

Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales

Analytical Hierarchy Process (AHP) as a multi-criteria method for optimal location of intermodal stations

SANDRA CECILIA LÓPEZ SERRANO*

PETER CHUNG ALONSO *

MARÍA DEL PILAR RAMÍREZ RIVERA*

Abstract

Urban projects take into account different aspects of a city, which involve multiple actors and disciplines with different objectives. The purpose of the paper is to identify and characterize a multi-criteria method that allows the improvement of the decision-making process in urban projects, such as the location of intermodal transfer stations in the Colima-Villa de Álvarez conurbation. The results show the AHP as the optimal method, since it offers the necessary characteristics to be able to evaluate, analyze and solve the variables the project needs.

Keywords: multicriteria decision making, intermodal transfer stations, Analytic Hierarchy Process.

Resumen

Los proyectos urbanos toman en cuenta diferentes aspectos de una ciudad e involucran múltiples actores y disciplinas con diferentes objetivos. El propósito de esta investigación es identificar y caracterizar un método multicriterio que permita el mejoramiento del proceso de toma de decisiones respecto a proyectos urbanos, tal como la localización de estaciones de transferencia intermodal en la conurbación Colima-Villa de Álvarez. Los resultados muestran al Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método óptimo, ya que ofrece las características necesarias para poder evaluar, analizar y dar solución a las variables que requieren ser resueltas.

Palabras clave: métodos multicriterio, estaciones intermodales, Proceso Analítico Jerárquico.

* Tecnológico Nacional de México Campus Colima, correo-e: g1946001@colima.tecnm.mx; peter.chung@colima.tecnm.mx; pilar.ramirez@colima.tecnm.mx

Introducción

El urbanismo es definido como un conjunto de conocimientos relacionados con la planificación y desarrollo de las ciudades (RAE, 2019) el cual se presenta como un proceso complejo de intercambio entre las personas, las actividades, el ambiente, los intereses, las culturas, los poderes, los deberes y derechos, pues la ciudad es, finalmente, una respuesta del compromiso colectivo logrado (Ornés, 2009).

En este proceso de planeación de las ciudades intervienen distintos actores, públicos y privados de diferentes disciplinas de las ciencias sociales: economía, sociología, ciencia política y antropología, de ciencias de la tierra: geografía, geología, topografía y biología y de disciplinas instrumentales: derecho, arquitectura, ingenierías y administración, todos estos elementos tienen el propósito de desarrollar un proyecto urbano eficiente, sin embargo, el involucramiento de múltiples actores y disciplinas genera problemas y conflictos de intereses a la hora de tomar decisiones sobre dichos proyectos.

Por otra parte, un proyecto urbano eficaz toma en cuenta diferentes aspectos de una ciudad, como el social, económico, ambiental y técnico, aspectos que son necesarios para el desarrollo exitoso de los proyectos y para la obtención de resultados positivos; en este sentido se considera necesario identificar una metodología flexible que permita conjuntar las opiniones de los actores multidisciplinarios en la toma de decisiones de la planeación urbana.

En México, la planeación urbana se compone de diversos temas entre los cuales está la movilidad urbana, que se apoya en diferentes instrumentos y políticas públicas desde el nivel federal, entre ellos destaca la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, que manifiesta y promueve políticas públicas orientadas a la planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos y a fortalecer la movilidad urbana sustentable, situación que provoca mayor demanda positiva de acceso a recursos para el financiamiento de estas obras.

En los últimos años, el Fondo Metropolitano Mexicano estableció 15% del Presupuesto de Egresos de la Federación para proyectos de movilidad urbana sustentable, con el que estados como Colima y Jalisco lograron asignaciones locales por encima de 60% para proyectos de movilidad sustentable (Sedatu *et al.*, 2016); estas, relativamente nuevas, políticas públicas orientadas a fortalecer la sustentabilidad en ámbitos urbanos involucran un trabajo en conjunto por parte de actores del gobierno federal, estatal, municipal, centros de investigación, universidades y

ciudadanía, quienes deberán buscar el mismo fin para beneficiar a la población sin priorizar objetivos particulares.

El Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS) es un instrumento desarrollado por la Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de Colima, forma parte de nuevas políticas orientadas a definir estrategias para el mejoramiento del sistema metropolitano de transporte a través de la potencialización del cambio modal; busca, asimismo, promover la implementación del equipamiento de transporte público.

Derivado de este plan y dirigido al Instituto de Planeación para el Municipio de Colima, en conjunto con la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México Campus Colima, se desarrolla el proyecto de investigación “Plan de estaciones de transferencia intermodal para la conurbación Colima-Villa de Álvarez”, el cual tiene como objetivo la mejora de la movilidad urbana y calidad de vida de sus habitantes mediante la implementación de estaciones de transferencia intermodal.

El desarrollo de este proyecto se lleva a cabo con actores de organismos de gobierno estatales, descentralizados municipales e instituciones de educación superior, al mismo tiempo toma en cuenta aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos, involucrando diferentes disciplinas, razón por la cual se vuelve problemática la toma de decisiones; es por ello que la presente investigación tiene el objetivo de identificar y caracterizar un método multicriterio que permita el mejoramiento del proceso de toma de decisiones en proyectos urbanos y auxilie a los diferentes actores a tomar decisiones de forma eficiente, ecuánime y objetiva.

Para poder seleccionar una metodología idónea se analizaron aquellas que forman parte de la Multi Criteria Decision Making (MCDM), que es una rama de la investigación operativa y que tiene como objetivo encontrar resultados óptimos en escenarios complejos, los cuales incluyen varios indicadores, objetivos y criterios en conflicto (Kumar *et al.*, 2017).

Para dar una solución sistemática y cuantitativa a los problemas desafiantes de la movilidad urbana se demostró la aplicación de un modelo metodológico de tipo multicriterio. Es importante indicar que este trabajo de investigación logró caracterizar la metodología óptima, sin embargo, el desarrollo de ésta y su aplicación se llevará a cabo en un próximo trabajo.

1. El transporte público como desafío del urbanismo

La tercera revolución urbana o neourbanismo nacido en la transición del siglo XX al XXI comprende cinco grandes cambios, entre los cuales está

la transformación de los sistemas urbanos de movilidad, lo cual indica una evidente modificación en las costumbres de los ciudadanos, las formas de las ciudades, los medios, los motivos, los lugares y los horarios de los desplazamientos urbanos (Ascher, 2010). El transporte público es un servicio esencial en las ciudades, que contribuye de manera importante a la calidad de vida de sus habitantes (Moore y Pulidindi, 2013); la estructura y capacidad de la red de transporte urbano impacta directamente en su nivel de accesibilidad (Zhu y Liu, 2004).

De acuerdo con Sedatu *et al.* (2016), en México, la movilidad es un indicador que refleja la desigualdad del país; la promoción del modelo de crecimiento disperso de las ciudades provoca trayectorias más largas, distantes, desconectadas y menos oferta de transporte público, perjudicando a los sectores más vulnerables de la población.

Los planes y programas fomentan obras de infraestructura y subsidios de gasolina destinados principalmente a vehículos particulares, se privilegia a la población menos vulnerable que, de acuerdo con Sedatu *et al.* (2016), tiene la oportunidad de elegir entre distintos medios para movilizarse, así mismo, da prioridad al uso de transporte particular en lugar del transporte público colectivo que utiliza diariamente la población más vulnerable.

A pesar de que un transporte público eficiente proporciona principalmente beneficios a una ciudad, su mala gestión o la falta de políticas públicas a su favor originan problemas en aspectos ambientales, económicos y sociales. Estas negatividades han traído consigo la necesidad de crear políticas públicas que fomenten el uso de diferentes medios de transporte público colectivo y no motorizado, así como el desuso de transporte particular. El mal estado del transporte público genera impactos negativos que condicionan la elección del modo de transporte, algunos de éstos son la inseguridad y la falta de accesibilidad universal como aspectos sociales, la congestión vehicular y tiempo de traslado como aspectos ambientales y el impacto económico.

Las estaciones de transferencia intermodal son espacios físicos controlados que auxilian al usuario en la conexión entre dos o más modos de transporte integrados, tienen el objetivo de proporcionar disponibilidad, velocidad, seguridad y reducir la dependencia del uso del automóvil particular (Congreso del Estado de Colima, 2017).

