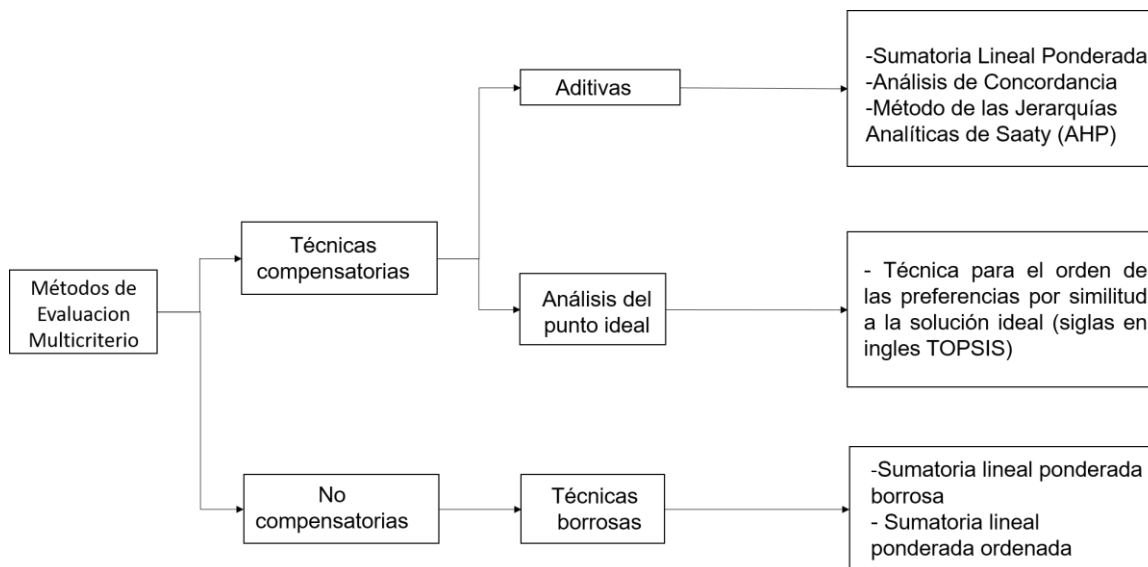


Figura 4. Métodos de Evaluación Multicriterio, a partir de Gómez y Barredo, 2005.

### 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 (Toskano, 2005).

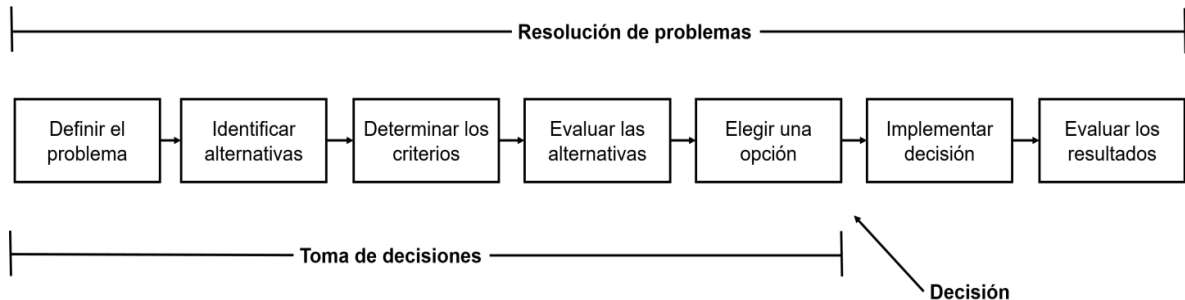


Figura 5. La regla de decisión multicriterio, Toskano, 2005.

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.

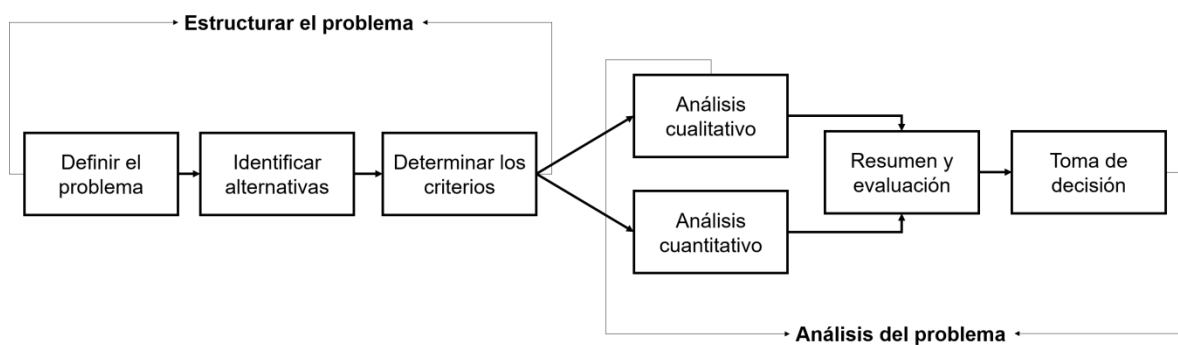


Figura 6. Fases de la regla de decisión, elaboración a partir de Toskano 2005.

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. En primer lugar la selección aquellas que utilizan un proceso de clasificación y en segundo lugar 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**

La 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**

La evaluación se logra en base a 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 (Voogd, 1983).

En la matriz anterior 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).

Cuadro 1. Matriz de puntuaciones de los criterios, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

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

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 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. Matriz de asignación de los pesos, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

		Criterios ( j )					
		1	2	3	.	.	J
Puntos de vista ( v )	1	<b>Pesos (W j )</b>					
	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. Matriz de valoración, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

		Alternativas ( j )					
		1	2	3	.	.	J
Puntos de vista ( v )	1	<b>Valores (r j )</b>					
	2						
	3						
	.						
	.						
	V						

## 4.6 Métodos de Evaluación Multicriterio

Muchos de los problemas relacionados a la toma de decisiones espaciales, como la selección del sitio 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 el siguiente esquema se clasifican los métodos de decisión multicriterio según Jankowski, (1995).

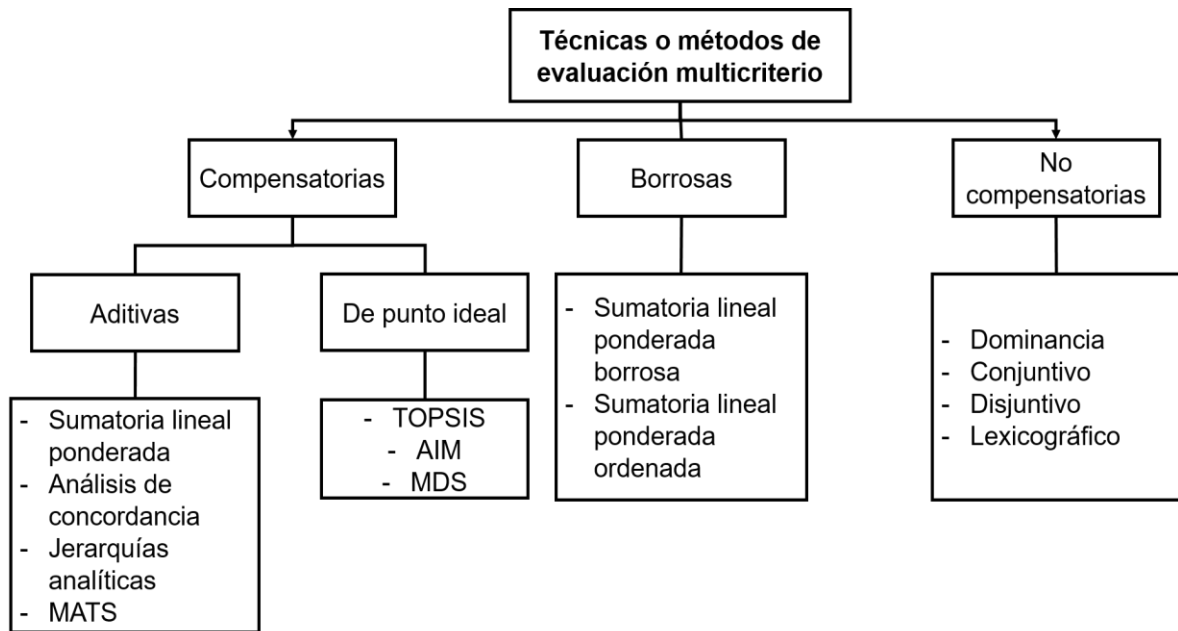


Figura 7. Técnicas o métodos de evaluación multicriterio, elaboración a partir de Gómez y Barredo, 2005.