Actualmente, en la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez (ZMCVA) se desplazan a diario 90,121 personas de un municipio a otro, quienes comúnmente utilizan más de dos modos de transporte para llegar a su destino y estas transferencias intermodales se realizan informalmente, al no contar con espacios destinados para ello.

En el estado de Colima, lugar donde se sitúa este proyecto, los planes y programas elaborados por los actores gestores de políticas del gobierno estatal proponen proyectos de la índole urbana que después son gestionados por las instituciones de planeación de cada municipio, las cuales cuentan con actores expertos en temas de urbanismo y movilidad; en este contexto, la toma de decisiones con métodos multicriterio, MCDM, puede verse como una metodología aplicable para resolver los problemas en los que intervienen actores con diferentes conocimientos.

2. Los métodos de toma de decisión multicriterio

Evaluar alternativas es algo que la gente hace en la vida diaria, en ocasiones tomar decisiones puede causar conflicto debido a las influencias que pueden causar los patrones mentales, el estado de ánimo, las creencias personales, las relaciones familiares y sociales, que determinan prioridades cuando se intenta solucionar un problema.

Quando se enfrenta el proceso de toma de decisiones o selección de alternativas, generalmente se tienen múltiples objetivos, que se contraponen entre ellos, haciendo más complejo este proceso y generándose entonces la necesidad de una herramienta o un método que permita comparar esos múltiples criterios frente a la gama de alternativas posibles. (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008: 247).

El proceso de decisión es el estudio de la identificación y elección de alternativas basadas en los valores de la persona o equipo de personas que toma la decisión, es una herramienta que reduce la subjetividad en la toma de decisiones mediante la creación de una serie de filtros de selección y ayuda a la elección entre alternativas complejas (Muñoz y Romana, 2016), por lo anterior, es de gran ayuda contar con herramientas de toma de decisión multicriterio que optimicen este proceso y permitan analizar las alternativas de una forma más científica y sistemática, auxiliando a quienes toman las decisiones a abordar una comparación entre las alternativas (Martínez *et al.*, 2010).

De acuerdo con Camargo Pérez *et al.* (2014), una solución óptima existe si se considera un solo criterio. Sin embargo, en la realidad del área urbanística esto no es posible, por lo tanto, estos tipos de métodos multicriterio, que recurren a técnicas matemáticas, permiten obtener la solución óptima o la mejor dentro de un conjunto de soluciones posibles (Camargo Pérez *et al.*, 2014).

De acuerdo con Muñoz y Romana (2016), Bernoulli, en el año de 1738, indicó que el proceso de decisión depende de los valores, circunstancias y preferencias del decisor, y, a finales de la década de los noventa,

los métodos de toma de decisión multicriterio han comenzado a trascender del ámbito académico y se han extendido al ámbito público y empresarial. Hoy en día estas metodologías se emplean con múltiples y diversas finalidades como localización de empresas, selección de maquinaria o contratistas, predicciones financieras, definición de estrategias empresariales, así como análisis y selección de inversiones.

Se mencionan algunos ejemplos de artículos de otras disciplinas en los que se han aplicado los métodos multicriterio, uno aplicado al área de arquitectura se titula: “Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”, en el cual se planteó la utilización de esta técnica con datos generados por un SIG para determinar cuál es el emplazamiento más adecuado para construir una biblioteca en el Campus de Montegancedo de la Universidad Politécnica de Madrid (Martínez *et al.*, 2010).

Otro trabajo en el cual se observó la eficacia de los métodos multicriterio, en el área de la economía, es “El método Delphi aplicado al diseño de un modelo de financiación de transporte urbano”, el cual describe el proceso de revisión del modelo de financiación del transporte urbano de viajeros en España con una dimensión multidisciplinar que coadyuvó a valorar el método Delphi como la mejor opción metodológica (Flores Ureba *et al.*, 2019).

Las técnicas multicriterio también son aplicadas en programas informáticos de planificación de recursos empresariales o ERP, por sus siglas en inglés (Enterprise Resource Planning), como son “Expert Choice” y “Super Decisions”. En “Selección multicriterio de un Sistema ERP mediante las metodologías AHP y ANP” se presenta una aplicación de la metodología AHP al problema de selección de un sistema ERP para una empresa dedicada a la distribución de paquetería urgente, con el fin de obtener conclusiones relativas a los efectos de los procesos de modelización de ambas técnicas (Toncovich *et al.*, 2007).

Otra aplicación muy común en las empresas es dentro de la gestión de proveedores, en el artículo “Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP”, se utiliza como herramienta base el método AHP para definir si se están cumpliendo o no los acuerdos contractuales y los parámetros de desempeño esperados para el éxito de las operaciones de la compañía (Osorio Gómez *et al.*, 2008).

Como pudimos observar, los MCDM han sido de utilidad en áreas de estudio principalmente de tipo cuantitativo como la administración, informática y economía, sin embargo, la aplicación en estudios de tipo urbanístico es escasa, siendo aún más corta su aplicación en estudios de movilidad urbana y casi inexistente en temas relacionados a la localización

y diseño de estaciones intermodales, es por esto que se considera relevante el caracterizar un método que pueda ser aplicado para este tipo de estudios.

3. Metodología

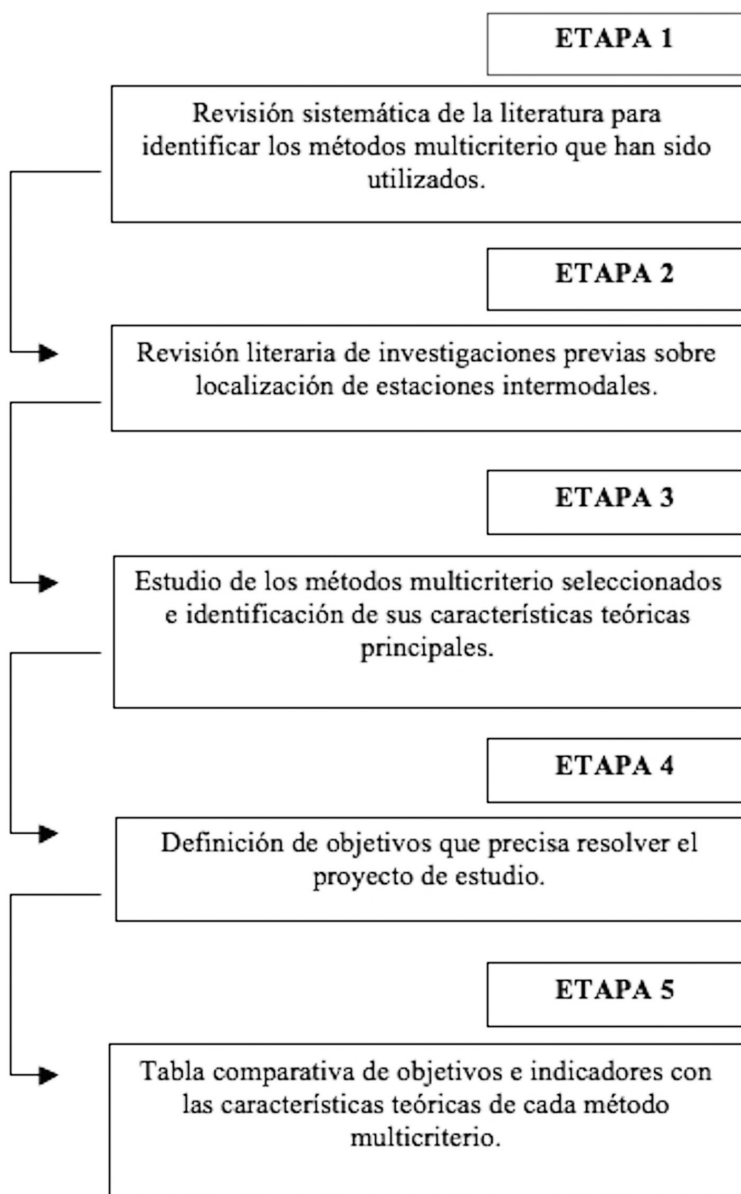
El conjunto de métodos que se llevaron a cabo para la caracterización de un método multicriterio óptimo consistió en cinco etapas: la primera fue la realización de una revisión sistemática de la literatura para identificar los métodos multicriterio que han sido utilizados en la resolución de problemas del área urbanística; en la etapa dos se realizó una segunda revisión literaria de las investigaciones previas para la localización de estaciones intermodales; a continuación —en la tercera etapa y de acuerdo con las revisiones previas— se definieron once métodos multicriterio los cuales se estudiaron con el objetivo de obtener las características teóricas de cada uno; la cuarta etapa consistió en la definición de los objetivos del proyecto de estaciones intermodales, de los cuales se desprende una serie de indicadores que precisa el proyecto (numerados del 1 al 17), que, a su vez, se desprendieron en otra serie de indicadores (con nomenclatura A-H) enfocados en las características teóricas que necesita el método utilizado para cumplir con los objetivos del proyecto; finalmente, en la última etapa se realizó una tabla comparativa de estos últimos indicadores (con nomenclatura A-H) con los once métodos multicriterio y las características teóricas que ofrece cada uno, para de esta forma ponderar a cada método de acuerdo con cuáles indicadores puede cumplir y con esto lograr caracterizar el que cuenta con las herramientas para satisfacer las necesidades que el proyecto para la localización de estaciones intermodales necesita resolver. Este proceso se resume en la figura 1.

3.1. Revisión literaria de métodos multicriterio en el área urbanística

La etapa uno de la metodología entonces consistió en una revisión literaria con el objetivo de identificar los métodos multicriterio que se han utilizado anteriormente para la solución de problemas en el área urbanística. Para llevar a cabo el primer punto, se decidió realizar una revisión sistemática de literatura o SLR (Systematic Literature Review).

La SLR es un tipo de revisión de la literatura que recopila, analiza e identifica críticamente múltiples estudios o trabajos de investigación a través de un proceso sistemático en un campo o temática elegida, el objetivo es proporcionar un resumen exhaustivo de la literatura disponible pertinente a una pregunta de investigación. Una de las principales ven-

Figura 1
Pasos de la metodología



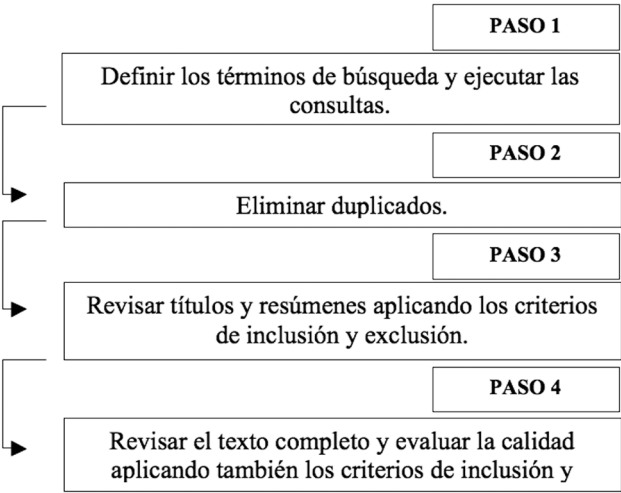
Fuente: elaboración propia.

tajas para este trabajo es la posibilidad de replicar la revisión siguiendo los mismos procedimientos y verificar si se llega a la misma conclusión (García-Peñalvo, 2017).

Los pasos para realizar una SLR son 1. Definir los términos de búsqueda; 2. Identificar las bases de datos y motores de búsqueda, así como revistas a las que pueden accederse manualmente, y consultar con los términos de búsqueda seleccionados; 3. Decidir y aplicar filtros para la inclusión y la exclusión; 4. Asegurarse de que los artículos resultantes son representativos repitiendo el proceso de filtrado (García-Peñalvo, 2017). Estos pasos se aprecian gráficamente en la figura 2.

Para el propósito de la revisión sistemática de literatura se formuló la

Figura 2
Pasos para la revisión sistemática de la literatura



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de García-Peñalvo (2017).

siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles técnicas de criterios múltiples (MCDM) se han utilizado para la toma de decisiones en proyectos del área urbanística? Para responder el cuestionamiento se realizó la búsqueda de artículos científicos, correspondientes al paso 1 de la SLR, en la base de datos del Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (Conricyt) en su plataforma web (Conricyt, 2019); la búsqueda se realizó en el mes de noviembre de 2019.

Para iniciar la búsqueda se aplicó el primer filtro que permite la selección exclusiva de artículos de investigación, posteriormente se elaboraron dos frases, una en español y otra en inglés, que permitieran la búsqueda de

artículos en la base de datos mencionada; las frases utilizadas para la búsqueda fueron las siguientes: “Método Multicriterio MCDM” y “Multi Criteria Decision Making Urbanism”.

Como resultado de la búsqueda de la primera frase se encontraron 73 artículos de investigación, mientras que en la búsqueda e la segunda frase se obtuvieron 159, en total se obtuvieron 232 artículos; en el paso tres se realizó una revisión de títulos y resúmenes aplicando los criterios de inclusión y exclusión, los cuales se definieron como se ve en la tabla 1:

Tabla 1
Criterios de inclusión y exclusión para la selección de la literatura

<i>Característica</i>	<i>Criterio</i>
Inclusión	El artículo utiliza en su metodología algún método de toma de decisión multicriterio. El artículo resuelve un problema relacionado con el urbanismo.
Exclusión	El artículo menciona algún método de toma de decisión multicriterio pero no lo utiliza en su metodología. El artículo no resuelve problemas relacionados con el urbanismo.

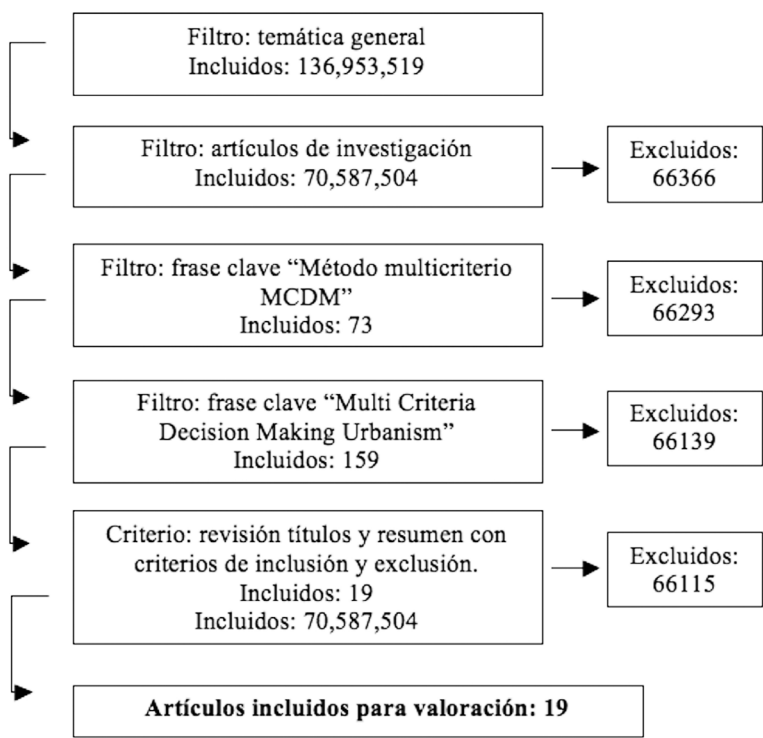
Fuente: elaboración propia.

Después de revisar títulos y resúmenes de los 232 artículos de investigación y aplicar los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron únicamente los que resultaban relevantes para el análisis, se eligieron 19 artículos de investigación del área de urbanismo que utilizan algún método multicriterio en su metodología; es importante mencionar que, de estos 19 artículos relevantes, tan solo uno hace referencia al área de movilidad urbana, lo cual nos indica que los métodos multicriterio para resolver este tipo de conflictos no son comúnmente utilizados y podemos definir que la necesidad existe y el aporte de esta propuesta es pertinente y relevante (figura 3).

En la tabla 2 podemos observar el resumen de los 19 artículos relevantes referentes a investigaciones del área urbanística que han utilizado métodos de tipo multicriterio para la solución de problemas. Se observa que la mayoría fueron publicados entre el 2015 y 2018, antes del año 2000 no se encuentra ninguna investigación. También se observa que la gran mayoría utilizó en su proceso metodológico el método AHP, mientras que el método Delphi y SMCDA se utilizó en un par de artículos.