### 4.6.1 Técnicas compensatorias

En el enfoque compensatorio se basa en la suposición de que al obtener un mayor valor de una alternativa en uno o más criterios puede compensar al débil desempeño de la misma alternativa en otros criterios. En una técnica de evaluación multicriterio compensatoria, la puntuación alta de una alternativa obtenida en un criterio se intercambia, de acuerdo con la estructura de

preferencias del decisor, por la puntuación baja recibida en otro criterio (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 estas, 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, el 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.

Dentro de estas dos subclases, se pueden diferenciar una serie de técnicas basadas en el enfoque de la formulación de las prioridades de quien toma las decisiones. Estos enfoques que se incluyen son: Las prioridades relativas a los criterios de decisión y las prioridades relativas a los niveles de valor de las puntuaciones de criterio (prioridades de criterio ponderados).

En los procedimientos aditivos, el valor obtenido por cada alternativa es el producto del peso del criterio y las puntuaciones de los criterios, siendo la alternativa que obtenga el valor más alto la adecuada o la mejor para la actividad evaluada.



## 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.

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

Donde

$r_i$ : es el nivel de adecuación de la alternativa  $i$

$w_j$ : es el peso del criterio  $j$

$v_{ij}$ : es el valor ponderado de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$

Este método es muy sencillo, pero es sumamente 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 siendo 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).

### **Análisis de concordancia**

En este método la comparación entre las alternativas se efectúa por pares y con respecto a cada uno de los criterios de decisión seleccionados. El método analiza el grado de concordancia así como el de discordancia es decir:

- El grado en el que las ponderaciones que reflejan las preferencias están de acuerdo con la relación binaria de la dominación, y
- El grado en el cual las evaluaciones ponderadas difieren entre sí (Ruiz, 2015).

Para obtener la dominancia se realizan dos tipos de medida, por un lado la medida de concordancia representa la dominancia de una alternativa  $i$  sobre otra  $i'$ , para todos los criterios en los que  $i$  es igual o mejor que  $i'$ .

Además se mide la discordancia que estaría en función de del grado de dominancia de la alternativa  $i'$  sobre  $i$  en todos los criterios en los que  $i'$  es mejor que  $i$ .

Una vez calculadas estas medidas para cada par de alternativas se cuantifican las diferencias entre ellas y se calcula una puntuación final para cada alternativa, que servirá para ordenarlas de mayor a menor (Jankowski, 1995).

## Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) de Saaty

Este método fue introducido en el año 1980 por el matemático Tomas L. Saaty (Analytic Hierarchy Process, AHP), el cual consiste en formalizar la comprensión intuitiva de un problema multicriterio complejo, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que le permite al agente decisor estructurar el problema en forma visual. (Ruiz, 2015). Siendo actualmente un método que se aplica en casi todos los ámbitos donde es necesario tomar una decisión de cierta complejidad (Aznar y Guijarro, 2012).

Consiste en realizar las siguientes fases:

- Identificar los criterios de decisión que están asociados al problema
- Estructuración de los factores de una manera jerárquica, descendiendo desde los más generales a los más concretos y, evidentemente, conectados nivel a nivel. Este modelo jerárquico está formada por cuatro niveles: meta, objetivos, atributos y alternativas, pero esta combinación puede variar.
- El siguiente paso consiste en establecer la importancia relativa de los elementos de cada jerarquía a partir del método de comparación por pares.
- Posteriormente se agregarán los pesos de los niveles obtenidos en cada jerarquía, obteniendo así pesos compuestos o globales.
- Finalmente se ordenarán las alternativas del valor  $R$  alcanzado, siendo la que obtenga el valor más alto la más adecuada.

El vector de pesos tendrá una dimensión de 1 por  $m$ , siendo  $m$  el número de alternativas de decisión en el último nivel de jerarquía. La puntuación  $R_i$  para cada alternativa ( $i$ ) se calcularía, por tanto:

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik}$$

Donde

$W_k$ : es el vector de prioridades (pesos) asociado a cada elemento  $k$  de la estructura jerárquica de criterios, la suma de  $W_k$  es igual a 1 y  $r_i$  es el vector de prioridades obtenido al comparar las alternativas con cada criterio.

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones de pares a pares entre dichos elementos (criterios, subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas involucradas en la decisión, entregando una síntesis de la misma mediante la agregación de juicios parciales.

Cuadro 4. Matriz de comparación por pares, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

FACTORES	A	B	C	D
A				
B				
C				$a_{cb}$
D				

Esta matriz se asigna en cada celda un juicio de valor ( $a_{ij}$ ), que representa la importancia relativa de cada factor (Columna 1) con los otros (de la fila 1). De esta manera, con una escala establecida por el procedimiento, se asignan los juicios de valor a todas las celdas de la matriz. Pero en las diagonales solo se asignan valores iguales a 1 que denotan la igualdad que tienen estos factores consigo mismo.

La escala de medida establecida por la asignación de los juicios de valor ( $a_{ij}$ ), se trata de una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, como se presenta a continuación:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
	Menos importante				Mas importante			

Una vez establecidos los juicios de valor en la matriz de comparación por pares, el procedimiento establece el cálculo de eigenvector principal de la matriz, el cual representa el orden de prioridad de los factores (filas), mientras que el eigenvalor máximo ( $\lambda_{max}$ ) de la matriz es una medida de la consistencia de los juicios:

Cuadro 5. Matriz de normalización de factores, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

FACTORES	A B C D	Eigenvector principal
A		$e_a$
B		$e_b$
C		$e_c$
D		$e_d$

El eigenvector principal es normalizado para así obtener el vector de prioridades. El procedimiento más usual para obtenerlo consiste en primer lugar en obtener los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, esto es  $N_{a11} = a / \sum a_{ij}$ . Así el valor normalizado de cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor ( $a_{ij}$ ) y el valor de la sumatoria de cada columna, posteriormente los valores normalizados se suman por filas obteniendo así el eigenvector principal, el cual se normaliza, dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre  $n$  (número de factores), obteniendo de esta manera el eigenvector principal normalizado que representa los pesos de ( $w_j$ ) de cada factor.

Este procedimiento puede ejecutarse en el paquete de IDRISI (módulo WEIGHT), en el cual se introduce la matriz de comparación por pares, obteniendo así los valores de los pesos de cada factor ( $w_j$ ) (Gómez y Barredo, 2005).

Cuadro 6. Matriz de cálculo de pesos de cada factor, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

FACTORES	A B C D	Eigenvector principal	Eigenvector principal normalizado ( $w_j$ )
A		$\sum A$	$\sum A/n$
B		$\sum B$	$\sum B/n$
C		$\sum C$	$\sum C/n$
D		$\sum D$	$\sum D/n$

A partir de aquí se establece el cálculo de la razón de consistencia (*consistency ratio*, c.r.), lo que nos permite reconsiderar las asignaciones realizadas en caso de inconsistencia de la matriz de comparación, tras los pasos anteriores, se determina el eigenvector principal que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos ( $w_{ij}$ ), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores. Se procede a la normalización de la escala de medida que consiste en calcular el promedio de los valores de la matriz por filas. El eigenvector principal, es necesario normalizarlo, y como resultado se genera para cada variable ya convertida en criterio una capa única con sus atributos y puntuaciones correspondientes (Galacho *et al*, 2016).

Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad, para interpretar los cambios que podrían surgir respecto a las preferencias (Gómez y Barredo, 2005).

#### 4.7 Técnicas compensatorias basadas en el análisis del punto ideal

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 ay

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)

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

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).

### **Técnica para el Orden de las Preferencias por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS)**

Este método de análisis basa su funcionamiento en el cálculo de las distancias, la distancia más corta de una alternativa al punto ideal y la mayor distancia de una solución negativa. El procedimiento a seguir para aplicar el método es el siguiente: primero se calcula las distancias al punto ideal, a continuación se calcula la distancia al punto anti-ideal y finalmente se obtiene la relación de similitud al ideal (Ruiz, 2015).

$$d_p^M(a_i) = \left[ \sum_{j=1}^n w_j |v_j^M - v_{ij}|^p \right]^{1/p}$$

$$d_p^m(a_i) = \left[ \sum_{j=1}^n w_j |v_j^m - v_{ij}|^p \right]^{1/p}$$

$$D_p(a_i) = \frac{d_p^m(a_i)}{d_p^M(a_i) + d_p^m(a_i)}$$

Donde,

$d_p^M(a_i)$ : es la distancia al punto ideal de la alternativa  $i$

$d_p^m(a_i)$ : es la distancia al punto anti-ideal de la alternativa  $i$

$w_j$ : es el peso del criterio  $j$

$v_j^M$ : es el valor máximo de normalizado en el criterio  $j$

$v_j^m$ : es el valor mínimo normalizado en el criterio  $j$

$v_{ij}$ : es el valor normalizado de la alternativa  $i$  en el criterio  $j$

$p$ : es la métrica de la distancia

La relación varía entre 0 y 1, de manera que la más próxima a 1 se considera la más adecuada. Referente a que métrica utilizar para la distancia, una de las más comunes es la distancia de Manhattan  $p=1$ , otra conocida es  $p=2$  que corresponde a la distancia euclidiana y en menor medida  $p=$  nombrada distancia de Chebisev. En el primer caso se considera la distancia más larga y en el segundo la distancia más corta.