Los artículos relevantes refieren temas del área urbana, destaca el crecimiento de las ciudades, estrategias de desarrollo, implantación de edificaciones y temas administrativos como la gestión de los organismos operadores de servicios públicos. Solo uno de los artículos hace referencia

Figura 3
Resumen de la revisión sistemática realizada



Fuente: elaboración propia.

a un tema relacionado a la movilidad urbana, propone un método que auxilie para el ruteo de vehículos de transporte público, sin embargo, no hace referencia al tema de localización de estaciones intermodales.

3.2. Revisión literaria de investigaciones previas para la localización de estaciones intermodales

Debido a que el resultado de la anterior revisión documental arrojó solo una investigación relacionada a la movilidad urbana y ninguna referente a la localización de estaciones intermodales, se realizó una búsqueda de artículos con esta temática en diferentes bases de datos; se encontraron cinco investigaciones que tienen el objetivo de definir la localización de estaciones intermodales, las cuales utilizan diferentes metodologías que se explican detalladamente en la tabla 3.

Tabla 1 (continuación)

Núm.	Artículo de investigación	Año	Artículo multicriterio										
			Delphi	AHP	VIKOR	ELECTRE	SMCDA	HFIS	Macbeth	Promethee	TOPSIS	F-MCDM	ANP
14	Spatial - Physical Analysis of the urban smart growth indicators (case study: districts of Rasht).	2018											
15	Railway station site selection using Analytical Hierarchy Process and data envelopment analysis.	2010											
16	Approach of decision making based on the Analytic Hierarchy Process for urban landscape management.	2012											
17	Delphi-AHP and weighted index Overlay-GIS approaches for industrial site selection case study: large extractive industrial units in Iran.	2017											
18	Model of slum area management based on socio-spatial approach. The case of Baubau city, Indonesia.	2018											
19	Inter-Municipal landfill site selection using Analytic Network Process.	2014											

Fuente: elaboración propia con base en información documental.

Tabla 3
Investigaciones previas para la localización de estaciones
intermodales

<i>Núm.</i>	<i>Tipo</i>	<i>Título</i>	<i>Metodología utilizada</i>
1	Artículo de investigación	Criterios de localización de estaciones intermodales: propuesta para el Área Metropolitana de Caracas	Con base en la revisión del estado del arte se identifican criterios generales de localización agrupados en ámbito normativo, metropolitano y local, los cuales son evaluados a través de una encuesta semiestructurada aplicada a un grupo de 20 expertos, 10 nacionales y 10 internacionales con conocimiento sobre el sistema de transporte en el AMC. Para la evaluación se elaboró un formulario con el listado los criterios para que cada encuestado indicara su relevancia con base en la escala cualitativa: muy relevante, relevante, poco relevante, irrelevante. Se realizó la sumatoria de las respuestas generadas para cada escala de valoración del criterio, luego de obtenidos y procesados los resultados, se llevó a cabo un panel de expertos para profundizar en la clasificación de los criterios de localización y generar una propuesta de localización de estaciones intermodales en esta metrópolis.
2	Tesis de grado	Estación intermodal jardín del Sumapaz	La proyección de una estación intermodal para el municipio de Fusagasugá determina su ubicación a partir de criterios urbanos y determinantes morfológicos como los sitios de mayor aglomeración, zonas que son punto de llegada de la población que reside en las veredas, áreas centrales que presentan un alto flujo vehicular con la necesidad de una intervención urbana de movilidad y transporte y áreas de intervención.
3	Tesis de grado	Estudio de factibilidad para la localización de una estación intermodal en la Zona Noroeste de la Ciudad de Córdoba	Se eligieron posibles ubicaciones más convenientes buscando primeramente terrenos pertenecientes al estado, cuyo costo de adquisición es de menor valor; para la selección de la ubicación más factible se utilizó el método de los factores ponderados desarrollado por Ronald H. Ballou, con el cual se tomaron los criterios de localización de estaciones intermodales más significativos, donde existen diferencias apreciables unidos en cuatro grandes grupos; para el peso de los factores analizados se consultó a expertos en el tema, cada uno valoró de acuerdo con su experiencia, luego se utilizó un valor promedio. Todo ello lleva a calificar en forma ponderada a través de un índice total cada posible ubicación, resultando el de mayor valor ser más conveniente.

Tabla 2 (continuación)

Núm.	Tipo	Título	Metodología utilizada
4	Tesis de grado	Estación intermodal de transporte público Salitre Central	El proyecto se centra en un sector estratégico para dar una posible solución, este lugar es aledaño a la terminal de transportes el Salitre de Bogotá, propone una estación intermodal que articule los diferentes modos de transporte público que se presentan en la ciudad como una solución a la recuperación y revitalización de un sector no funcional y deteriorado en gran medida por el uso industrial que se presenta en el mismo.
5	Tesis de maestría	PANDO, estación intermodal en Sagunto	Los posibles lugares para una estación de tren eran Navajas, Segorbe, y Sagunto. Tras una densa reflexión se decide escoger Sagunto por diferentes motivos: punto clave para la futura conexión de los núcleos; se trata de una zona urbana que ha sido abandonada y desatendida para así convertirse en el lugar inhóspito que hoy se puede encontrar.

Fuente: elaboración propia con base en información documental.

3.3. Métodos multicriterio utilizados en el área urbanística

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente se reconoce la aplicación de once métodos de toma de decisión multicriterio que han sido utilizados para la resolución de problemas urbanísticos: Delphi, Analytic Hierarchy Process (AHP), VIKOR, ELECTRE, Spatial Multi-criteria Decision Analysis (SMCDA), Hierarchical Fuzzy Inference System (HFIS), Macbeth, Promethee, TOPSIS, Fuzzy Multi Criteria Decision Making (F-MCDM) y Analytic Network Process (ANP); estos ofrecen distintas características teóricas, las cuales son descritas a continuación y comparadas con las variables que precisa resolver el proyecto de localización de estaciones intermodales.

3.3.1. Método Delphi

Este método permite obtener la opinión de un grupo de expertos a través de la consulta reiterada, al ser de carácter cualitativo es recomendable frente a situaciones de incertidumbre, carencia de información o necesidad de recoger opiniones de un colectivo de individuos. Es una técnica versátil, ya que hace uso de la información que proviene tanto de la experiencia como de los conocimientos de los expertos. Permite retroalimentaciones controladas que dan lugar a la reflexión de los participantes, lo cual conduce a una mayor comprensión que, cuando se desea un

análisis participativo, resulta eficiente para la construcción de acuerdos (Reguant-Álvarez y Torrado-Fonseca, 2016).

Su metodología se compone de cuatro etapas principales: la primera de ellas consiste en la definición del problema y la formulación de un objetivo principal; la segunda involucra la conformación del grupo de informantes o expertos, tomando en cuenta sus perfiles e intereses; en la tercera etapa se ejecutan las rondas de consulta, elaborando un cuestionario inicial y después una siguiente ronda de retroalimentación tantas veces como sea necesario para producir un consenso o disenso; por último, en la etapa de resultados, se analiza la información de la última ronda y se elabora un informe de devolución final (Reguant-Álvarez y Torrado-Fonseca, 2016). Por lo tanto, se pueden resumir sus principales características:

1. Permite la participación igualitaria de expertos en el tema.
2. Permite trabajar con un equipo multidisciplinario.
3. Permite el uso de información cualitativa.

3.3.2. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

Este método se utiliza para derivar escalas de razón de comparaciones pareadas tanto discretas como continuas, se encuentran sus aplicaciones más amplias en la asignación de recursos y la resolución de conflictos. Fue desarrollado por Thomas Saaty entre 1971 y 1975 (Saaty, 1980) para resolver el tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS (Muñoz y Romana, 2016).

Su metodología se basa en la comparación por pares de elementos, con lo cual, además de permitir valorar las diferentes alternativas, permite establecer por comparaciones pareadas la importancia relativa de cada criterio respecto al resto y establecer prioridades de los elementos en cada nivel, ponderándolas de acuerdo con la escala de comparación de Saaty para obtener las prioridades globales frente al objetivo principal (Osorio Gómez y Orejuela Cabrera, 2008).

La primera etapa del método AHP consiste en establecer la jerarquía del problema de decisión definiendo el objetivo; a continuación, los criterios y subcriterios se establecen, después, se elabora un modelo jerárquico con base en matrices de comparación de elementos y el uso de elementos de álgebra matricial; por último, una vez construida la estructura jerárquica del problema se da paso a la valoración de los elementos, para lo cual, el decisor realiza la valoración de los criterios a través de comparaciones pareadas y valora las diferentes alternativas respecto a cada criterio, el AHP permite realizar estas comparaciones basándose tanto en factores cuantitativos como cualitativos, ya que para ellos se utiliza la

escala propuesta por Thomas Saaty, de esta forma el decisor puede expresar sus preferencias entre dos elementos mediante valores numéricos. Por lo tanto, se pueden resumir sus principales características:

1. Ofrece un *ranking* numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas.
2. Permite el uso de criterios y subcriterios.
3. Permite el uso de información cualitativa.
4. Permite el uso de información cuantitativa.
5. Permite trabajar con un equipo multidisciplinario.

3.3.3. Método VIKOR

De acuerdo con Bernal Romero y Niño Sanabria (2018), el método VIKOR fue propuesto por Serafin Opricovic en 1990; es una herramienta efectiva en situaciones donde el responsable de la toma de decisiones no puede o no sabe expresar sus preferencias hacia las alternativas. La solución de compromiso obtenida podría ser aceptada por el encargado de tomar decisiones porque proporciona una utilidad máxima de un grupo y un arrepentimiento individual mínimo (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Se pueden resumir sus principales características:

1. Ofrece un *ranking* numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas.
2. Permite el uso de información cualitativa.
3. Permite el uso de información cuantitativa.

3.3.4. Método ELECTRE

Perteneciente al conjunto de métodos multiatributo que manejan información cardinal está el método ELECTRE, propuesto en 1965, éste se basa en la comparación de la superioridad binaria entre alternativas; proporciona a los responsables de la toma de decisiones la capacidad de incorporar una gran cantidad de criterios cualitativos y cuantitativos en el proceso de toma de decisiones (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Sus principales características son las siguientes:

1. Permite la comparación entre diferentes alternativas.
2. Permite el uso de información cualitativa.
3. Permite el uso de información cuantitativa.
4. Permite el uso de información cardinal.

3.3.5. Toma de decisiones espaciales multicriterio (SMCDM)

Los Análisis Multicriterio, al utilizar algún método de información geográfica, se convierten en herramientas de análisis espacial y se conocen como Análisis Espacial Multicriterio o Spatial Multicriteria Decision Analysis (SMCDA). La principal característica del este método es el concepto de reglas de decisión o algoritmos de evaluación, el cual es un procedimiento que dicta el orden de alternativas o señala cuál alternativa es preferida sobre otra en el problema de decisión (Cruz Cuéllar, 2017).

La toma de decisiones espaciales multicriterio o SMCDM, por sus siglas en inglés (Spatial Multicriteria Decision Analysis), se refiere a la aplicación de un análisis multicriterio en un contexto espacial donde las alternativas, los criterios y otros elementos del problema de decisión tienen dimensiones espaciales explícitas. Este método, trabaja en conjunto con sistemas de información geográfica (SIG), los combina en un mapa y pondera con ayuda de expertos en el tema (Chakhar y Mousseau, 2008).

También puede ser definido como un proceso que integra y transforma datos geográficos, tal es el caso de mapas de criterio y juicios de valor, como las preferencias del tomador de decisiones para obtener la evaluación total de las alternativas de decisión. Es así como la base de datos geográfica y el sistema modelo de decisión multicriterio han sido considerados elementos principales de sistemas de apoyo de decisión espacial multicriterio (Cruz Cuéllar, 2017).

Algunas de las ventajas que ofrece este método son el poder ofrecer la búsqueda de opciones cuantitativas; la capacidad de hacer un análisis complejo de la realidad espacial; la búsqueda de opciones geográficas sea cual sea el contexto sobre el que se apliquen y sin importar los grandes volúmenes de datos con los que trabaje. Se pueden resumir sus principales características:

1. Permite el uso de información cardinal.
2. Permite el uso de información cuantitativa.
3. Permite la comparación entre diferentes alternativas.

3.3.6. Sistema Jerárquico de Inferencia Difusa (HFIS)

Es un método de razonamiento deductivo con términos lingüísticos que utiliza conjuntos difusos, modela el proceso humano de toma de decisiones e incorpora las opiniones de expertos. Una regla difusa tiene dos componentes: una parte “si” (también conocida como antecedente) y una parte “entonces” (también conocida como consecuente). Este método incluye cuatro procedimientos principales: “fusificación”, generación de

la función de pertenencia y reglas difusas, inferencia difusa y “de-fusificación”. Los sistemas de inferencia difusa se han aplicado en diversas áreas, sin embargo, muchos estudios reportaron limitaciones cuando se trata de múltiples variables. Normalmente, tres o cuatro variables son el número máximo que se puede considerar como parte de un método difuso convencional. Por lo tanto, después de estudiar en qué consiste esta técnica se pueden resumir sus principales características:

1. Permite la participación igualitaria de expertos en el tema.
2. Permite el uso de información cuantitativa.
3. Permite la comparación entre solo cuatro alternativas.

3.3.7. Método Macbeth

De acuerdo con Bernal Romero y Niño Sanabria (2018) fue propuesto por Carlos Bana e Costa y Jean-Claude Vansnick en 1994, el método Macbeth está basado en la Teoría de la utilidad, que permite trabajar con etiquetas lingüísticas y valores numéricos. Su principal objetivo es medir el atractivo de un conjunto de alternativas a través de una técnica de evaluación basada en categorías, mediante juicios cualitativos de las diferencias en el atractivo, con el fin de generar puntajes de valor; este método deriva puntajes para las alternativas del conjunto consistente de juicios que constituyen la escala numérica básica de Macbeth. El juez o experto valida posteriormente comparando los tamaños de los intervalos entre los puntajes propuestos y los ajusta, si es necesario, uno a la vez dentro de un rango compatible con los juicios obtenidos (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Sus principales características:

1. Ofrece un *ranking* numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas.
2. Permite la comparación entre diferentes alternativas.
3. Permite el uso de información cualitativa.

3.3.8. Método Promethee

El Método de Organización de Clasificación de Preferencias para Evaluaciones de Enriquecimiento (Promethee) fue desarrollado en 1982; proporciona información sobre la naturaleza conflictiva de los criterios y ofrece herramientas de sensibilidad para probar fácilmente diferentes conjuntos de pesos, de igual forma, permite crear criterios cualitativos con diferentes valores semánticos y es el propio responsable de tomar

decisiones quien debe asignar valores numéricos a cada valor semántico (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Sus principales características:

1. Permite la comparación entre diferentes alternativas.
2. Ofrece un *ranking* numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas.
3. Permite el uso de información cualitativa

3.3.9. Método TOPSIS

El método TOPSIS se basa en una función de agregación que representa “la cercanía al ideal”, determina una solución con la distancia más corta a la solución ideal y la mayor distancia a la solución ideal negativa, usando la normalización vectorial (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Por lo tanto, se pueden resumir sus principales características:

1. Permite el uso de criterios y subcriterios.
2. Permite el uso de información cualitativa.
3. Permite el uso de información cuantitativa.
4. Ofrece un *ranking* numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas.

3.3.10. Toma de decisiones difusas multicriterio (F-MCDM)

Otra vertiente de los métodos de análisis multicriterio es la Toma de Decisiones Difusas Multicriterio, que se utiliza cuando existen datos vagos e incompletos para la solución. Encuentra utilidad en decisiones tomadas en ambientes difusos, es decir, aquellos en los que los objetivos, las restricciones y las consecuencias de las posibles acciones no se pueden conocer de manera concreta y están normalmente afectadas por la incertidumbre derivada de insuficiencia de los datos que se necesita para ello, así como de la subjetividad de las preferencias de quienes toman decisiones. Es una herramienta que sirve para tomar decisiones individuales y grupales, ya que los valores que cada uno asigna a los diferentes criterios pueden diferir significativamente, por lo que cada decisor obtendrá un orden distinto en el conjunto de alternativas, dificultando aún más obtener una decisión final para todos los involucrados (Kahraman *et al.*, 2015). Sus principales características:

1. Permite el uso de información cualitativa
2. Permite trabajar con un equipo multidisciplinario.
3. Permite el uso de información cardinal.