En este método una solución ideal se define como un conjunto de niveles ideal respecto a todos los atributos considerados de un determinado problema, aun cuando la solución sea imposible o no sea factible obtener. En fin consiste en



ubicarse lo más cercano posible a tal solución ideal y alejarse cuanto más posible sea de una solución anti-ideal o ideal negativa (Gómez y Barredo, 2005).

#### **4.8 Técnicas no compensatorias**

El enfoque no compensatorio es cognitivamente menos exigente que el enfoque compensatorio ya que requiere, a lo sumo, la clasificación ordinal de criterios basados en las prioridades del DM. En este grupo de técnicas se diferencian en base a la estrategia de eliminación que asuman (Jankowski, 1995).

##### **Técnica de dominancia**

La eliminación se basa por completo en la puntuación de criterios o alternativas, una alternativa es eliminada de posteriores tratamientos, si existe alguna otra alternativa que sea mejor en uno o más criterios, siendo igual en los demás criterios (Philips, 2009).

##### **Método Conjuntivo**

Se forma un umbral en cada criterio por parte del centro decisor, y en este caso se eliminan las alternativas que no logren alcanzar los niveles que se tenían previamente establecidos (Philips, 2009).

##### **Método Disyuntivo**

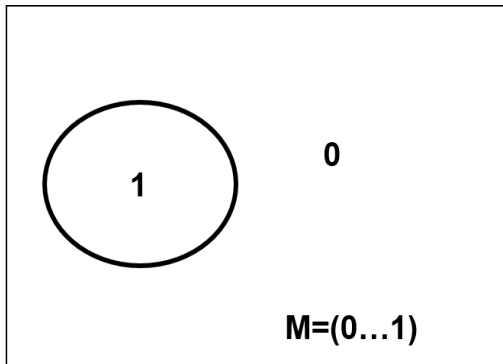
Se establece de manera similar al anterior, pero en este método se seleccionan aquellas alternativas que excedan el umbral, en cualquiera de los criterios que se han establecido (Philips, 2009).

## **Método lexicográfico**

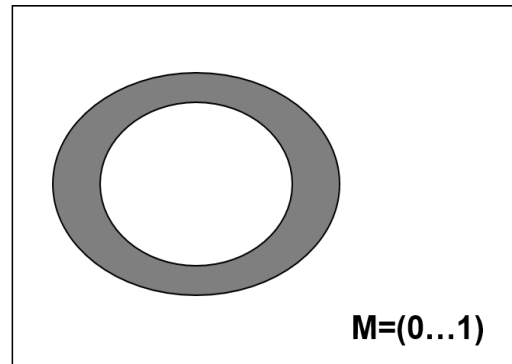
Primeramente se ordenan los criterios de mayor importancia al de menos importancia, para luego comparar las alternativas una por una. Para este caso se eliminan las que arrojen un valor menor en la comparación, y así con todos los criterios. Con este procedimiento se van reduciendo en cada paso, debido a que se inicia la eliminación de alternativas, y estas se van eliminando de la evaluación. Así después del primer criterio únicamente dispondremos de las alternativas que cuenten con el mayor valor en el mismo criterio. De esta manera el procedimiento continúa hasta definir el criterio menos importante (Phillips, 2009). Como es notable las técnicas no compensatorias no requieren de un amplio conocimiento por parte del decisor, sin embargo una desventaja ocasional que tienen es la de recomendar una alternativa comparativamente pero, debido a la estrategia de selección que siguen (Gómez y Barredo, 2005).

### **4.9 Técnicas borrosas**

En el año 1965 el matemático L.A. Zadeh expuso por primera vez la teoría de los conjuntos borrosos (fuzzy sets), que se contrapone a la lógica binaria de 1 y 0, verdadero y falso. La lógica borrosa describe la posibilidad de que una localización sea miembro de un conjunto determinado, no está ligado a una función de probabilidad y pudiendo esta posibilidad estar basada en el conocimiento subjetivo del decisor (Bonis, 2011). En la siguiente figura se aprecia la diferencia entre una delimitación de un elemento según la lógica binaria (a) y según la lógica borrosa.



a) Lógica de probabilidad booleana



b) Lógica de posibilidad de conjuntos borrosos

Figura 8. Comparación de objetos con límites bien definidos y límites borrosos  
Fisher 1996, tomado de Gómez y Barredo, 2005.

A pesar de que en la actualidad es posible encontrar numerosos trabajos basados en la representación de elementos borrosos, el manejo de información espacial definida de esta forma no resulta nada sencillo en un SIG.

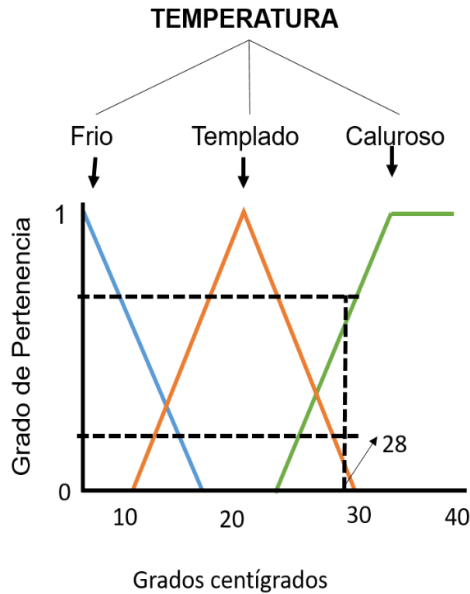
Gómez y Barredo (2005) en su publicación enlista que para la construcción de un modelo de sistemas borrosos debe basarse en las siguientes fases independientemente de su naturaleza:

1.- Se debe *especificar la naturaleza del sistema a modelizar*, y expresarlo en términos lingüísticos. Es de suma importancia que el investigador conozca a fondo el problema, ya que deberá utilizar su intuición, conocimiento, etc. Para expresar en palabras un modelo que habitualmente se expresa de manera matemática.

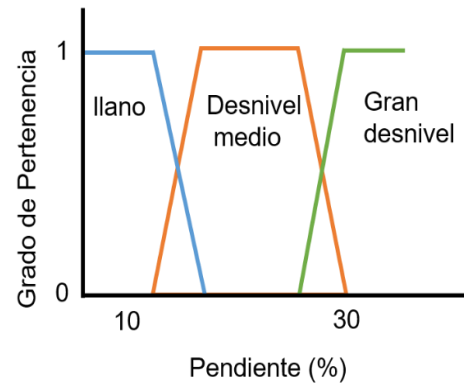
2.- el segundo paso es *identificar y etiquetar las funciones de pertenencia para cada variable de entrada del modelo*. Se trata de convertir las variables definidas en términos lingüísticos en conjuntos borrosos. Las funciones más utilizadas para estos conjuntos son las trapezoidales y las triangulares.

A continuación se presentan dos ejemplos de modelos en base a las funciones de pertenencia:

a) se muestra la variable temperatura a partir de tres subconjuntos y funciones triangulares (frio y templado) y trapezoidales para el subconjunto caluroso (Gómez y Barredo, 2005).



a)



b)

Figura 9. Modelos de conjuntos borrosos en base a funciones de pertenencia, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005).

b) muestra tres subconjuntos de la variable pendiente en base a funciones trapezoidales (Bonis, 2011).

Para definir el grado de pertenencia existen modelos específicos, enseguida se enlistan los más utilizados para determinar el grado de pertenencia de un conjunto borroso:

Modelo de importación semántica: o también conocido como *semantic import model*, se basa en establecer puntos críticos para definir la función de pertenencia y la transición entre 0 y 1, según el número de puntos críticos se determina si es una función triangular (3 puntos) y trapezoidal (4 puntos).

Modelo de relación de similitud: en este modelo la función se deriva de manera empírica mediante experimentación, (en base a encuesta o información existente).

Modelo experimental: aquí se basa mediante la utilización de redes neuronales o la clasificación continua, basada en el algoritmo de k-means. Mediante este algoritmo se reducen los datos de partida convirtiendo la descripción convirtiendo los atributos de un objeto, en  $k$  valores de pertenencia a  $k$  clases o conglomerados (*clusters*).

Primero se asigna de manera aleatoria los objetos a cada clase, luego se calcula el centro de cada clase en función de la media de los atributos de los objetos y posteriormente se reasignan estos objetos en función de la similitud relativa entre objetos y clases (distancia euclidiana).

3.- *Identificación y etiquetado de las funciones de pertenencia para las variables de salida.* Para esto deben aplicarse los pasos anteriores, pero con los valores resultantes de la aplicación del modelo.

4. *Creación de las reglas.* Para un conjunto borroso se han de crear reglas de estilo si-entonces. Estas reglas se pueden expresar en forma de “Memoria Asociativa Borrosa” (Fuzzy Associative Memory, FAM) y no es más que la transformación de las variables de entrada en variables de salida.

5.- *Aplicación del modelo.* Se aplica una vez definidas las funciones de pertenencia de variables de entrada y salida, además de las reglas que las unen. Utilizando el operador mínimo (lógico Y) y el operador máximo (lógico X), o también mediante operaciones aritméticas.

6.- *Conversión de resultados en números rígidos o nítidos (crisp) o defuzzificación (defuzzification).* De esta manera se obtiene como resultado un valor numérico para el modelo, el cual representa la información del conjunto borroso.

7.- *Evaluación del modelo.* Este paso se realiza para la validación del modelo y contrastar los resultados con datos reales.

8.- *Modificación de las funciones de pertenencia del modelo y/o de las “memorias asociativas borrosas”.* Se trata de un análisis de sensibilidad, con el objetivo de realizar cambios en los dos elementos mencionados para observar cómo cambian

los resultados y en qué condiciones se consigue una mayor aproximación a los datos reales.

9.-esta última fase consiste en la *optimización de la ejecución del modelo*. En un *adaptive fuzzy model* completo, debería poder modificarse las funciones de pertenencia, la naturaleza de las FAM y los pesos asociados a diferentes reglas para optimizar resultados (Gómez y Barredo, 2005).

### Sumatoria lineal ponderada borrosa

Este método no es más que la sumatoria lineal ponderada, pero en términos borrosos.

Ejemplo de aplicación Gómez y Barredo (2005): Como primer paso se deben establecer los términos lingüísticos para cada factor implicado en la EMC para determinar la función de pertenencia apropiada. Los puntos críticos corresponden a 0.4, 0.6, 0.6 y 0.8.

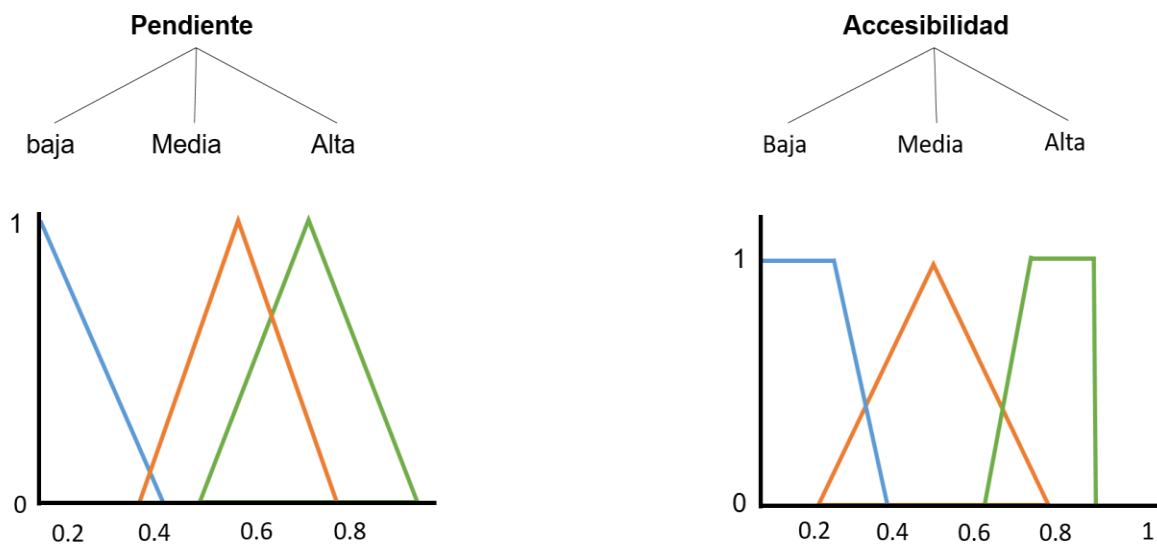


Figura 10. Valores de los factores implicados en el cálculo de la sumatoria lineal ponderada borrosa, tomado de Gómez y Barredo, 2005.

El siguiente paso es multiplicar cada componente individual por el peso otorgado a cada variable.

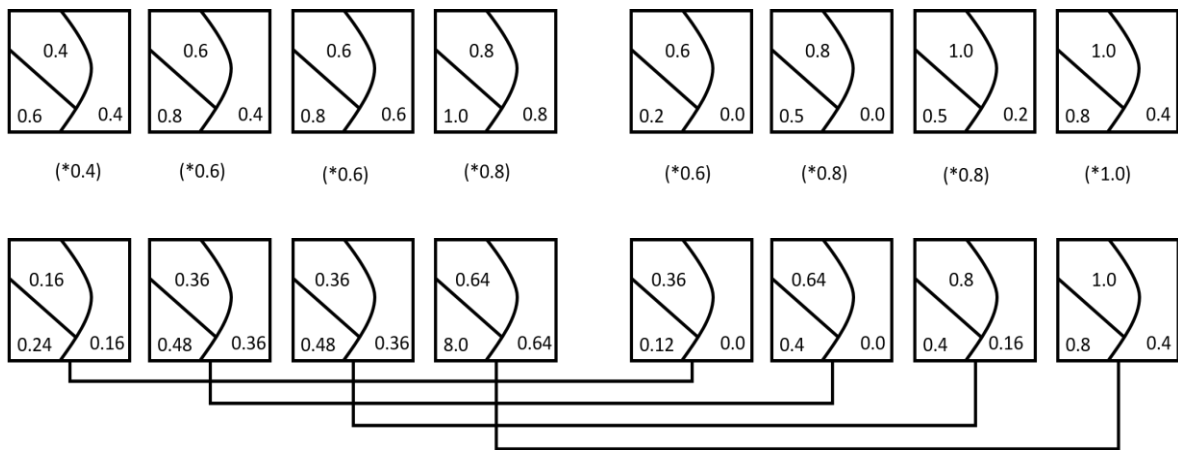


Figura 11. Aplicación del método de la sumatoria ponderada borrosa, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

El otro paso es multiplicar cada componente individual de una variable por la otra

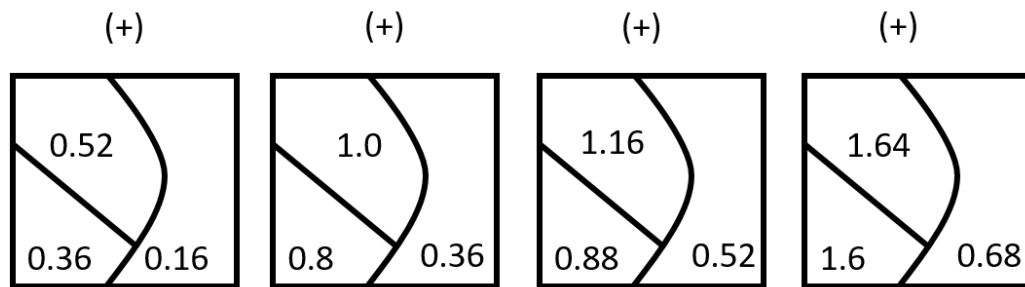


Figura 12. Valores finales para cada variable, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

Estas alternativas resultantes se representaran como números borrosos, y por tanto deberán convertirse a rígidos y ordenarlo.