3.3.11. Proceso Analítico en Red (ANP)

Por último, tenemos el Proceso Analítico en Red o Analytic Network Process, el cual fue postulado por Thomas Saaty en el año de 1996 (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018) como una generalización del método AHP. La característica teórica esencial de ANP, a diferencia de AHP, es que permite incluir relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema. La representación gráfica de ANP, a diferencia de AHP, ya no se realiza mediante el clásico sistema jerárquico, sino mediante una red formada por componentes, nodos o clústers y cada uno de ellos comprende una serie de elementos. Las relaciones entre dichos componentes se llama interdependencias y las relaciones entre elementos dentro de un nodo, realimentación (Bernal Romero y Niño Sanabria, 2018). Sus principales características se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Permite el uso de criterios y subcriterios.
2. Permite el uso de información cualitativa.
3. Permite el uso de información cuantitativa.
4. Permite trabajar con un equipo multidisciplinario.

3.4. Objetivos a resolver del proyecto “Plan de estaciones intermodales para la conurbación Colima-Villa de Álvarez”

Después de conocer las características teóricas principales que ofrece cada uno de los 11 métodos multicriterio que han sido utilizados para resolver temas urbanos, se compararán con los objetivos que necesita resolver el proyecto; estos objetivos son tres generales: referente al aspecto geográfico se debe definir la mejor opción de zonas y terrenos disponibles; respecto al aspecto social, urbano y ambiental, se deberá lograr la integración de aspectos sociales, económicos y urbanos de cada alternativa de terreno; y sobre el aspecto técnico, se tendrá que garantizar la colaboración de múltiples actores de diferentes municipios y utilizar datos cualitativos y cuantitativos.

De estos tres objetivos se desprenden 17 indicadores (numerados del 1 al 17 en la tabla 4) que resultan esenciales para poder elaborar un proyecto urbano eficaz, ecuaníme y objetivo. De estos indicadores se definieron algunos más (ahora con nomenclatura A-H en la tabla 4) que describen las características que necesita ofrecer el método multicriterio utilizado para cumplir con los 17 indicadores del proyecto y a su vez con los tres objetivos principales. Lo anterior se puede observar en la siguiente tabla 4, en la cual también se define una rúbrica para ponderar los indicadores,

Tabla 4
Tabla de objetivos del proyecto, indicadores y rúbrica

	Aspecto	Objetivo	Necesidad	Núm.	Indicadores del proyecto	Núm.	Indicadores del método	Rúbrica	
1		7	Se proponen tres zonas en las que actualmente ya se realizan intercambios modales de manera informal: zona nororientante, norponiente y surponiente, en las cuales se requiere definir geográficamente los terrenos factibles para la localización de la estación intermodal, mediante el análisis de la dinámica de movilidad de la ciudad	1	Definición geográfica del terreno	A	Uso de información cardinal	El método permite el uso de información cardinal	1
				2	Cobertura de la población	B	Clasificación numérica de alternativas	El método no permite el uso de información cardinal	0
				3	Flujos y desplazamientos			El método ofrece un <i>ranking</i> numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	0
				4	Área del terreno	C	Comparación entre diferentes alternativas	El método permite la comparación entre diferentes alternativas	1
								El método no permite la comparación entre diferentes alternativas	0

Tabla 4 (continuación)

Aspecto	Objetivo	Necesidad	Núm.	Indicadores del proyecto	Núm.	Indicadores del método	Rubrica	
Técnico	Garantizar la colaboración de múltiples actores privados, públicos y descentralizados de los diferentes municipios así como el uso de datos cualitativos y cuantitativos	El proyecto surge del “Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable”, desarrollado por la Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de Colima y el Instituto de Planeación Para el Municipio de Colima, que, en conjunto con la División de Estudios de Posgrado del TecNM Campus Colima, deberán fomentar la participación de sus expertos, y al mismo tiempo tomar en cuenta métodos de investigación cualitativos y cuantitativos	14	Colaboración entre actores	E	Participación de expertos en el tema	El método permite la participación de expertos en el tema	1
			15	Colaboración entre municipios	F	Trabajo de equipos multidisciplinarios	El método no permite la participación igualitaria de expertos en el tema	0
			16	Utiliza datos cualitativos	G	Uso de información cuantitativa	El método permite trabajar con un equipo multidisciplinario	1
			17	Utiliza datos cuantitativos	H	Uso de información cualitativa	El método no permite el uso de información cuantitativa	0
							El método no permite el uso de información cuantitativa	1
							El método no permite el uso de información cuantitativa	0
							El método no permite el uso de información cuantitativa	1
							El método no permite el uso de información cuantitativa	0

Fuente: elaboración propia con base en información documental.

la cual otorga un “1” si lo cumple y un “0” si no lo cumple con la rúbrica determinada.

3.5. Comparación de indicadores del proyecto y de los métodos

En la última etapa se realizó una tabla comparativa de estos últimos indicadores del método en dirección X (con nomenclatura A-H) con los 11 métodos multicriterio y las características teóricas que ofrece cada uno en dirección Y, para ponderar con la rúbrica “1” y “0” a cada método, de acuerdo con cuáles indicadores puede cumplir y cuáles no, obteniendo un puntaje final por método y con esto lograr caracterizar el que cuenta con las herramientas para satisfacer las necesidades que el proyecto para la localización de estaciones intermodales necesita resolver, lo anterior se observa en la tabla 5.

4. Resultados

Con el puntaje final de cada método obtenido en la tabla comparativa (tabla 5), se tiene como resultado que el método HFIS cuenta con dos puntos, los métodos Delphi, VIKOR, SMCD, Macbeth, Promethee y F-MCDM cuentan con tres puntos, mientras que los métodos ELECTRE, TOPSIS y ANP obtuvieron cuatro puntos; el método AHP obtuvo el puntaje mayor con cinco.

El método con mejor puntaje (HFIS) permite la participación igualitaria de expertos en el tema y el uso de información cuantitativa, pero no tiene las características necesarias para cumplir con el indicador “D”, que precisa la utilización de criterios y subcriterios, así como el indicador “F”, que expresa la necesidad de trabajar con un equipo multidisciplinario.

Los métodos Macbeth y Promethee obtuvieron el mismo puntaje, ya que comparten las mismas características, permiten la comparación entre diferentes alternativas, ofrecen un *ranking* numérico de acuerdo con la calificación de cada una y el uso de información cualitativa, sin embargo, carecen de características que permitan el involucramiento de diferentes actores, la participación multidisciplinaria y el uso de datos cuantitativos.

También con un puntaje de tres encontramos el método Delphi y F-MCDM, los cuales permiten la participación de un equipo multidisciplinario y el uso de información cualitativa, el primero también permite la participación de expertos y el segundo el uso de información cardinal, sin embargo, siguen careciendo de características necesarias para el proyecto de localización de estaciones intermodales como la utilización de información cuantitativa y la comparación entre diferentes alternativas.

Tabla 5
Tabla comparativa de métodos multicriterio

[illegible]

Tabla 5 (continuación)

		Aspecto	Geográfico					Social, urbano y ambiental		Técnico				5							
			Núm.	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
Indicadores del método			A		B		C		D		E		F		G		H		Puntaje por método		
			Permite el uso de información cardinal	No permite el uso de información cardinal	Ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	Permite la comparación entre diferentes alternativas	No permite la comparación entre diferentes alternativas	Permite el uso de criterios y subcriterios	No permite el uso de criterios y subcriterios	Permite la participación igualitaria de expertos en el tema	No permite la participación igualitaria de expertos en el tema	Permite trabajar con un equipo multidisciplinario	No permite trabajar con un equipo multidisciplinario	Permite el uso de información cualitativa	No permite el uso de información cualitativa	Permite el uso de información cuantitativa	No permite el uso de información cuantitativa			
Rúbrica			1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			
1			Ranking de acuerdo con la clasificación de alternativas																		
2			Uso de criterios y subcriterios																		
3			Uso de información cualitativa		1		0		1		0		1		1		1				
4			Uso de información cuantitativa																		
5			Trabajo con un equipo multidisciplinario																		
AHP																					

Tabla 5 (continuación)