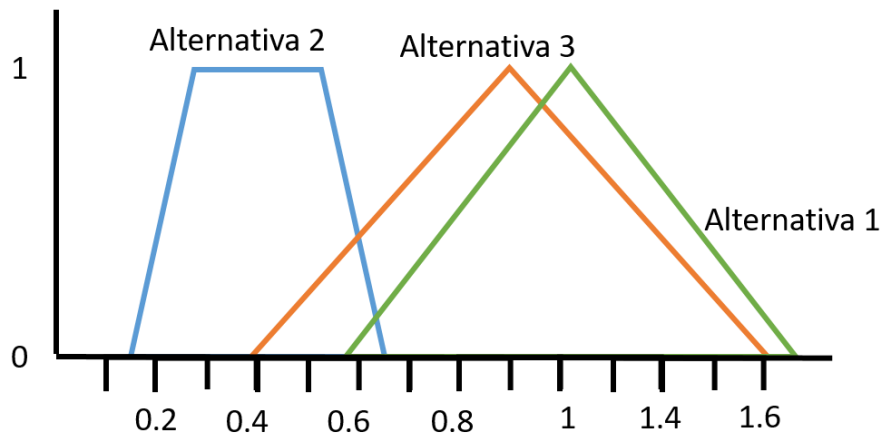


Figura 13. Representación del método de la sumatoria ponderada borrosa, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

La resolución de un problema de EMC en un entorno SIG puede tornarse complicado si el planteamiento se basa en un número elevado de criterios. Además la asignación de funciones de pertenencia para cada uno de los factores, pesos otorgados, y mantener la jerarquía establecida es ahí entonces donde su clasificación es difícil.

### **Sumatoria lineal ponderada ordenada (Ordered Weighted Average, OWA)**

En esta técnica se realiza una generalización de tres tipos básicos de función: la intersección de conjuntos borrosos, la unión de conjuntos borrosos, los operadores de medida. Además permite controlar el riesgo de incertidumbre asociada a cualquier toma de decisión (López, 2018).

Se trata de uno de los métodos introducidos en el módulo de EMC disponible en SIG IDRISI. Este módulo ofrece muchas posibilidades, se puede elegir entre una técnica no compensatoria y una compensatoria.

Consiste en utilizar, además de los pesos de los factores, otra serie de pesos ordenados que controlan como se agregan esos factores ponderados. Con esto es posible determinar el nivel total de compensación permitido, además de sumar la unidad, y las distintas combinaciones de los mismos permiten situarnos en



cualquier punto del espacio triangular de decisión que observemos en la figura siguiente.

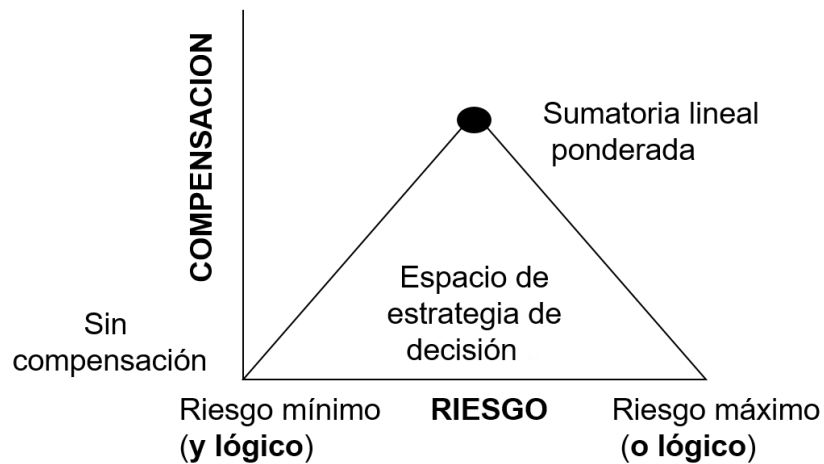


Figura 14. Método OWA, espacio de decisión en función del riesgo y la compensación asumidos, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

Así el método permite agregaciones borrosas y continuas entre intersección y unión borrosas, donde la sumatoria lineal ponderada se encontraría justo en una situación intermedia. Para ello se debe de introducir las medidas de *ANDness*, *Orness* y compensación (*tradeof*) asociadas a los conjuntos de pesos ordenados.

$$ANDness(w) = \frac{1}{n-1} \sum_r (n-r)w_r$$

$$ORness(w) = 1 - ANDness$$

$$compensacion(w) = 1 - \left[ \frac{n \sum_r (w_r - 1/n)^2}{n-1} \right]^{0.5}$$

Donde:

$n$ : es el número de factores

$r$ : es el orden de los factores

$w_r$ : el peso para los factores en el orden  $r$

Una vez que se ha calculado la puntuación final de cada factor, se ordenan los factores y en función de su posición se les otorga el peso ordenado correspondiente.

#### Ejemplo de aplicación

Si en un supuesto los factores que intervienen en el análisis han alcanzado los valores de (64, 74, 120 y 230), podemos obtener el nivel de adecuación. Este valor de adecuación se obtendrá multiplicando el valor de cada factor por su peso ordenado y finalmente sumando el resultado para todos ellos. Asumiendo el mínimo o máximo riesgo en la toma de decisiones, sin permitir compensación alguna. Mientras que las estrategias intermedias varían de acuerdo al riesgo y a la compensación (Gómez y Barredo, 2005).

Cuadro 7. Resultados de diferentes aplicaciones de pesos ordenados en el método OWA, elaborado a partir de Gómez y Barredo, 2005.

Min.			Max.	Adecuación final
1	0	0	0	64
0.4	0.30	0.20	0.10	$(64*0.4)+(72*0.3)(120*0.2)+(230*0.1) = 94.2$
0.35	0.30	0.20	0.15	$(64*0.35)+(72*0.3)(120*0.2)+(230*0.15) = 102.5$
0.25	0.25	0.25	0.25	$(64*0.25)+(72*0.25)(120*0.25)+(230*0.25)=121.5$
0.1	0.20	0.30	0.40	$(64*0.1)+(72*0.2)(120*0.3)+(230*0.4)=148.8$
0.15	0.20	0.30	0.35	$(64*0.15)+(72*0.2)(120*0.3)+(230*0.35)=140.5$
0	0	0	1	230

#### 4.10 Integración de SIG y EMC

Debido a que en la vida real, en el ámbito profesional así como como el personal, nos vemos enfrentados a muchas situaciones en las que debemos de tomar una decisión entre varias alternativas. Entonces un proceso de decisión se puede entender como la elección de lo “mejor” entre lo que es “posible (Begoña, 2007).

Las recientes aplicaciones del paradigma decisional multicriterio en la planificación física del territorio ha abierto una interesante vía metodológica en la ordenación territorial. Con la integración de la evaluación multicriterio y los sistemas de información geográfica es posible generar una potente herramienta para los procesos de análisis territorial mediante un modelado, en el cual es posible asignar-localizar actividades y lograr una correcta gestión sobre los recursos naturales (Garcés, 2015).

Mediante la integración de este conjunto de técnicas que están orientadas a asistir a los procesos de toma de decisión es posible, identificar y ponderar los factores que intervienen, construir escenarios que permitan disminuir la incertidumbre de relación a la toma de decisiones y posteriormente evaluar las alternativas de solución. Teniendo como objetivo investigar un número de alternativas bajo múltiples criterios y objetivos en conflicto, y bajo estas condiciones sea posible generar soluciones compromiso y jerarquizar las alternativas de acuerdo a su grado de atracción (Reyes, 2013).

No obstante, en la integración de estas técnicas se plantean ciertos inconvenientes en casos de aplicaciones específicas, de las cuales las de más frecuencia se pueden enlistar a continuación:

- En la comparación por pares, cuando se tiene una gran cantidad de series de datos se limita la aplicación de métodos EMC, debido a las restricciones que plantean los actuales sistemas informáticos.
- La selección de un método de EMC que se apegue en su totalidad al proyecto.
- El desconocimiento por parte de los usuarios ante los algoritmos que describen los métodos de EMC.

Carver (1991) menciona que el SIG en la primera fase puede ser utilizado para la entrada, transformación, almacenamiento y manipulación de datos digitales espaciales relevantes para el problema planteado. Con estas funciones podemos obtener alternativas para cierta actividad así como su localización, estos datos espaciales deben ser evaluados a la luz de procedimientos de EMC para poder

establecer ordenes de preferencia, conjuntos compromiso, jerarquías de capacidad etc.

Sin embargo estos métodos no están integrados de manera extensa en los SIG, es así que debe razonarse y analizar sobre el tipo de procedimiento de EMC que se requiere emplear en la evaluación, tomando muy en cuenta que tipo de recursos están disponibles, pudiéndose encontrar ocasionalmente condicionados a trabajar con lo que se tiene (Galacho *et al*, 2016, y Carver, 1991).

Gómez y Barredo, 2005 establecen las fases que debe seguir un modelo racional de toma de decisiones que se puede estructurar en lo siguiente:

**Definición del problema.** Tener conocimiento sobre el estado actual y el deseado, lo cual origina el problema.

**Búsqueda de alternativas y selección de criterios.** Se plantean las posibles alternativas o soluciones al problema y se establecen los criterios mediante los cuales se evaluarán dichas alternativas.