Aspecto		Geográfico								Social, urbano y ambiental		Técnico								Puntaje por método			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9					
		A		B		C		D		E		F		G		H							
		Núm.		Núm.		Núm.		Núm.		Núm.		Núm.		Núm.		Núm.							
Indicadores del método		Permite el uso de información cardinal		Ofrece un ranking numérico de alternativas		No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas		Permite la comparación entre diferentes alternativas		Permite el uso de criterios y subcriterios		Permite la participación igualitaria de expertos en el tema		Permite trabajar con un equipo multidisciplinario		Permite el uso de información cualitativa		Permite el uso de información cualitativa		No permite el uso de información cualitativa		No permite el uso de información cuantitativa	
		No permite el uso de información cardinal		Ofrece un ranking numérico de alternativas		No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas		Permite la comparación entre diferentes alternativas		No permite el uso de criterios y subcriterios		Permite la participación igualitaria de expertos en el tema		Permite trabajar con un equipo multidisciplinario		Permite el uso de información cualitativa		Permite el uso de información cualitativa		No permite el uso de información cuantitativa			
		1		1		0		1		1		1		1		1		1		1		1	
		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
1		Comparación entre diferentes alternativas		1		0		1		0		0		0		0		1		1		4	
2		Uso de información cualitativa		1		0		1		0		0		0		0		1		1			
3		Uso de información cuantitativa		1		0		1		0		0		0		0		1		1			
4		Uso de información cardinal		1		0		1		0		0		0		0		1		1			

Tabla 5 (continuación)

	Aspecto	Geográfico						Social, urbano y ambiental	Técnico						Puntaje por método		
		1	2	3	4	5	6		7	8	9						
		A	B		C		D		E		F	G	H				
		Indicadores del método	No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas		Permite la comparación entre diferentes alternativas		Permite el uso de criterios y subcriterios		Permite la participación igualitaria de expertos en el tema		No permite el uso de información cuantitativa		Permite el uso de información cuantitativa				
		cardinal	Ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	cardinal	No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	cardinal	Permite la comparación entre diferentes alternativas		cardinal	Permite el uso de criterios y subcriterios	cardinal	Permite la participación igualitaria de expertos en el tema	cardinal	Permite el uso de información cuantitativa		cardinal	No permite el uso de información cuantitativa
HPIS	1	Participación igualitaria de expertos en el tema		0		1		0		1		0		1		2	
	2	Uso de información cuantitativa		0		0		0		1		0		0			
	3	Comparación entre diferentes alternativas		0		0		0		0		0		1			

Tabla 5 (continuación)

Macbeth	Aspecto	Geográfico					Social, urbano y ambiental	Técnico						Puntaje por método								
		Núm.	1	2	3	4		5	6	7	8	9										
													A		B	C	D	E	F	G	H	
	Indicadores del método	Permite el uso de información cardinal	1	0	Ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	1	No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	0	Permite la comparación entre diferentes alternativas	1	No permite la comparación entre diferentes alternativas	0	Permite el uso de información cualitativa	1	No permite el uso de información cualitativa	0	Permite el uso de información cualitativa	1	No permite el uso de información cualitativa	0		
1		Ranking de acuerdo con la clasificación de alternativas	1	0	Ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alternativas	1	No permite la participación igualitaria de expertos en el tema	1	No permite la participación igualitaria de expertos en el tema	0	Permite trabajar con un equipo multidisciplinario	1	No permite trabajar con un equipo multidisciplinario	0	Permite el uso de información cualitativa	1	No permite el uso de información cualitativa	0	Permite el uso de información cualitativa	1	No permite el uso de información cualitativa	0
2		Comparación entre diferentes alternativas	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Uso de información cualitativa	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 5 (continuación)

	Aspecto	Geográfico				Social, urbano y ambiental	Técnico				Puntaje por método		
		1	2	3	4		5	6	7	8		9	
Núm.		A	B		C	D	E		F	G	H		
Indicadores del método		Permite el uso de información cardinal	Ofrece un ranking numérico de alternativas	No ofrece un ranking numérico de acuerdo con la clasificación de alter-nativas	Permite la comparación entre dife-rentes alternativas	Permite el uso de criterios y subcri-terios	Permite la participación igualita-ria de expertos en el tema	No permite la participación iguala-ria de expertos en el tema	Permite trabajar con un equipo multidisciplinario	No permite el uso de información cualitativa	No permite el uso de información cuantitativa	No permite el uso de información cuantitativa	
		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
ANP	1	Uso de criterios y subcriterios											
	2	Uso de información cualita-tiva											
	3	Uso de información cuantita-tiva											
	4	Trabajo con un equipo multi-disciplinario											

El método VIKOR obtuvo de igual forma tres puntos, gracias a que permite el uso de información cualitativa y cuantitativa, sin embargo, carece de características esenciales como la participación de expertos, equipos multidisciplinarios y el uso de diferentes alternativas. Al igual que este último, el método multicriterio SMCDA logró tres puntos de acuerdo con sus características, que permiten el uso de información cardinal, diferentes alternativas e información cuantitativa, faltando el uso de datos cualitativos, lo cual es esencial para el proyecto.

El método ELECTRE fue uno de los tres que obtuvieron un puntaje de cuatro, tiene características positivas como el uso de información cardinal, comparación de alternativas y uso de información cuantitativa y cualitativa; lo que no le permite ser el método ideal es que no admite el trabajo de un equipo multidisciplinario ni la participación igualitaria de expertos en el tema. De igual forma, el método TOPSIS obtuvo un puntaje de cuatro, carece de lo mismo que el método ELECTRE, además de que no permite el uso de información cardinal.

El método ANP, al contrario de los dos anteriores, permite el trabajo de equipos multidisciplinarios, sin embargo, no es posible trabajar comparando diferentes alternativas, tampoco admite el uso de información cardinal, sin embargo, se encontró un método que cumple con cinco de los ocho indicadores: el método AHP.

4.1. El método AHP y su compatibilidad con el proyecto

Una de las principales características que ofrece el método multicriterio AHP es que utiliza comparaciones de diferentes alternativas, lo cual permite cumplir con los indicadores dos y tres del objetivo geográfico que requiere el proyecto; al tener como objetivo la selección de diferentes opciones de localización para las estaciones intermodales de transporte público, se deben manejar varias alternativas de terrenos disponibles, por lo que el tener la capacidad de realizar estas comparaciones es un beneficio para el proyecto.

El AHP permite el uso de criterios y subcriterios y los cambios de niveles de estos, por lo cual resulta ideal tomar en cuenta criterios sociales, políticos, ambientales, arquitectónicos, urbanos y económicos, que a su vez cuentan con diferentes subcriterios. Esto es necesario y de gran ayuda para el desarrollo del proyecto debido a que cada opción de localización cuenta con diferentes características. Otras de las particularidades de este método es que permite trabajar con grupos multidisciplinarios y tiene la capacidad de ofrecer una vista panorámica de los actores y sus objetivos, lo cual también concuerda con el proyecto al manejar una colaboración

de actores privados y públicos de los diferentes municipios involucrados en el proyecto.

Por último, y como se mencionó anteriormente, para el proyecto se tomarán en cuenta diferentes características de los terrenos disponibles, son estas características de tipo cuantitativo y cualitativo, una particularidad que el método AHP admite y por lo cual también cumple con los requerimientos del proyecto.

Conclusiones

En la presente investigación se pudo obtener una opción para la mejora del proceso de toma de decisiones en el área urbanística al desarrollar proyectos urbanos que involucran múltiples actores con el propósito de desarrollar un proyecto eficiente pero con objetivos diferentes.

Se propuso la aplicación de un método multicriterio que permita dar soluciones sistemáticas para la resolución de problemas; estos métodos son comunes en diferentes áreas con enfoques más cuantitativos, sin embargo, en este trabajo se propuso la aplicación de uno de estos métodos para la resolución del proyecto “Propuesta de localización de estaciones intermodales para el transporte público para la conurbación Colima-Villa de Álvarez”.

Se realizó una revisión sistemática de la literatura en una base de datos para analizar artículos que hayan utilizado algún método multicriterio en su metodología y si fue eficaz su aplicación. Al obtener solamente 19 artículos relacionados al urbanismo, podemos concluir que la aplicación de estos métodos no ha sido frecuente para la resolución de problemas desafiantes en esta área, por lo cual se investigó la metodología que han aplicado otros trabajos que buscan la localización de estaciones intermodales. Después de obtener 11 métodos multicriterio utilizados anteriormente, se obtuvieron las características teóricas que ofrecen cada uno, comparándolas con los objetivos e indicadores que precisa resolver el proyecto en cuestión; es así como se llegó a los resultados presentados en la tabla 5, los cuales arrojan que el método que más empatiza con los objetivos del proyecto es el Analytic Hierarchy Process.