**Evaluación de alternativas.** Se debe calcular el nivel de adecuación e impacto de cada alternativa en función de los criterios una vez establecidos.

**Selección de alternativas.** Una vez realizado la evaluación de alternativas, es necesario ordenar las alternativas de la más deseable a la menos deseable. Y por último se realiza la selección final.

**Análisis de sensibilidad.** El centro decisor no debe conformarse con este resultado final. Debido a que el proceso está basado en asignaciones subjetivas, y debería realizar modificaciones sobre los componentes del modelo para observar la estabilidad del proceso y en qué medida estas modificaciones alteran el resultado final.

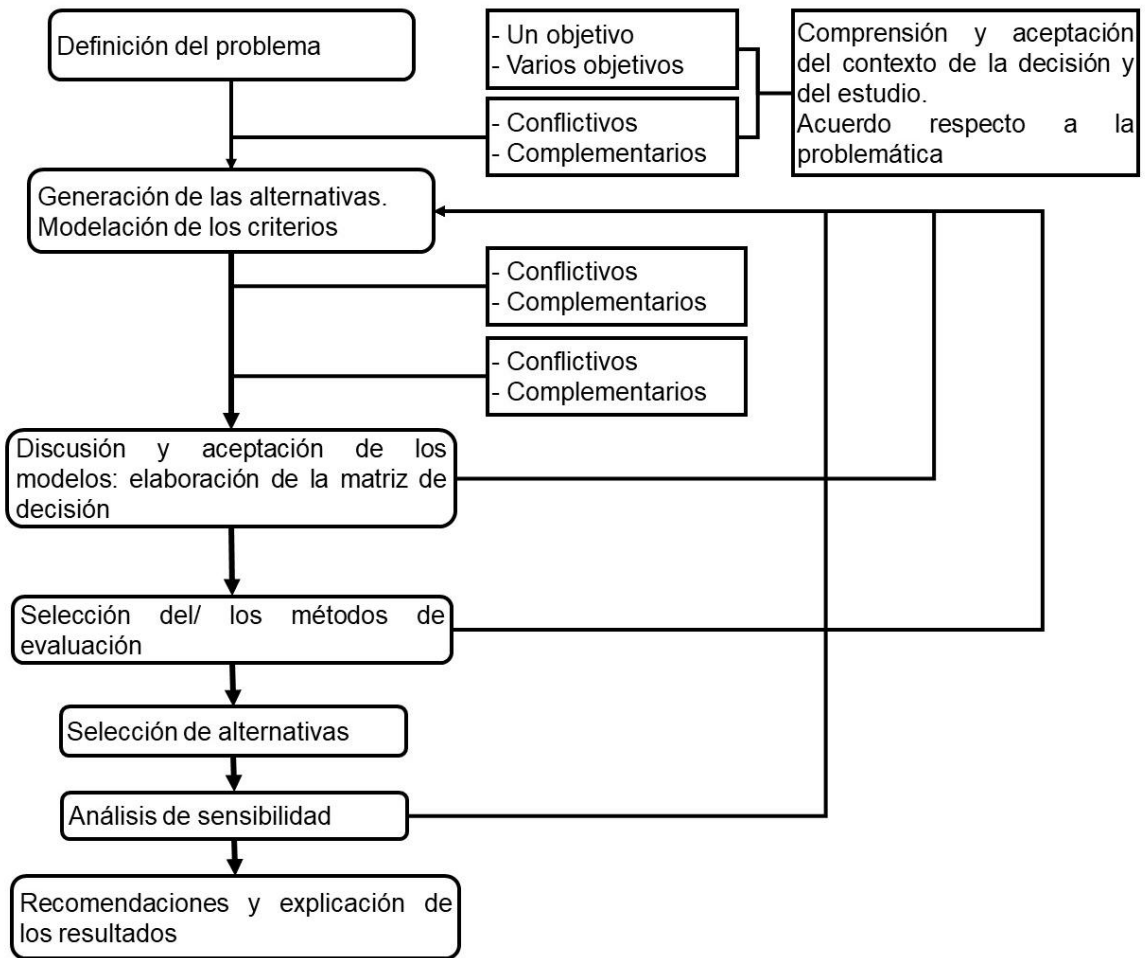


Figura 15. Modelo racional, elaborado a partir de (Gómez y Barredo, 2005).

#### 4.11 La EMC como herramienta en la determinación del potencial ecoturístico en base a la funcionalidad de las redes camineras

La determinación de la aptitud ecoturística se basa en el cálculo de un valor de aptitud a través de la cuantificación de variables que califica a un espacio específico con base en sus cualidades para acoger un desarrollo ecoturístico, (Mikery y Pérez-Vazquez, 2014, Franco-Maass *et al.*, 2009).

Pérez-Vivar 2012 señala tres aspectos fundamentales que definen el enfoque con que se aborda el análisis de aptitud. El cual comienza por la definición del **tipo de objetivo**, como indicador de la cantidad de elementos involucrados para definir si

un lugar es apto y de esta manera pueda adecuarse una estructuración de sus atractivos en productos turísticos.

El **tipo de escala** puede variar desde la nominal hasta la proporcional, para conocer la cantidad y calidad de la información, así como la confiabilidad del método que se emplea.

Por ultimo definir el **tamaño de la unidad espacial de análisis**, esta última fase hace referencia al hecho de que un espacio geográfico al que se le atribuyen características definidas se convierte en una unidad espacial sobre la cual opera el análisis de aptitud. Este aspecto es resaltante pues implica el uso de las herramientas SIG (Pérez-Vivar, 2012).

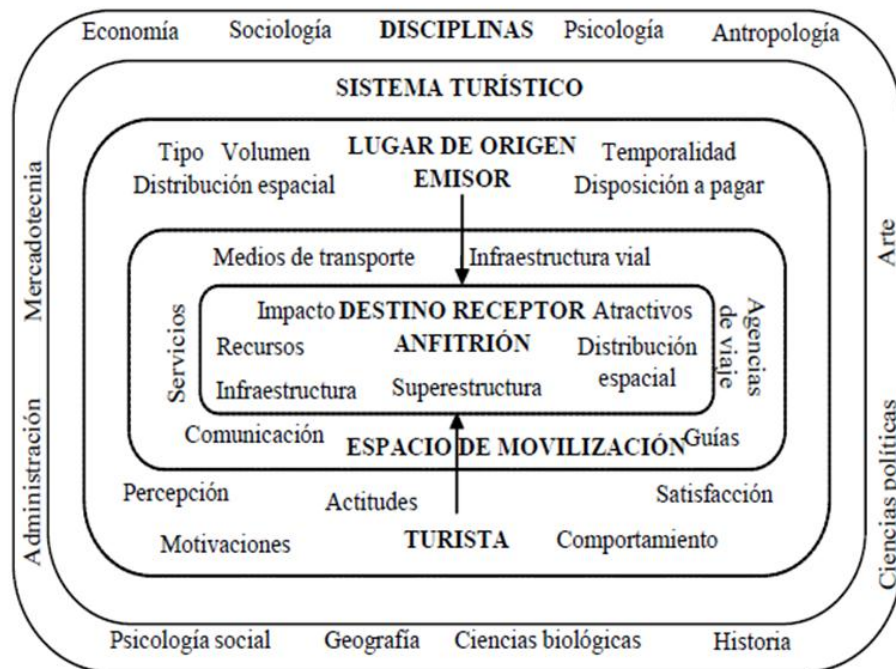


Figura 16. Sistema turístico y sus componentes, tomado de Mikery y Pérez-Vázquez, 2014.

Recalcando que el manejo de los recursos naturales exige un cuidadoso y eficiente uso, por ello la toma de decisión sobre la planificación y gestión de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales debe ser lo más racional posible. (Galacho *et al.*, 2016, Franco-Maass *et al.*, 2009).

En la actualidad el diseño y proyecto de las infraestructuras viales debe realizarse en términos de sostenibilidad, no solo como la optimización de recursos y mayor integración paisajística, sino también considerando la reducción de los costes sociales, la disminución de las molestias de los usuarios a causa de las infraestructuras, buscando siempre mantener el equilibrio con el medio donde se desarrolla (Muñoz y Romana, 2016, Galacho *et al.*, 2016).