Se puede afirmar que se han obtenido los fundamentos necesarios que permiten tomar la decisión de elegir el método AHP como el más adecuado, para que como trabajo a futuro se lleve a cabo una investigación que desarrolle un modelo metodológico que posibilite resolver el proyecto en cuestión y que ofrezca una opción para resolver proyectos de la misma índole.

Fuentes consultadas

- Ascher, François (2010), *Los nuevos principios del urbanismo*, Madrid, Alianza Editorial.
- Bernal Romero, Sergio y Niño Sanabria, Daniel (2018), “Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa”, tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Camargo Pérez, Johanna; Carrillo, Martha Helena y Montoya-Torres, Jairo (2014), “Multi-criteria approaches for urban passenger transport systems: a literature review”, *Annals of Operations Research*, vol. 226, Nueva York, Springer, pp. 69-87, doi: 10.1007/s10479-014-1681-8
- Chakhar, Salem y Mousseau, Vincent (2008), “Spatial multicriteria decision making”, *Encyclopedia of GIS*, Massachusetts, Springer, pp. 1-8, doi: 10.1007/978-0-387-35973-1_839
- Congreso del Estado de Colima (2017), “Ley de movilidad sustentable para el estado de Colima”, Colima, Congreso del Estado, <<https://bit.ly/3aX9WGn>>, 10 de octubre de 2020.
- Conriacyt (Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica) (2019), “Portal de revistas”, Ciudad de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, <<https://www.conriacyt.mx/>>, 3 de mayo de 2020.
- Cruz Cuéllar, Héctor Fabio (2017), “Análisis espacial multicriterio para el estudio de la distribución y conectividad estructural de aves del Bosque Seco Tropical (BST) del Tolima”, tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Flores Ureba, Sandra; Mora Agudo, Leonor y Rivero Menéndez, José Ángel (2019), “El método Delphi aplicado al diseño de un modelo de financiación de transporte urbano”, *Economía, Sociedad y Territorio*, 19 (61), Toluca, El Colegio Mexiquense, pp. 575-600, doi: 10.22136/est20191364
- García-Peñalvo, Francisco José (2017), “Revisión sistemática de literatura en los trabajos de final de máster y en las tesis doctorales”,

ponencia presentada en el Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento, 16 de marzo, Salamanca.

- Kahraman, Cengiz; Cevik Onar, Sezi y Oztaysi, Basar (2015) “Fuzzy multicriteria decision- making: a literature review”, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8 (4), Londres, Taylor & Francis, pp. 637-666, doi: 10.1080/18756891.2015.1046325
- Kumar, Abhishek; Sah, Bikash; Singh, Arvind; Deng, Yan; He, Xiangning; Kumar, Praveen y Bansald (2017), “A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, Londres, Elsevier, pp. 593-609, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.191.
- Martínez, Estibaliz; Álvarez, Mariana; Arquero, Águeda y Romero, María (2010), “Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)”, *Informes de la Construcción*, 62 (519), Madrid, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, pp. 35-45, doi: 10.3989/ic.08.052
- Moore, Terry y Pulidindi, Julia (2013), “Understanding urban transportation systems an action guide for city leaders”, National League of Cities, Washington, Center for Research & Innovation.
- Muñoz, Belén y Romana, Manuel (2016), “Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte”, *Pensamiento Matemático*, 6 (2), Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 027-046, <<https://bit.ly/3r0iO3p>>, 10 de octubre de 2020.
- Ornés, Sandra (2009), “El urbanismo, la planificación urbana y el ordenamiento territorial desde la perspectiva del derecho urbanístico venezolano”, *Politeia*, 32 (42), Caracas, Universidad Central de Venezuela, pp. 197-225, <<https://bit.ly/2ZSr2i2>>, 5 de febrero de 2021.
- Osorio Gómez, Juan Carlos; Herrera Umaña, María Fernanda y Vinasco, Milton Adrián (2008), “Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP”, *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 23, Barranquilla, Universidad del Norte, pp. 43-58, <<https://bit.ly/3swPEJD>>, 3 de mayo de 2020.

- Osorio Gómez, Juan Carlos y Orejuela Cabrera, Juan Pablo (2008), “El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación”, *Scientia Et Technica*, 2 (39), Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, pp. 247-252, <<https://bit.ly/2O5dVHW>>, 3 de mayo de 2020.
- Saaty, Thomas (1980), *The analytic hierarchy process*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Sedatu-GIZ-BID (Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano, Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, Banco Interamericano de Desarrollo) (2016), *Anatomía de la movilidad en México. Hacia dónde vamos*, Ciudad de México, Tinta Roja.
- RAE (Real Academia Española) (2019), “Urbanismo”, Madrid, Real Academia Española, <<https://dle.rae.es/urbanismo>>, 3 de mayo de 2020.
- Reguant-Álvarez, Mercedes y Torrado-Fonseca, Mercedes (2016), “El método Delphi”, *REIRE, Revista d’Innovació i Recerca en Educació*, 9 (1), Barcelona, Universidad de Barcelona, pp. 87-102, doi: 10.1344/reire2016.9.1916
- Toncovich, Adrián; Moreno Jiménez, José María y Corral, Regina (2007), “Selección multicriterio de un sistema ERP mediante las metodologías AHP y ANP”, ponencia presentada en la conferencia Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro, 12 y 13 de septiembre, Zaragoza.
- Zhu, Xuan y Liu, Suxia (2004), “Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool”, *Journal of Transport Geography*, 12 (2), Londres, Elsevier, pp. 89-101, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.003

Recibido: 13 de diciembre de 2019.

Reenviado: 24 de setiembre de 2020.

Aceptado: 14 de diciembre de 2020.

Sandra Cecilia López Serrano. Arquitecta por el Tecnológico Nacional de México Campus Colima. Actualmente estudia la maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México Campus

Colima. Sus líneas de investigación son ciudad y planificación estratégica, movilidad urbana y transporte público. Es coautora del artículo “Análisis de los niveles de eficiencia en movilidad, transporte público y seguridad de la central suburbana ‘Los Rojos’ en la ciudad de Colima”, *Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 13 (1), Guanajuato, pp. 1-22 (2021).

Peter Chung Alonso. Maestro en Arquitectura por la Universidad de Colima. Actualmente se desempeña como coordinador y docente de tiempo completo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana del Tecnológico Nacional de México Campus Colima y en la carrera de Arquitectura de la misma institución. Sus líneas de investigación son ciudad y planificación estratégica, urbanismo sustentable y movilidad urbana. Entre sus más recientes publicaciones se encuentran, como coautor: “Modelo de medición de la resiliencia en espacios públicos, a partir del City Resilience Index”, *Vivienda y Comunidades Sustentables*, núm. 8, Guadalajara, Universidad de Guadalajara, pp. 9-38 (2020); “Diagnóstico de activos, impactos y tensiones en el municipio de Villa de Álvarez, Colima; mediante la metodología utilizada por el Programa 100 ciudades resilientes de la Fundación Rockefeller”, *Topofilia, Revista de Arquitectura, Urbanismo y Territorios*, núm. 19, Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, pp. 146-172 (2020) y “Evaluación del Parque lineal ‘Ecoparque Manrique’”, *Ciudades*, núm. 113, Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, pp. 19-27 (2017).

María del Pilar Ramírez Rivera. Maestra por la Universidad Tec Milenio. Actualmente se desempeña como docente de tiempo completo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana del Tecnológico Nacional de México Campus Colima y en la carrera de Arquitectura de la misma institución. Profesora adscrita al Programa para el Desarrollo Profesional Docente, (2018-2021) y líder del cuerpo académico en formación: Ciudad Sostenible (2019-2022). Sus líneas de investigación son ciudad y planificación estratégica; entre sus más recientes publicaciones destacan, como coautora, “Diagnóstico del espacio público para la rehabilitación urbana con énfasis en la prevención del delito “Caso Las Palmas, Colima”, *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8 (43), Coahuila, Centro Kappa de Conocimiento, S.C., pp. 19-40 (2020); “Analysis on the mechanic resistance and water absorption capacity of prototype mortar with residual coconut mesocarp and fiber aggregates”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1672, Londres, IOP Publishing, pp. 1-7 (2020); “Diagnóstico de la localidad rural de Piscila, Colima; mediante

indicadores de evaluación utilizados en la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles del Banco Interamericano de Desarrollo, *Topofilia, Revista de Arquitectura, Urbanismo y Territorios*, 3 (20), Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, pp. 225-240 (2020).