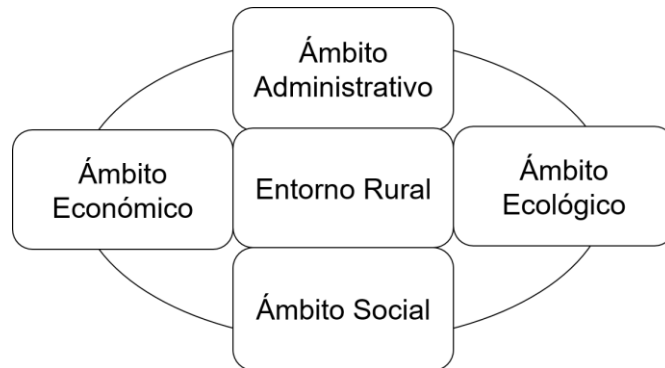


Figura 17. Principales ámbitos del entorno rural e infraestructuras viales, elaboración a partir de Shiba, 1995.

El propósito de integrar una metodología de este tipo es poder evaluar aquellas infraestructuras viales, que sirven como soporte de actividades tanto turístico, deportivas y así mismo recreativas. Para desarrollar un modelo de evaluación de infraestructura vial con ayuda de SIG-EMC, con el objetivo de establecer la capacidad potencial o real de uso y a detalle (Galacho *et al.*, 2016).

Galacho (2010) indica que se deben considerar los siguientes puntos.

- Evaluar las infraestructuras viales existentes para el disfrute recreativo, tomando en cuenta sus caracteres intrínsecos como soporte de las actividades y dando cabida a la valoración del entorno y paisaje.
- Capacidad de carga para cada uso recreativo, como medida de relación entre los impactos de las actividades de las actividades y la vulnerabilidad que presente el territorio.
- Capacidad de acogida social de tales usos, en función del modelo de actividad propuesta y de posibles impactos o conflictos a generarse con la sociedad local.

A continuación se presenta clasificación trabajos de investigación que se han realizado en México y que fueron encontrados en la literatura sobre aptitud ecoturística, e infraestructura vial. Retomando de cada estudio el objetivo, las principales técnicas y métodos empleados, y por último el producto obtenido.

Cuadro 8. Principales métodos aplicados en México para determinar la aptitud de áreas con potencial ecoturístico, elaboración propia.

Autor(es)	Título	Objetivo	Técnicas y métodos empleados	Lugar	Producto
Arroyo y Torres, 2003.	Metodología de la evaluación social de proyectos de caminos rurales en México	Aplicación de métodos multicriterio en regiones con potencial económico	Análisis de concordancia	Oaxaca, México	Determinar la prioridad de construcción o rehabilitación de caminos rurales
Flores-Monter <i>et al.</i> , 2007.	Análisis Multicriterio del impacto potencial del turismo en la anidación de las tortugas marinas en Chalacatepec, Jalisco	Aplicación de EMC para la identificación de amenazas potenciales	Método de Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP)	Chalacatepec, Jalisco	Mapas de impacto potencial del turismo en la anidación de las tortugas marinas
Franco-Maass <i>et al.</i> , 2009.	Evaluación multicriterio de los recursos turísticos: Parque Nacional Nevado de Toluca, México	Evaluación de los recursos turísticos potenciales y de los recursos turísticos consolidados en la región	Sumatoria lineal ponderada	Toluca, México	Cuadro de valoración potencial, y mapa de aptitud por recursos
González, 2017.	Análisis territorial para la aptitud turística de naturaleza en Otzolotepec, estado de México	Reconocimiento y caracterización del entorno natural y su potencial de aprovechamiento sustentable de recursos naturales	Método multicriterio-multiobjetivo	Toluca, México	Mapa de aptitud para actividades turísticas
Luna <i>et al.</i> , 2018.	Metodología para evaluar la sustentabilidad de la actividad turística a partir de criterios locales. Caso de estudio: Huasteca potosina	Diseño de un sistema de indicadores de sustentabilidad en la actividad turística	Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)	San Luis Potosí	tabla de criterios de diagnostico e indicadores de sustentabilidad para la evaluación de la actividad turística
Macías, 2015.	Evaluación cualitativa de los senderos del área recreativa cañón de San Lorenzo en la sierra Zapalinamé, Saltillo, Coahuila.	Evaluación cualitativa de los senderos existentes dentro del área de estudio	Método de Información de Excursiones (MIDE)	Coahuila	Propuesta de mejoras en los senderos existentes y propuesta de un nuevo sendero
Mikery y Pérez-Vazquez, 2014.	Métodos para el análisis del potencial turístico del territorio rural	Alcances y limitantes de métodos de investigación utilizados para determinar el potencial turístico,	Métodos cualitativos, cuantitativos o mixtos.	Veracruz	Cuadro de comparación de métodos aplicados a nivel mundial en la evaluación del potencial turístico



Cuadro 8. Principales métodos aplicados en México para determinar la aptitud de áreas con potencial ecoturístico, elaboración propia. (Continuación).

Autor(es)	Título	Objetivo	Técnicas y métodos empleados	Lugar	Producto
Ochoa, 2017.	Identificación de áreas optimas para practicar el turismo sustentable (ecoturismo) en el estado de Sinaloa	análisis espacial de zonas optimas para la practica del ecoturismo, basados en principios de protección y conservación	Asignación Directa, ArcGis	Sinaloa	Construcción de una base de datos y elaboración de unidades de paisaje. Mapa de zonas optimas para practica de ecoturismo
Pérez-Vivar <i>et al.</i> , 2014.	Aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México	Aplicación de un Software en el ámbito de los SIG para determinar la aptitud ecoturística definiendo para ellas las condiciones biofísicas	Método de Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP)	Texcoco, México	mapas de aptitud para actividades ecoturísticas
Pérez-Vivar <i>et al.</i> , 2012.	Diseño de un sistema de computo para determinar aptitud ecoturística de áreas forestales	Diseño y construcción un Software mediante un SIG-EMC	Método de Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP)	Texcoco, México	Software para elaborar mapas de aptitud ecoturística
Pérez-Vivar <i>et al.</i> , 2012.	Métodos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales	Análisis comparativo de las ventajas y desventajas así como de criterios e indicadores , en las metodologías de evaluación de aptitud ecoturística	Métodos cualitativos, cuantitativos o mixtos.	Texcoco, México	Cuadro de comparación de métodos aplicados para determinar la aptitud ecoturística
Reyes, 2013.	La evaluación multicriterio como instrumento de los sistemas de información geográfica	Aplicación de métodos de EMC en base a criterios de aptitud e impacto	método de Jerarquías Analíticas de Saaty (AHP) y Análisis del Punto Ideal	Distrito Federal, México	Mapas de aptitud de una red vial
Reyes-Pérez <i>et al.</i> , 2012.	Potencial turístico de la región Huasteca del estado de San Luis Potosí, México	Determinar el potencial turístico de la Huasteca Potosina	Índice Engels	San Luis Potosí	Mapa de potencial turístico de la región Huasteca Potosina
Serrano <i>et al.</i> , 2011.	Región Mazahua Mexiquense: Una visión desde sistemas complejos para la evaluación multicriterio-multiobjetivo	Determinación de la aptitud del territorio para actividades de turismo de naturaleza	Sumatoria lineal ponderada	Estado de México	Mapas de territorio con rangos de aptitud para las modalidades de turismo de naturaleza

## 5 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 este para desarrollar actividades en base 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) señala 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 estas 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.

Una vez analizada la naturaleza de los principales métodos multicriterio asociados a la valoración por aptitud de áreas, suena razonable plantearnos, cuál es el método multicriterio más adecuado (Romero, 1996).

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, esta 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 practica 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 ultimo 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).

En México se han aplicado estos métodos con el fin de identificar y evaluar la aptitud y potencial ecoturístico del territorio y con ello poder determinar las mejores áreas en las que sea posible desarrollar y establecer actividades recreativas y deportivas con soporte en las infraestructuras viales, lo cual se muestra en el **Cuadro 8**. Las investigaciones compiladas en dicho cuadro se enfocan principalmente en áreas naturales protegidas, las cuales de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente considera nueve categorías, (LEGEEPA, 1998)

Arroyo y Torres 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.

En el año 2009 Franco-Maass realizó una evaluación de los recursos turísticos potenciales y recursos existentes en el Parque Nacional Nevado de Toluca, y representó la distribución espacial de la valoración de los recursos vinculados a la ruta establecida y al sistema regional de comunicaciones.

Serrano *et al.* (2011) desde un enfoque multicriterio-multiobjetivo complementado con la Sumatoria Lineal Ponderada determinó áreas con aptitud para actividades ecoturísticas como caminata, cabalgata, ciclismo de montaña y rappel en la región Mazahua Mexiquense.

Para el año 2012, Pérez-Vivar realizó un análisis comparativo de los métodos cualitativos y cuantitativos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales, concluyendo que los métodos cualitativos determinan un valor binario, basado en la descripción de la información del área de interés. Mientras que los cuantitativos utilizan herramientas numéricas, estadísticas o analíticas, para la medición de cualidades del ambiente. En ese mismo año diseñó un sistema de cómputo para determinar aptitud ecoturística de áreas forestales. Basado en un modelo conceptual que combina herramientas multicriterio y sistemas de información geográfica en un ambiente de toma de decisiones.

Reyes-Pérez *et al.* (2012) determinaron las áreas con potenciales turísticos de la Huasteca Potosina mediante una ponderación cuantitativa y cualitativa para la integración de variables utilizando el Índice Engels.

Por su parte, Reyes en (2013), utilizando la técnica de Saaty, complementado con el Análisis del Punto Ideal, determinó las áreas potenciales en el Distrito Federal para asentamiento urbano como consecuencia de la accesibilidad a la red vial.

Pérez-Vivar (2014), realizó mapas de aptitud para actividades ecoturísticas como campismo, caminata y día de campo en la Sierra Nevada de Texcoco.

Así mismo, Mikery y Pérez-Vázquez (2014), realizaron una comparación de los métodos cualitativos y cuantitativos en el análisis del potencial turístico del territorio rural, concluyendo que para determinar este potencial se deben de complementar los métodos de manera multidisciplinaria a nivel experto debido a la complejidad del tema.

En 2015 Macías realizó una evaluación cualitativa de los senderos existentes en Área Recreativa Cañón de San Lorenzo en la Sierra Zapalinamé, en el estado de Coahuila, y la propuesta de un nuevo sendero mediante la aplicación del Método de Información de Excursiones (MIDE).

Mientras que González (2017) realizó un reconocimiento y caracterización del entorno natural de Oztolotepec, México. Y su potencial de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales basándose en un enfoque multicriterio-multiobjetivo.

Ochoa (2017), realizó un análisis espacial del territorio, basándose en un método de asignación directa obtuvo como resultado mapas de aptitud definiendo zonas óptimas para la práctica de ecoturismo en el estado de Sinaloa.

Además Luna *et al.* (2018), con la aplicación de la metodología del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), sintetizaron una tabla de criterios e indicadores de sustentabilidad para la evaluación de la actividad turística en la Huasteca Potosina.

## 6 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 así el modelo matemático que sea seleccionado reúna todos y cada uno de los elementos que tenga establecido el decisor sin necesidad de cambiarlas.

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 aun 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, siendo 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.

## 7 LITERATURA CITADA

- Acosta U., B., Pulido C., F. Núñez N., M. 2016. Planificación turística: información turística estratégica en el municipio de Santa María Jacatepec, Oaxaca. 21<sup>o</sup> Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. 25 p.
- 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.
- Aznar B., J., Guijarro M., F. 2012. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Universitat politècnica de valencia. 2<sup>a</sup> edición. 269 p.
- Barba-Romero, S. 1996. Manual para la toma de decisiones multicriterio. Instituto Latinoamericano del Caribe de Planificación Económica y Social. 78 p.
- Begoña V. 2007. Teoría de la decisión: Decisión con incertidumbre, decisión multicriterio y teoría de juegos. Universidad Complutense Madrid. España. pp. 3-41.
- 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.
- Carver, S.J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems. International Journal of Geographic Information System. Vol. 5, No. 3. pp. 321-339. DOI: 10.1080/02693799108927858.

- Ceballos L., H. 1998. Ecoturismo, Naturaleza y Desarrollo Sostenible. Conceptos básicos del ecoturismo, alcances y desarrollo en el mundo. México, D.F. Editorial Diana, S.A. 151 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.
- Crespo V., C. 2004. Vías de Comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Capítulo 1. Carreteras. 3ª Edición. Limusa. México. 740 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.
- Fournier, P. 2006. Rutas y caminos en el México prehispánicos. Arqueología de los caminos. Arqueología Mexicana. No. 81, pp. 26-31.
- 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.

Galacho J., F.B., Arrebola C., J.A. 2010. Metodología aplicada para la evaluación con SIG y EMC de senderos según las condiciones físicas del terreno. Tecnologías de la Información Geográfica: la Información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos. Sevilla, España. pp. 466- 481.

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 rio 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 2° edición. 247 p.

- González A., C.G. 2017. Análisis territorial para la aptitud turística de naturaleza en Oztolotepec, estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 98 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
- Johnston A., R. 2014. Caminos y rutas prehispánicas y coloniales entre el Valle del Panchoy y la costa sur de Guatemala. La Universidad. pp. 137-152.
- LGEEPA, Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1998. Sección II. Tipos y Características de las Áreas Naturales Protegidas. Artículo 46. pp. 33-44.
- López, J.M. 2018. Técnicas de evaluación multicriterio, lógica difusa y sistemas de información geográfica como herramientas para el ordenamiento territorial. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 167 p.
- Luque G., A.M. 2003. La evaluación del medio para la práctica de actividades turístico-deportivas en la naturaleza. Cuadernos de Turismo. Universidad de Murcia. Murcia, España. No.12. pp. 131.149.
- Luna V., S., Muñoz G., A., Valderrábano A., M. de la L. 2018. Metodología para evaluar la sustentabilidad de la actividad turística a partir de criterios locales. Caso de estudio: Huasteca potosina. *Revista UPICSA, Investigación Interdisciplinaria*. Vol. 4. No. 1. 34 p.
- Macías H., F.A. 2015. Evaluación cualitativa de los senderos del Área Recreativa Cañón de san Lorenzo en la Sierra de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 86 p.
- 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.
- Ochoa P., J.A. 2017. Identificación de áreas óptimas para practicar el turismo sustentable (ecoturismo) en el estado de Sinaloa. Universidad Autonoma del Estado de México. Toluca, México. 69 p.
- Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de: [https://www.icog.es/TyT/files/Libro\\_SIG.pdf](https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf)
- Pérez de las H., M. 2012. La guía del ecoturismo o como conservar la naturaleza a través del turismo. Capítulo 1. Ediciones Mundi-prensa. España. pp. 26-32.
- 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.

Philips L., D. 2009. Multi-criteria analysis: a manual. Department for communities and local government. London. 161 p.

Ramírez R., M.I., Jiménez C., M., Martínez P., I. 2005. Estructura y densidad de la red de caminos en la reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. Distrito Federal, México. No. 57. pp. 68-80.

Reyes P., A. (2013). La evaluación multicriterio como instrumento de los Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 118 p.

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.

Rodríguez B., J. W. 2011. Regularización del tránsito motorizado por pistas forestales. Servicio Administrativo de Medio Ambiente. Tenerife. 9 p.

Romero, C. 1996. Análisis de las decisiones multicriterio. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Madrid, España. No.14. 109 p.

Ruiz P., J. 2015. Métodos de decisión multicriterio ELECTRE y TOPSIS aplicados a la elección de un dispositivo móvil. Ingeniería Industrial. Universidad de Sevilla. España. 83 p.

Salcedo G., M.P., San Martín R., F. 2012. Turismo y sustentabilidad: paradigma de desarrollo entre lo tradicional y lo alternativo. Gestión y estrategia. No. 41. pp. 71. Recuperado de <http://gestionyestrategia.azc.uam.mx/index.php/rge/article/view/89/83>

SECTUR, Secretaría de Turismo. 1994. Estrategia nacional de ecoturismo para México. México, D.F. 199 p.

- 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. 2015. Acciones y programas. Fondo Nacional de Fomento al Turismo. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sectur/acciones-y-programas/fondo-nacional-de-fomento-al-turismo>
- 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/compendio2010/02\\_economica/turismo.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/02_economica/turismo.html)
- Serrano B., R., Gutiérrez C., C.G., Cruz J., G., Madrigal U., D. 2011. Región Mazahua Mexiquense: una visión desde sistemas complejos para la evaluación Multicriterio-Multiobjetivo. Gestión Turística. No. 16. pp. 95-125.
- Shiba, M. 1995. Analytic hierarchy process (AHP)-Based multi-attribute benefit structure analysis of road networks systems in mountainous rural areas of Japan. Journal of Forest Engineering. Tsu, Japan. pp 41-50.
- Spellerberg, I. 2002. Ecological effects of roads: a literature review. Global Ecology and Biogeography Letters. USA. pp. 317-333. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.1998.00308.x>
- Toskano H., G.B. 2005. El proceso de análisis jerárquico (AHP), como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 100 p.

Unwin, D. 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.

## 8 ACRÓNIMOS

SECTUR: Secretaria de Turismo

SIG: Sistemas de Información Geográfica

EMC: Evaluación Multicriterio

MJA: Método de Jerarquías Analíticas

PIB: Producto Interno Bruto

SEMARNAT: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales