

INCORPORACIÓN DE ASPECTOS INTANGIBLES EN EL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL TRANSPORTE URBANO DE ZARAGOZA*

JOSÉ MARÍA MORENO-LOSCERTALES

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, ESPAÑA

e-mail: jmml_90@hotmail.com

JOSÉ MARÍA MORENO-JIMÉNEZ

Grupo Decisión Multicriterio Zaragoza, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, ESPAÑA

e-mail: moreno@unizar.es

ALBERTO TURÓN LANUZA

Grupo Decisión Multicriterio Zaragoza, UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, ESPAÑA

e-mail: turon@unizar.es

RESUMEN

Desde comienzos del siglo XXI se está prestando una atención especial a la incorporación en los procesos decisionales de los aspectos intangibles, subjetivos y emocionales asociados al elemento clave de la Sociedad del Conocimiento, el factor humano. En este contexto, conforme a la visión integral que se está siguiendo en el ámbito de la ingeniería civil, el presente trabajo pretende incorporar estos aspectos intangibles y subjetivos, asociados fundamentalmente a los aspectos sociales y ambientales, junto a los tangibles, objetivos y racionales (económicos y tecnológicos) asociados al método científico tradicional, en el diseño de rutas de transporte público urbanas. Para ello, se va a seguir una metodología multicriterio que, basada en el Proceso Analítico Jerárquico, permita: (i) evaluar la viabilidad integral de las rutas actualmente existentes en la ciudad de referencia, Zaragoza en este caso; (ii) identificar las rutas menos eficaces y (iii) seleccionar entre las potenciales mejoras aquella que contemplando simultáneamente criterios tecnológicos, económicos, sociales y ambientales sea mejor.

Palabras clave: Multicriterio, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Transporte, Diseño Rutas Urbanas, Viabilidad Integral.

Incorporation of intangible aspects in the analysis of the viability of urban transport in Zaragoza

ABSTRACT

Since the beginning of the 21st century special attention has been paid to the incorporation into the decisional processes of the intangible, subjective and emotional aspects associated with the fundamental element of the Knowledge Society, the human factor. In this context, in accordance with the comprehensive vision that is being followed in the field of civil engineering, the present paper aims to incorporate these intangible and subjective aspects, mainly associated with social and environmental aspects, together with tangible, objective and rational (economic and technological) associated with the traditional scientific method, in the design of urban public transport routes. For this purpose, a multicriteria methodology will be followed that, based on the Hierarchical Analytical Process, allows: (i) to evaluate the integral viability of the routes currently existing in the reference city, Zaragoza in this case; (ii) identify the least effective routes and (iii) select among the potential improvements that which contemplates simultaneously technological, economic, social and environmental criteria is better.

Key Words: Multicriteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process (AHP), Transportation, Urban Routes Design, Integral Viability.

Clasificación JEL: C02, C44, C65, L91, L92, R41

Artículo recibido el 9 de noviembre de 2018 y aceptado el 5 de enero de 2019

Artículo disponible en versión electrónica en la página www.revista-eea.net

ISSN 1697-5731 (online) – ISSN 1133-3197 (print)

1. INTRODUCCIÓN

La respuesta científica a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) conlleva una visión integral de los problemas que incorpore, en los modelos formales seguidos en la resolución de cualquier tipo de problema decisional, los aspectos intangibles (por el momento), subjetivos y emocionales asociados al elemento clave de la sociedad del conocimiento (SdC): el factor humano. La incorporación de estos aspectos, que recogen habitualmente los atributos sociales y ambientales, junto a los tangibles relacionados con los atributos económicos y tecnológicos, permite proporcionar una visión integral a la hora de resolver los problemas de movilidad urbana. En nuestro caso, el objetivo principal del trabajo será el estudio de la viabilidad integral de las diferentes rutas de transporte urbano (autobuses) en Zaragoza, con la intención de identificar las peores e intentar su mejora mediante un rediseño de las mismas que incorpore los ODS.

Este tópico de indudable interés y actualidad al hablar de un desarrollo turístico sostenible, será el objeto principal de este documento que está basado en el Trabajo Fin de Grado (TFG) del primer autor (Grado en Ingeniería Civil). Para lograr esta visión integral en la que se contemplen simultáneamente los aspectos tecnológicos, económicos, sociales, y ambientales se va a seguir una de las técnicas de decisión multicriterio más extendidas: el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1980; Moreno-Jiménez, 2002).

El modelo jerárquico utilizado para el análisis incluye cuatro niveles (misión, criterios, atributos y alternativas). En total 4 criterios, 12 atributos y 34 alternativas. Para la evaluación de las alternativas, debido a su elevado número, se ha recurrido a la utilización de medidas absolutas. Este es el procedimiento sugerido en la literatura de AHP cuando se analiza un número de alternativas superior al número mágico de Miller (7 ± 2). Así mismo se ha estudiado la estabilidad de la ordenación resultante mediante la relajación de la hipótesis de certidumbre en los juicios. Utilizando los umbrales establecidos por los expertos se han identificado las peores líneas de autobús y, a título de ejemplo, se han planteado diferentes vías de mejora de la peor de las rutas y se ha seleccionado la mejor opción de mejora conforme a los cuatro criterios considerados.

El resto del documento ha quedado estructurado como sigue. La Sección 2 recoge los antecedentes necesarios para seguir los posteriores desarrollos. La Sección 3 presenta el modelo jerárquico propuesto para el estudio de viabilidad integral de las líneas de autobuses. La Sección 4 incluye el Caso de Estudio considerado y, finalmente, la Sección 5 resalta las conclusiones más destacadas del trabajo, sus limitaciones, y posibles extensiones.

2. ANTECEDENTES

2.1 Transporte urbano. Diseño de rutas

El transporte público ([https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_público](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_p%C3%BAblico)) es el término aplicado al transporte colectivo de pasajeros. Los viajeros de transporte público tienen que adaptarse a los horarios y a las rutas que ofrezca el operador y dependen en mayor o menor medida de la intervención regulatoria del Gobierno. Incluye diversos medios como autobuses, taxis, tranvías, trenes y ferris.

El transporte público urbano mediante autobuses puede ser proporcionado por una o varias empresas privadas o por consorcios de transporte público. Los servicios se mantienen mediante cobro directo a los pasajeros. Suelen ser servicios regulados y subvencionados por autoridades locales o nacionales. Por razones históricas y económicas, existen diferencias entre el transporte público de unos países y otros. Mientras que las ciudades de zonas como Europa tienen numerosos y frecuentes servicios que sirven a ciudades antiguas y densas, otras zonas como América tienen redes de transporte mucho menos complejas ([https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_público](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_p%C3%BAblico)).

El transporte público urbano permite el desplazamiento de personas de un punto a otro de la ciudad; posibilita el desplazamiento de personas que no tienen coche, o que prefieren no usarlo por los atascos o las dificultades al estacionar, y disminuye la contaminación al usar menos automóviles particulares. Es visto como una externalidad positiva (disminuye la congestión del tráfico y la contaminación) por lo que su uso suele subsidiarse con fondos públicos.

Respecto al elemento fundamental del transporte público urbano, el autobús, resaltar que estos vehículos son prácticos y eficientes en rutas de corta y media distancia, siendo frecuentemente el medio de transporte más usado en el transporte público, por constituir una opción económica. A la hora de diseñar las rutas, las compañías de transporte buscan establecer la trayectoria y seguidamente se determinan y construyen las paradas.

La evaluación del servicio de transporte público de pasajeros (autobuses) de una ciudad es un problema multicriterio en el que deben integrarse las visiones de los diferentes actores relacionados con el servicio; recogiendo tanto las demandas de los usuarios como las necesidades de la sociedad. Habitualmente, conforme a las características del método científico tradicional, esta evaluación se centraba exclusivamente en aspectos tangibles asociados a los criterios económicos y tecnológicos. Desde comienzos del siglo XXI, conforme a la relevancia dada en la Sociedad del Conocimiento (SdC) al factor humano, esta evaluación ha incorporado los aspectos intangibles asociados a los criterios sociales y ambientales.

2.2. Sociedad del Conocimiento

El desarrollo que desde los años 70 del siglo XX está teniendo la Tecnología de la Información y de las Comunicaciones (TIC), y la relevancia cada vez más grande dada al factor humano (consideración de lo subjetivo, intangible y emocional), han provocado el tránsito de la denominada como Sociedad de la Información a la conocida como Sociedad del Conocimiento. La Sociedad del Conocimiento (SdC) es un espacio para el talento, la imaginación y la creatividad del ser humano (Moreno-Jiménez, 2004, 2006). Sus tres características más destacadas son (Moreno-Jiménez, 2003, 2016) (i) la interacción, incluyendo tanto la interconexión entre los actores como la interdependencia entre los factores; (ii) la colaboración como elemento distinto de esta sociedad en red orientada a la creación conjunta de una sociedad mejor y (iii) la importancia del factor humano y, con ello, la incorporación en los procesos decisionales de lo intangible, subjetivo y emocional asociado a los individuos, junto a lo tangible, objetivo y racional asociado al método científico tradicional.

La SdC busca construir, conjuntamente entre todos los actores relevantes, una sociedad mejor, esto es, más cohesionada, tolerante, justa, igualitaria, solidaria..., en un mundo de creciente complejidad. Para ello, se dedica a formar a los individuos (aprendizaje, inteligencia, habilidades sociales...) y a fomentar la relación con los otros (comunicación, colaboración, convivencia...) para mejorar la sociedad (calidad de vida y cohesión) y construir conjuntamente el futuro (evolución) en un mundo de creciente complejidad (Moreno-Jiménez, 2003).

Como corresponde a organizaciones cognitivas y auto-organizadas, como son los sistemas sociales, todo ello se debe realizar (Moreno-Jiménez, 2016) de una manera coordinada y sistemática, que permita aprovechar el potencial que ofrecen las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) en los tres ámbitos de actuación en los sistemas: operativo, táctico y estratégico.

En esta nueva sociedad, la tecnología se entiende como un sistema socio-técnico que implican nuevas formas de organización social y la comunicación como una coordinación de comportamientos entre organismos vivos a través de acoplamiento estructural mutuo (Moreno-Jiménez, 2006). Esta manera de entender la comunicación (transmisión de conocimiento) facilita la creación de una inteligencia colectiva o, si se prefiere, la creación de una sabiduría social que debe ser aprovechada por los diferentes sistemas (públicos y privados) para su mejora continuada (Moreno-Jiménez, 2016).

2.3 Decisión Multicriterio. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Los cambios filosóficos (del reduccionismo mecanicista), metodológicos (de la búsqueda de la verdad a la búsqueda del conocimiento) y tecnológicos (de la transmisión de la información a la gestión del conocimiento) han llevado al desarrollo de nuevas herramientas decisionales más abiertas, flexibles y realistas que las tradicionales (Moreno-Jiménez, 2003, 2006, 2016).

El uso de estas herramientas en la toma de decisiones multicriterio ha permitido que los modelos formales (Moreno-Jiménez y otros, 1999; Moreno-Jiménez, 2016) puedan capturar: (i) la interdependencia entre los factores y la interrelación entre los actores implicados en la resolución del problema, así como las sinergias derivadas de la visión holística de la realidad; (ii) la integración de lo

tangible y lo intangible y (iii) el potencial de las TIC a la hora de analizar grandes bases de datos y de conectar a las personas (redes sociales).

En lo que sigue (Moreno-Jiménez, 2002), se entiende por Decisión Multicriterio el conjunto de aproximaciones, modelos, métodos y técnicas seguidos en la resolución de problemas complejos caracterizados por la existencia de múltiples escenarios, actores y criterios, tanto tangibles como intangibles, con la intención de: (i) dotar de rigor científico el proceso de resolución, esto es, dar un tratamiento objetivo a lo subjetivo para poder integrar razón y emoción; (ii) ayudar al decisor a seleccionar las mejores y más realistas soluciones, esto es, las soluciones que simultáneamente sean eficientes (hacer correctamente las cosas), eficaces (alcanzar las metas) y efectivas (hacer lo correcto para resolver el problema); y (iii) a formar continuamente (incrementar el valor añadido de conocimiento) a los actores implicados en la resolución del problema en un aspecto esencial del ser humano: la toma (científica) de decisiones; para lograrlo, habrá que identificar y comunicar los argumentos que soportan las diferentes posiciones y decisiones.

Una de las técnicas multicriterio que mejor responde a los nuevos tiempos y necesidades es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas L. Saaty a mediados de los 70 (Saaty, 1980). AHP (Moreno-Jiménez y Vargas, 2018) ha resultado una de las aproximaciones científicas más utilizadas en la resolución de problemas complejos debido a: (1) su carácter intuitivo y realista; (2) habilidad para integrar mediante jerarquías y redes lo pequeño con lo grande; (3) la capacidad para combinar lo racional y lo emocional; (4) la flexibilidad para considerar dependencias (ANP); (5) la facilidad para incorporar en los modelos formales las diferentes visiones mediante procedimientos determinísticos o estocásticos; (6) posibilidades que ofrece en la toma de decisiones en grupo y (7) su capacidad en los procesos de negociación y búsqueda de soluciones.

La metodología del Procesos Analítico Jerárquico (AHP) se basa en cuatro axiomas (Saaty, 1986): (i) Reciprocidad; (ii) Homogeneidad; (iii) Independencia inner y outer; y (iv) Expectativas, y consiste en tres etapas (Saaty, 1980; Moreno-Jiménez, 2002): (a) Modelización, (b) Valoración, y (c) Priorización y Síntesis.

- (a) La modelización del problema se lleva a cabo mediante la construcción de un modelo jerárquico con diferentes niveles en el que se recogen los aspectos relevantes del problema (escenarios, actores, criterios, alternativas). La jerarquía debe ser completa, representativa, no redundante y minimal.
- (b) La valoración del modelo consiste en la incorporación de las preferencias del decisor mediante las comparaciones pareadas de los elementos (hijos) que cuelgan de cada nodo de la jerarquía con respecto al nodo común del que cuelgan (padre). Los juicios emitidos siguen la escala fundamental de Saaty (Saaty, 1980). Ésta es una escala absoluta (cociente de escalas de razón) de valores positivos $\{1/9, 1/7, \dots, 1/3, 1/1, 3/1, \dots, 7/1, 9/1\}$ donde: 1 = igual; 3 = ligero; 5 = fuerte; 7 = muy fuerte y 9 = extremo. Los valores intermedios $\{2, 4, 6, 8\}$ y sus recíprocos pueden utilizarse para precisar algo más las valoraciones.
- (c) La priorización y síntesis, permite obtener las prioridades locales, globales y totales (Saaty, 1980). Las prioridades locales (prioridades de los hijos respecto al padre) se obtienen mediante cualquiera de los procedimientos de priorización existentes. El Autovector Principal por la Derecha (EGV) y la Media Geométrica por Filas (RGM) son los dos más empleados. Las prioridades globales (prioridades de los elementos de la jerarquía respecto a la misión) se obtienen mediante el principio de composición jerárquica. Las prioridades totales, o prioridades de las alternativas respecto a la misión, se obtienen mediante una agregación multiaditiva de las prioridades globales de las alternativas.

Dos de las grandes ventajas del AHP son (Moreno-Jiménez y Vargas, 2018): (i) permite evaluar la inconsistencia (transitividad cardinal) del decisor al emitir sus preferencias (juicios) y (ii) no exige la

transitividad en las preferencias. La transitividad no es necesaria siempre para un decisor racional (Kahneman y Tversky, 1979; Tversky y Thaler, 1990) pues el humano está afectado por cuestiones emocionales e irracionales (Thaler, 2017). Una teoría de la toma de decisiones debe permitir la intransitividad si esperamos capturar lo que Thaler denominó predicabilidad irracional (Moreno-Jiménez y Vargas, 2018).

3. VIABILIDAD INTEGRAL DEL TRANSPORTE URBANO

Conforme a la metodología seguida (AHP) para integrar aspectos tangibles e intangibles en la evaluación del transporte urbano, el primer paso consiste en construir un modelo jerárquico que, incluyendo los aspectos relevantes del problema, será utilizado para: (i) evaluar la viabilidad integral de las 34 líneas de transporte urbano de Zaragoza que han sido consideradas (Anexo 1); (ii) identificar aquellas que se encuentren por debajo de los umbrales mínimos establecidos por los expertos que han colaborado en el trabajo y (iii), para mejorar la peor de las líneas “poco viables”, seleccionando la mejor de las posibles modificaciones contempladas para la incrementar la viabilidad integral de la línea. Así mismo, en este apartado se presentan los indicadores utilizados para valorar cada uno de los atributos finalmente considerados para evaluar la viabilidad integral.

3.1 Viabilidad Integral

La selección de los atributos relevantes se ha realizado siguiendo una doble vía. En primer lugar, después del estudio de la literatura científica relacionada con el tema se ha extraído un conjunto inicial de atributos. El estudio TransPrice, Modal Integrated Urban Transport for Optimum Modal Split (VV.AA., 1999) considera los siguientes atributos: Indicadores económicos: costes y beneficios, tiempo de viaje, seguridad; Rentabilidad financiera; Eficiencia energética: consumo de combustible; Impacto ambiental: emisiones de gases contaminantes, ruido; Accesibilidad y uso del suelo: facilidad de acceso a puntos relevantes, usos del suelo; Equidad y aceptabilidad. Cascajo (2004) considera los criterios económicos, sociales y ambientales, y distingue entre atributos cualitativos (equidad social, regeneración urbana) y cuantitativos (reducción del tiempo de viaje, aumento de la eficiencia económica del operador, empleos generados, crecimiento económico regional, incremento en el uso del transporte público, disminución de la contaminación atmosférica, disminución del efecto invernadero, reducción del ruido, mejora de la seguridad vial).

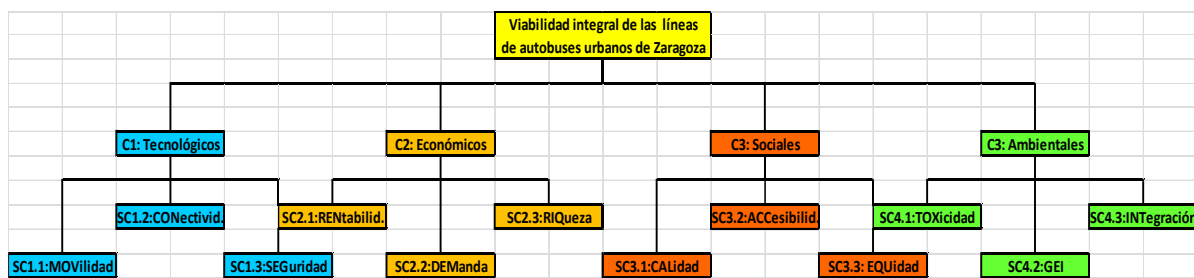
Bouzada y otros (2008) estudian la eficiencia energética y las emisiones de los autobuses en función de: a) Consumo de combustible (características de rutas y trazados, factores climatológicos); b) Tecnología de motores y vehículos (chasis, carrocería) y c) Mantenimiento de los vehículos. Meixueiro y otros (2009) realizan una evaluación asignando directamente dos indicadores de rentabilidad (Valor Presente Neto y Tasa de Rentabilidad Inmediata) a los siguientes atributos: Costes: inversión, molestias durante la ejecución del proyecto o durante el mantenimiento de la vialidad, operación, mantenimiento, reinversión; y Beneficios: reducción del tiempo; la disminución de las emisiones contaminantes, reducción de costes de operación y mantenimiento por utilizar tecnologías más eficientes y con capacidades mayores, liberación de recursos, valor de rescate. Echeverri y otros (2012) se centran únicamente en el impacto ambiental de las rutas de transporte urbano. Mazarío (2016) considera: Factores económicos (costes): iniciales, mantenimiento, medioambiental; Factores de calidad del viaje: tiempo, confort, coste; y Factores de sostenibilidad: contaminación, ruido, huella de carbono, salud. Cooper y otros (2012) analizan únicamente las emisiones de distintos tipos de vehículos de transporte público.

Este conjunto inicial de atributos fue reducido, teniendo en cuenta la opinión del grupo de expertos que han colaborado en el mismo, a un total de 12 atributos; tres para cada uno de los cuatro criterios considerados para evaluar la viabilidad: tecnológicos, económicos, sociales y ambientales.

Este grupo de expertos, encargado también de valorar la importancia relativa de los atributos, está constituido por seis personas de tres ámbitos distintos: Administración Local, Empresa y Universidad. De las seis personas, las dos primeras (DM1), ingenieros de caminos, son miembros de la Administración Local encargados de la movilidad urbana; la tercera (DM2) es el propietario de una empresa de transporte urbano de una capital de provincia española de mediano tamaño; y las tres últimas son académicos especialistas en Ciencias de la Decisión (2 personas), un Catedrático de Universidad (DM3) y un Contratado Doctor (DM4), y en Transporte y Logística (1 persona), Catedrático de Universidad (DM5). Los tres últimos actuarán por consenso y sus preferencias se denotarán por DM[3].

Asumiendo independencia entre los criterios considerados, o valoraciones de las partes independientes de los mismos en las comparaciones pareadas (como sugiere Saaty), se construye una jerarquía con tres niveles (Figura 1): misión, criterios (4) y atributos (12). Los 12 atributos considerados podrían volver a separarse en subcriterios de un nivel inferior. Para no complicar la presentación de la metodología con un número elevado de niveles, se ha decidido por cuestiones de operatividad limitarse a los tres mencionados. Más aún, cada uno de estos doce atributos se podría valorar en función de uno o varios indicadores. En lo que sigue, por simplicidad, se ha considerado un único indicador para cada atributo y cinco categorías para cada uno que van de la mejor a la peor.

Figura 1
Jerarquía para evaluación de la viabilidad integral



Los atributos considerados para el criterio C1: Tecnológicos son:

SC1.1: MOVilidad (vehículos, motores, TIC, operatividad, GPS, capacidad, flexibilidad, valor residual...). Este atributo será evaluado por el indicador de mínimo dado por la frecuencia con la que pasan los autobuses y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [5-10]; Bueno (B) [10-15]; Regular (R) [15-20]; Malo (M) [20-25]; Muy Malo (MM) [25-30].

SC1.2: CONectividad (infraestructura, equipamiento, enlazabilidad...). Este atributo será evaluado por el indicador de máximo dado por el número de postes que puede accederse en la línea o con un solo cambio y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [350-430]; Bueno (B) [270-350]; Regular (R) [190-270]; Malo (M) [110-190]; Muy Malo (MM) [30-110].

SC1.3: SEGURidad (activa, pasiva, preventiva, siniestros, mantenimiento...). Este atributo será evaluado por el indicador de mínimo dado por el número medio de accidentes por cada 100.000 kilómetros y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [0-3]; Bueno (B) [3-6]; Regular (R) [6-9]; Malo (M) [9-12]; Muy Malo (MM) [12-16].

Los atributos considerados para el criterio C2: Económicos son:

SC2.1: RENTabilidad de la línea (resultado económico...). Este atributo será evaluado por el indicador de mínimo dado por las pérdidas medias por viajero y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [0,15-0,95]; Bueno (B) [0,95-1,75]; Regular (R) [1,75-2,55]; Malo (M) [2,55-3,35]; Muy Malo (MM) [3,35-4,15].

SC2.2: DEManda (viajeros por línea...). Este atributo será evaluado por el indicador de máximo dado por el número de viajeros anuales (en miles) y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [6.100-7.600); Bueno (B) [4.600-6.100); Regular (R) [3.100-4.600); Malo (M) [1.600-3.100); Muy Malo (MM) [100-1.600).

SC2.3: RIQueza directa generada (desarrollo económico, comercios en la zona, conductores, modos de pago...). Este atributo será evaluado por el indicador de máximo dado por el número de conductores y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [20-25); Bueno (B) [15-20); Regular (R) [10-15); Malo (M) [5-10); Muy Malo (MM) [1-5).

Los atributos considerados para el criterio C3: Sociales son:

SC3.1: CALidad de la línea (satisfacción, confort, precio...). Este atributo será evaluado por el nivel de satisfacción ciudadana proporcionado por la encuesta realizada por el Ayuntamiento en febrero de 2018 y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [6,7-8,0); Bueno (B) [5,4-6,7); Regular (R) [4,1-5,4); Malo (M) [2,8-4,1); Muy Malo (MM) [1,5-2,8).

SC3.2: ACCesibilidad (puntos de interés, paradas taxi, intermodalidad...). Este atributo será evaluado por el indicador de máximo dado por el número de puntos de interés que se puede acceder en la ruta y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [7-8); Bueno (B) [6-7); Regular (R) [4-6); Malo (M) [2-4); Muy Malo (MM) [0-2).

SC3.3: EQUidad Social (velocidad comercial, superficie cubierta, desfavorecidos, densidad de postes y renta de la zona...). La equidad social, es uno de los principales problemas que pueden aparecer a la hora de poner en marcha una nueva infraestructura de transporte, en gran medida, por la desigualdad de infraestructuras y servicios. El principal objetivo de desarrollo social, es el de hacer frente a los más desfavorecidos, como discapacitados, personas de avanzada edad etc. Este atributo será evaluado por el indicador de máximo obtenido a partir de una valoración de las líneas efectuada por la administración local en función de una encuesta con cinco cuestiones. Las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) {5}; Bueno (B) {4}; Regular (R) {3}; Malo (M) {2}; Muy Malo (MM) {1}.

Los atributos considerados para el criterio C4: Ambientales son:

SC4.1: TOXicidad (contaminación atmosférica, monóxido de carbono...). Este atributo será evaluado por el indicador de mínimo dado por el equivalente en unidades de CO de la contaminación atmosférica (Cascajo, 2004) y las cinco categorías son: Muy Bueno (MB) [100-1000); Bueno (B) [1000-1900); Regular (R) [1900-2800); Malo (M) [2800-3700); Muy Malo (MM) [3700-4600).

SC4.2: Gases Efecto Invernadero (CO₂...). Este atributo será evaluado por el indicador de mínimo dado por el equivalente en unidades de CO₂ de la contaminación atmosférica asociada a los Gases Efecto Invernadero (GEI). Para calcular las emisiones de CO₂ a la atmósfera se ha seguido la guía práctica para la emisión de gases de efecto invernadero GEI de la Generalitat de Cataluña. Las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [6100-7600); Bueno (B) [4600-6100); Regular (R) [3100-4600); Malo (M) [1600-3100); Muy Malo (MM) [100-1600).

SC4.3: Integración Transporte y Territorio (carril bus, reversibilidad, regeneración de la zona, ruido...). Este atributo será evaluado por el indicador de máximo dado por el número de metros de carril bus existente en la línea y las cinco categorías consideradas son: Muy Bueno (MB) [3600-4500); Bueno (B) [2700-3600); Regular (R) [1800-2700); Malo (M) [900-1800); Muy Malo (MM) [0-900).

La importancia relativa (prioridades locales) de los elementos o nodos incluidos en la jerarquía se ha calculado utilizando el método de priorización de la media geométrica por filas. Las prioridades globales de los atributos se han obtenido mediante el principio de composición jerárquica. Conocidas las prioridades globales de los atributos y teniendo en cuenta el elevado número de alternativas consideradas se ha recurrido a la utilización de AHP con medidas absolutas. Para cada atributo, la comparación de las alternativas no se realiza directamente entre ellas, sino que cada alternativa se valora

con respecto a las categorías consideradas para el atributo. Los indicadores utilizados para la valoración de los atributos (Tabla 1), así como las categorías consideradas para cada uno y sus prioridades (Tabla 2), han sido fijados por los expertos académicos.

Tabla 1
Indicadores para cada atributo

C1: TECNOLÓGICOS			C2: ECONÓMICOS			C3: SOCIALES			C4: AMBIENTALES		
1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 ATM	4.2 GEI	4.3 INT
Frecuen.	Postes	Accid./km	Pérd/viajero	Demanda	Conductor.	Satisfac.	Puntos Impor	Encuesta	CO	GEI	Carril bus

Tabla 2:
Categorías de atributos y sus prioridades (normalizadas modo ideal)

	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12
MB	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	0,389	0,457	0,357	0,636	0,574	0,52	0,484	0,372	0,631	0,517	0,612	0,407
R	0,255	0,218	0,196	0,392	0,345	0,263	0,312	0,27	0,384	0,212	0,367	0,19
MB	0,116	0,119	0,113	0,244	0,171	0,135	0,153	0,135	0,234	0,135	0,178	0,122
MM	0,077	0,084	0,073	0,114	0,077	0,086	0,086	0,088	0,147	0,071	0,089	0,079

3.2. Identificación de las rutas menos eficaces

Identificados los criterios y atributos más relevantes a la hora de evaluar la viabilidad integral de las rutas de transporte urbano, así como los indicadores que van a permitir valorar las líneas de autobuses consideradas, se requiere valorar la importancia relativa de los elementos considerados en la jerarquía. Para ello, siguiendo un procedimiento Top-Down se construyen y valoran (utilizando la escala fundamental de Saaty) las matrices de comparaciones pareadas (Anexo 2).

En este caso se requieren cinco matrices. La primera es una matriz 4x4 que valora los 4 criterios respecto a la meta. Las otras cuatro matrices son 3x3 y corresponden a la valoración de los tres atributos que cuelgan de cada criterio. En total se requieren 18 (6 + 4x3) juicios. Con estas matrices se obtienen las prioridades globales de los 12 atributos considerados. Es preciso recordar que en AHP solo se dan por buenas las prioridades locales cuando el indicador de inconsistencia considerado (GCI en este caso) no supera el umbral correspondiente que depende del tamaño de la matriz. Caso de superar ese umbral es preciso que el decisor corrija sus juicios para alcanzar un nivel de inconsistencia aceptable.

Para establecer el ranking de las 34 líneas consideradas (Anexo 1) se recurre al procedimiento conocido como Ratings-AHP. Al final se obtiene la puntuación (scoring) de cada alternativa (línea de autobús) sumando la importancia relativa de las categorías asociadas a la alternativa (w_{ij}) para cada atributo ponderada por la prioridad global (w_j^G) de éste.

$$w_i = w(A_i) = \sum_{j=1}^{12} w_{ij} * w_j^G, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, 12$$

La identificación de las rutas menos eficaces se obtiene a partir de los umbrales fijados por los expertos. Aquellas alternativas que no superen el umbral de viabilidad integral fijado se considera que deben ser mejoradas.

3.3. Selección multicriterio de las nuevas rutas

El último paso del procedimiento seguido para el diseño de nuevas rutas que mejoren la anterior situación consiste en seleccionar cada una de las rutas calificadas como no eficaces y proponer diferentes vías de mejora en función de las valoraciones obtenidas en 3.2. La selección de la mejor de las propuestas de mejora volverá a realizarse utilizando AHP (medidas relativas) con la jerarquía fijada para el problema. Obviamente, esta etapa requiere cierta capacidad creativa a la hora de plantear

diferentes vías de mejora. Para completar la evaluación de la viabilidad integral se suele realizar, mediante un estudio de simulación, un análisis de sensibilidad sobre los juicios de las matrices de comparaciones utilizadas y sobre las categorías a las que se asigna cada alternativa. De esta forma se tiene una mayor información sobre la estabilidad de los resultados obtenidos.

4. CASO PRÁCTICO

El Caso Práctico tiene por objeto de estudio el transporte urbano en la ciudad de Zaragoza; ciudad que ronda los 700.000 habitantes. Una vez evaluada la viabilidad integral de las 34 líneas de autobuses consideradas, se seleccionará la peor de las líneas, se plantearán tres posibles alternativas de mejora en función de los atributos peor valorados y se elegirá la mejor de estas alternativas utilizando el modelo jerárquico anterior (Figura 1) y comparando las alternativas mediante medidas relativas.

4.1. Planteamiento

Utilizando la jerarquía definida en la Figura 1, la siguiente etapa de la metodología es la de valoración. En nuestro caso, siguiendo un proceso de arriba hacia abajo (Top-Down), los tres actores/expertos considerados en el estudio (D[1]: Administración Pública Local (dos personas actuando por consenso), D[2]: Operador del servicio/empresa (una persona) y D[3]: Académicos incorporan sus preferencias. Para ello, se han realizado tres reuniones (una con cada grupo) durante los días 29 y 30 de agosto de 2018. El grupo de los 3 académicos ha proporcionado los juicios de las matrices de comparaciones pareadas de manera consensuada. Los juicios correspondientes a las 15 matrices de comparaciones pareadas ($5 = 1+4$, para cada decisor) pueden verse en el Anexo 3.

4.2. Resolución

A partir de las matrices de comparaciones pareadas dadas para cada uno de los nodos de la jerarquía, se obtienen las prioridades locales y globales de los elementos considerados. Así mismo, para cada uno de los 12 atributos se obtienen las prioridades locales de las categorías.

Las prioridades locales y globales de los elementos de la jerarquía para cada decisor pueden verse en el Anexo 4. Para cada uno de los tres decisores y para el grupo, las prioridades de los criterios pueden verse en la Tabla 3 y las prioridades globales de los atributos en la Tabla 4:

Tabla 3

Prioridades de los criterios para los tres decisores y el grupo

G	1. TEC	2. ECO	3. SOC	4. AMB
DM ^[1]	0,114	0,617	0,197	0,073
DM ^[2]	0,122	0,393	0,427	0,058
DM ^[3]	0,245	0,153	0,549	0,053
DM ^[G]	0,167	0,369	0,397	0,067

Tabla 4

Prioridades globales de los atributos para cada decisor

ATRIB.	1.1 MOV	1.2 COM	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEN	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT
DM ^[1] =	0,012	0,083	0,020	0,279	0,294	0,044	0,067	0,114	0,016	0,039	0,026	0,007
DM ^[2] =	0,034	0,011	0,077	0,255	0,048	0,090	0,295	0,093	0,039	0,044	0,005	0,009
DM ^[3] =	0,053	0,169	0,022	0,099	0,019	0,035	0,349	0,158	0,043	0,036	0,011	0,006

Las prioridades para el grupo de los criterios (Tabla 3) y de los atributos (Tabla 5), obtenidas mediante el método AIP (Saaty, 1980), se calculan como la media geométrica normalizada (modo distributivo) de las prioridades individuales.

Tabla 5

Prioridades globales de los atributos para el grupo

ATRIB.	1.1 MOV	1.2 COM	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEN	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT
DM ^[G] =	0,034	0,066	0,039	0,234	0,078	0,063	0,233	0,145	0,037	0,048	0,014	0,009

Para la Administración Local los dos atributos más importantes son: demanda y rentabilidad económica (57,25%). Para el Operador de Servicio estos dos atributos son: satisfacción y rentabilidad (54,97%) y para los académicos son: satisfacción y conectividad (51,81%). Para el grupo en su conjunto, estos dos atributos son: rentabilidad y satisfacción (46,68%).

Por simplicidad, en este tipo de estudios es frecuente seguir el método AIP (agregación de prioridades individuales) para obtener las prioridades del grupo. Estas prioridades se calculan como la media geométrica normalizada de los vectores de prioridades individuales (Tabla 5). Ahora bien, la utilización de la media geométrica como medida de síntesis para el conjunto de decisores solo es válida si los individuos son compatibles con el valor promedio. La compatibilidad se mide como una distancia log cuadrática promedio (Escobar y otros, 2015) y se da por buena si no supera los umbrales recomendados para el GCI.

$$GCOMPI(D^{[k]}, D^{[G]}) = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{i,j=1}^n \ln^2 \left(\frac{w_i^{[k]} w_j^{[G]}}{w_j^{[k]} w_i^{[G]}} \right), k = 1, \dots, 3$$

Tabla 6

Compatibilidad de los decisores individuales con la posición colectiva

GCOMPI (W ^[1] , W ^[G])=	1,279
GCOMPI (W ^[2] , W ^[G])=	1,014
GCOMPI (W ^[3] , W ^[G])=	1,002

En este caso, la compatibilidad supera ese umbral y se recomendaría una reunión con los actores que permitiera aproximar posiciones tras un debate en el que se justifiquen las posiciones. Si al final las posiciones son incompatibles se sugiere tratar de forma independiente cada decisor. En lo que sigue, con el fin de presentar el enfoque metodológico seguido se va a suponer que los decisores aceptan los valores del grupo como posición de consenso.

Con los valores de las prioridades globales de los atributos (Tabla 5) y los proporcionados por la Tabla 2 para las prioridades locales de las categorías se puede obtener (Tabla 7) la puntuación (scoring) de cada una de las 34 líneas de autobuses consideradas (véase Anexos 1a y 1b para una breve introducción de las líneas y sus trayectos).

4.3. Análisis de los resultados

Una vez ordenadas las líneas de autobuses (Tabla 8), el siguiente paso sería identificar el conjunto de alternativas que no cumplen los requisitos exigidos (suponer la puntuación de viabilidad por encima de un umbral) y seleccionar cuál de las posibles vías para su mejora es la mejor. En nuestro caso, las tres peores líneas (puntuación menor que 0,33), que son la 25, 28 y 56, tienen una característica en común, conectan barrios periféricos de la ciudad (poco poblados o nuevos) con el centro. Como se desprende de la Tabla 9, la línea peor valorada es la 56. Esta línea transcurre por una de las zonas de expansión de la ciudad (Zaragoza sur) y está calificada como “Muy Mala (MM)” en conectividad, atributos económicos, accesibilidad a puntos de interés e integración con el terreno (Tabla 6).

Tabla 6

Calificaciones de la Línea 56

LINEA	C1: TECNOLÓGICOS			C2: ECONÓMICOS			C3: SOCIALES			C4: AMBIENTALES			Puntuación	Orden
	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 ATM	4.2 GEI	4.3 INT		
56	M	MM	MB	MM	MM	MM	R	MM	M	MB	MB	MM	0,241	34

Para evaluar la estabilidad de esta ordenación se ha realizado un análisis de sensibilidad de la misma (100 simulaciones), permitiendo oscilar los juicios del grupo en intervalos obtenidos a partir de los valores iniciales sumando y restando una unidad. En las 100 simulaciones consideradas (Anexo 6) la Línea 56 ha sido la peor seguida de la 28. La tercera peor ha sido la Línea 41 (69%) y la Línea 25 (31%). En resumen, la ordenación alcanzada se entiende suficientemente estable para garantizar que la Línea 56 es la de peor viabilidad integral (Figura 2).

4.4. Selección multicriterio de la opción de mejora para la Línea 56

La tercera cuestión planteada es la de seleccionar la mejor de las opciones para la mejora de la peor línea (56). En este caso, la metodología ha puesto de manifiesto algunas de las limitaciones de la línea. Lo que no ha reflejado, debido a la simplificación realizada a la hora de valorar los atributos, era la conexión intermodal que tiene la Línea 56, pues está conectada con la única línea de tranvía existente en Zaragoza. Si este hecho se hubiera tenido en cuenta, la conectividad sería notablemente mejor.

En cuanto a las limitaciones económicas de la Línea 56, estrechamente relacionadas con la demanda, se entiende que al ser un barrio joven su población y con ello la demanda irá aumentando los próximos años. No obstante, una medida que podría aplicarse a corto plazo es la de extender la Línea 56 desde Avda. de la Ilustración a dos puntos de indudable atractivo: el Hospital Viamed Montecanal y el Centro Deportivo Montecanal.

También podría considerarse la posibilidad de conectar (en V. Beethoven) la línea 56 con la 54 que transita por Rosales del Canal y con la Línea 41 (en Martín Diez de Aux). Estas conexiones permitirían acceder a las proximidades de los puntos resaltados. Además, la conexión con la línea 41, que enlaza con el centro de la ciudad, permitiría la incorporación de numerosos viajeros del centro que acceden a los dos puntos resaltados. La conexión con la 54 refuerza esta última posibilidad.

Tabla 7

Puntuación de la viabilidad integral de las 34 líneas de autobuses

Valoraciones	C1: TECNOLÓGICOS			C2: ECONÓMICOS			C3: SOCIALES			C4: AMBIENTALES		
LÍNEA	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 ATM	4.2 GEI	4.3 INT
21	7,43	374	759.070,90	0,18	4859666	16	7,12	0	2	3.253,62	2.477,67	3.643,40
22	8,71	340	542.414,14	0,276	4049774	17	6,74	2	3	3.564,41	2.714,34	4,34
23	7,86	348	943.265,92	0,335	4856640	17	7,32	2	4	2.855,56	2.174,54	2.815,50
24	6,86	270	824.522,70	0,179	7507265	22	7,15	2	3	4.081,90	3.108,42	1.806,40
25	10,14	114	235.705,45	1,472	1003278	9	6,92	1	5	2.362,14	1.798,80	861,70
28	30,00	219	208.235,96	1,967	678587	5	7,27	1	2	1.831,27	1.394,53	338,00
29	10,43	322	176.275,99	0,766	1835751	10	7,09	2	4	2.317,84	1.765,07	78,00
30	8,29	252	502.986,06	0,211	1924629	5	7,04	3	3	1.106,60	842,69	585,00
31	11,29	250	604.863,48	0,31	2672942	11	7,67	1	2	2.414,44	1.838,63	1.628,00
32	8,43	325	630.783,90	0,418	5717861	20	7,08	1	4	3.155,66	2.403,07	3.745,00
33	6,86	344	88.834,22	0,164	6578814	20	7,15	0	4	2.929,49	2.230,84	4.347,70
34	6,86	331	705.178,32	0,329	4576618	20	6,98	1	1	3.516,94	2.678,19	3.115,20
35	7,57	381	701.070,33	0,396	5460635	20	7,51	6	2	4.495,27	3.423,20	1.265,70
36	12,00	267	581.138,57	0,723	2014930	13	7,10	3	5	2.547,81	1.940,19	1.078,10
38	7,86	271	586.601,51	0,265	4151650	17	7,59	2	3	2.937,33	2.236,82	891,70
39	5,71	424	497.422,08	0,184	5674238	21	7,18	1	4	3.840,40	2.924,51	1.863,00
40	7,43	208	666.632,89	0,224	2306442	12	7,26	4	1	1.490,07	1.134,71	1.496,00
41	16,43	164	744.221,94	1,025	910728	5	7,06	0	4	1.487,73	1.132,92	453,00
42	8,29	338	1.317.531,04	0,341	487487	18	6,94	7	5	4.528,03	3.448,15	571,00
43	30,00	80	0,00	1,462	146042	3	7,30	1	3	286,75	218,36	0,00
44	12,71	183	663.602,39	0,895	1468427	8	6,96	4	5	2.440,07	1.858,14	71,00
50	19,29	250	262.869,08	1,236	685249	5	7,05	2	2	1.837,79	1.399,50	71,00
51	11,14	334	457.341,47	0,408	1644185	8	7,39	2	4	1.872,05	1.425,59	2.373,40
52	12,57	252	414.507,77	0,578	1242072	7	6,44	3	4	1.819,95	1.385,91	1.310,00
53	8,86	200	643.898,16	0,677	1735561	10	7,50	3	5	2.348,59	1.788,48	37,00
54	10,86	34	0,00	1,569	356443	3	7,68	0	3	811,15	617,70	0,00
55	9,29	47	135.785,93	2,626	235819	3	7,95	1	5	978,16	744,88	0,00
56	20,00	56	0,00	4,002	91304	2	7,21	1	1	535,53	407,81	0,00
57	8,71	60	267.883,93	3,142	170428	4	7,64	1	3	886,23	674,87	0,00
58	30,00	61	0,00	2,34	93658	1	7,82	0	4	355,49	270,71	0,00
C1	12,86	55	357.647,40	0,822	251400	2	6,94	0	5	150,36	114,50	536,00
C4	15,00	168	1.124.239,73	0,608	698015	3	6,67	2	2	595,16	453,23	0,00
C11	8,86	289	708.113,97	0,228	3824585	20	7,27	4	2	2.537,31	1.932,19	71,00
C12	8,86	179	459.731,14	0,194	4123638	20	7,41	4	1	2.422,69	1.844,91	71,00

Tabla 8

Ordenación de las 34 líneas de autobuses consideradas

LÍNEA	35	33	39	31	42	24	C12	23	54	32	C11	21	38	53	51	55	58	29	40	57	34	30	36	22	C1	43	44	52	C4	50	41	25	28	56
Puntuación	0,631	0,605	0,571	0,570	0,562	0,560	0,553	0,551	0,541	0,540	0,532	0,531	0,528	0,504	0,503	0,492	0,482	0,478	0,472	0,470	0,462	0,458	0,451	0,451	0,426	0,410	0,404	0,387	0,377	0,361	0,330	0,325	0,291	0,241
Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34

Figura 2

Frecuencia de las posiciones ocupadas por las líneas (100 simulaciones)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	№ Posiciones	
35	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
33	0	99	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
39	0	0	78	7	5	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
24	0	0	0	53	2	19	8	5	9	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
42	0	0	0	20	45	12	1	7	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
31	0	1	20	17	14	9	5	6	5	11	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
23	0	0	0	0	0	3	55	33	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
C2	0	0	0	0	9	11	21	31	23	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
32	0	0	0	0	10	11	0	6	16	30	19	1	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
21	0	0	0	0	9	10	3	8	13	25	20	5	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	40	23	10	11	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
54	0	0	2	2	6	15	4	3	9	4	4	7	36	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	60	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	39	31	10	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19	45	19	5	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	1	2	1	0	10	1	0	2	23	4	14	8	1	9	2	4	13	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	27	3	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
58	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	7	6	17	15	5	5	4	11	19	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	30	17	51	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	8	19	9	3	4	21	20	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	7	6	6	22	8	2	6	4	8	14	12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	16	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	44	28	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	19	12	2	6	35	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	13	19	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	8	64	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	49	12	13	4	0	0	0	0	0	0	0	5
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	27	70	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17	79	3	0	0	0	0	0	0	0	4	
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	64	32	0	0	0	0	0	0	4	
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	29	68	0	0	0	0	3		
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	1

Tabla 9

Categorías de las líneas para cada atributo, puntuación y orden

LINEA	C11: TECNOLÓGICOS			C2: ECONÓMICOS			C3: SOCIALES			C4: AMBIENTALES			Puntuación	Orden
	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 ATM	4.2 GEI	4.3 INT		
21	MB	MB	R	MB	B	B	R	MM	MB	M	M	MB	0,531	12
22	MB	B	B	MB	R	B	MB	M	R	M	M	MM	0,451	24
23	MB	B	M	MB	B	B	B	M	B	M	R	B	0,551	8
24	MB	B	R	MB	MB	MB	M	R	M	R	MM	MM	0,560	6
25	B	MB	MB	B	MM	MB	MB	MM	MB	R	R	MM	0,325	32
28	MM	R	MB	R	MM	M	R	MM	MB	B	B	MM	0,291	33
29	B	B	MB	MB	M	R	R	M	B	R	R	MM	0,478	18
30	MB	R	B	MB	M	M	R	M	R	B	B	MM	0,458	22
31	B	R	R	MB	M	R	MB	MM	MB	R	R	M	0,570	4
32	MB	B	R	MB	B	MB	R	MM	B	M	M	MB	0,540	10
33	MB	B	MB	MB	MB	MB	R	MM	B	M	M	MB	0,605	2
34	MB	B	R	MB	R	MB	M	MM	MM	M	M	B	0,462	21
35	MB	MB	R	MB	B	MB	B	R	M	MM	MM	M	0,631	1
36	B	R	B	MB	M	R	R	M	MB	R	R	M	0,451	23
38	MB	B	B	MB	R	B	B	M	R	M	M	MM	0,528	13
39	MB	MB	B	MB	B	MB	R	MM	B	MM	MM	R	0,571	3
40	MB	R	R	MB	M	R	R	R	MM	B	B	M	0,472	19
41	R	MB	R	B	MM	M	R	MM	B	B	B	MM	0,330	31
42	MB	B	MM	MB	MM	B	M	MB	MB	MM	M	MM	0,562	5
43	MM	MM	MB	B	MM	MM	B	MM	R	MB	MB	MM	0,410	26
44	B	M	R	MB	MM	M	M	R	MB	R	R	MM	0,404	27
50	R	R	MB	B	MM	M	R	M	M	B	B	MM	0,361	30
51	B	B	B	MB	M	M	B	M	B	B	B	R	0,503	15
52	B	R	B	MB	MM	M	MM	M	B	B	B	M	0,387	28
53	MB	R	R	MB	M	R	B	M	MB	R	R	MM	0,504	14
54	B	MM	MB	B	MM	MM	MB	MM	R	MB	MB	MM	0,541	9
55	MB	MM	MB	M	MM	MM	MB	MM	MB	MB	MB	MM	0,492	16
56	M	MM	MB	MM	MM	MM	R	MM	M	MB	MB	MM	0,241	34
57	MB	MM	MB	M	MM	MM	MB	MM	R	MB	MB	MM	0,470	20
58	MM	MM	MB	R	MM	MM	MB	MM	B	MB	MB	MM	0,482	17
C1	B	MM	B	MB	MM	MM	M	MM	MB	MB	MB	MM	0,426	25
C4	R	M	M	MB	MM	MM	MM	M	M	M	MB	MB	0,377	29
C11	MB	B	R	MB	R	MB	R	R	M	R	R	MM	0,532	11
C12	MB	M	B	MB	R	MB	B	R	MM	R	R	MM	0,553	7

Figura 3a

Trazado de la Línea 54



Figura 3b

Trazado de la Línea 41



Las tres alternativas propuestas se basan únicamente en el criterio del grupo de actores D[3], los expertos Académicos, basándose en su conocimiento del funcionamiento de la red de autobuses y su experiencia como usuarios. Los criterios aplicados son los que habitualmente se siguen en el diseño y mejora de los trazados de las líneas urbanas: accesibilidad a los puntos de interés (en este caso un hospital y un centro deportivo) y conectividad con el centro de la ciudad.

La red de transporte urbano de Zaragoza tiene un diseño predominantemente radial y la mayoría de los títulos de transporte ofrecen la posibilidad de hacer transbordos entre líneas durante la hora siguiente a la validación del título, por lo que la conexión con el centro permite un acceso rápido y sin coste extra a la mayor parte de las zonas de la ciudad.

Asumiendo estas tres alternativas como las posibles opciones de mejora, esto es, sean las alternativas: A1: extender la Línea 56 al Hospital y al Centro Deportivo; A2: conectar la Línea 56 con la Línea 54 y A3: extender la Línea 56 al Hospital y al Centro Deportivo y conectarla con las líneas 41 y 54, y manteniendo la valoración de la jerarquía, la mejor opción de mejora utilizando AHP con medidas relativas y los juicios considerados en el Anexo 5, es la alternativa A3 (extender y conectar) con una prioridad de 0,482, que resulta notablemente superior a las otras dos alternativa. La ordenación resultante es: A3>A1>A2 (Tabla 10).

Tabla 10

Selección opción de mejora para la línea 56

ATRIB.	1.1 MO	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEV	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT	Prior.	
Lín. 56	M	MM	MB	MM	MM	MM	R	MM	M	MB	MB	MM	Total	Orden
A1	0,008	0,005	0,021	0,024	0,021	0,016	0,078	0,078	0,006	0,012	0,004	0,004	0,277	2
A2	0,021	0,016	0,012	0,053	0,009	0,016	0,023	0,043	0,011	0,029	0,007	0,002	0,241	3
A3	0,005	0,045	0,006	0,158	0,048	0,032	0,133	0,024	0,020	0,008	0,002	0,002	0,482	1

La opción seleccionada (A3) para extender la Línea 56 a los dos puntos de interés considerados, conectando con las Líneas 41 y 54 (en rojo los tramos nuevos, en azul la conexión con los existentes y el círculo indica el punto de modificación), podría ejecutarse en los dos sentidos (Figuras 4a y 4b) y convendría que fuera Movilidad Urbana quien seleccionara el apropiado teniendo en cuenta consideraciones que sobrepasan lo considerado en este estudio.

Figura 4a.

Trazado mejorado Línea 56(1)

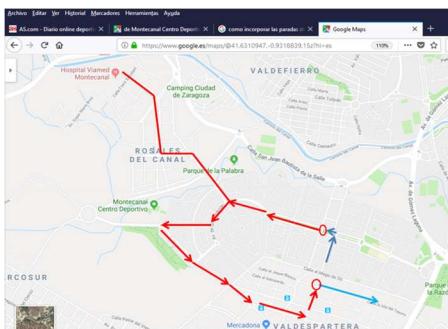
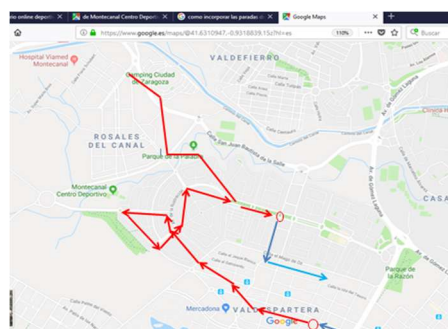


Figura 4b.

Trazado mejorado Línea 56(2)



5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS

Siguiendo una metodología multicriterio, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), este trabajo ha permitido la incorporación y valoración en el análisis y el diseño de rutas urbanas de los aspectos intangibles (básicamente sociales y ambientales) junto a los tradicionales aspectos tangibles (básicamente tecnológicos y económicos). La utilización de AHP proporciona una resolución más realista y efectiva del problema, en consonancia con la orientación que se está dando al método científico para adecuarlo a los nuevos tiempos (Sociedad del Conocimiento).

AHP permite considerar y valorar científicamente en los procesos decisionales los aspectos considerados intangibles, por el momento, mediante los juicios emitidos por los actores al incorporar sus preferencias subjetivas entre los elementos comparados y el tratamiento objetivo que se les da a estos juicios para obtener las prioridades totales de las alternativas contempladas en el estudio.

Respecto a los tres objetivos perseguidos: (i) aplicar una metodología multicriterio (AHP) para evaluar la viabilidad integral de las líneas de autobuses urbanos de Zaragoza; (ii) identificar las líneas menos viables para su mejora y (iii) seleccionar la mejor de las opciones de mejora posibles, cabe destacar lo siguiente:

- 1) Con el estudio de la literatura y la ayuda de un grupo de expertos académicos se ha formulado un modelo jerárquico con cuatro criterios (tecnológicos, económicos, sociales y ambientales) y 12 atributos. Estos 12 atributos capturan numerosas características de la realidad que deberían ser tenidas en cuenta en la resolución de una situación real. En nuestro caso, por la complejidad del problema y la dificultad para obtener datos fiables, se ha considerado un único indicador para evaluar cada uno de los 12 atributos. La idea era justificar la idoneidad de la aproximación seguida para el estudio y no tanto la resolución del problema real que excede el alcance de este trabajo.
- 2) Los expertos (Administración Local, Operador de Servicio, y Academia), con tres visiones diferentes del problema como se ha demostrado al analizar su compatibilidad, han valorado la jerarquía para alcanzar las prioridades globales de los 12 atributos considerados. Así mismo, los expertos académicos han determinado las categorías fijadas para los atributos y su importancia relativa, normalizada modo ideal.
- 3) Las valoraciones de los correspondientes indicadores se han calculado a partir de los datos extraídos de la información pública existente en la red, y de los documentos proporcionados por la Oficina de Movilidad Urbana de Zaragoza.
- 4) El resultado final ha sido la ordenación (ranking) de las 36 alternativas y, la identificación de las menos viables. El último objetivo abordado ha sido la selección para la peor línea (56) de la mejor de las posibles mejoras. De las tres alternativas de mejora consideradas para la Línea 56,

la mejor opción ha resultado la de extender la línea a dos nuevos puntos de interés (hospital y centro deportivo) y conectarla con las líneas 54 y 41.

De cara a una futura aplicación práctica de la metodología sugerida, sería conveniente trabajar conjuntamente con todos los actores relevantes del problema. El transporte urbano en los municipios es un problema complejo al que deben dársele respuestas a medio y largo plazo. Esto requiere que se llegue a acuerdos ampliamente respaldados entre estos actores.

En el estudio, se han incorporado la visión de los técnicos de la Administración Local, la de los Operadores del Servicio y la de la Academia; en este último caso reflejando una visión holística del problema. En un futuro, sería conveniente el incorporar al estudio a los políticos e intentar encuadrar el diseño de las rutas urbanas en el contexto de un plan estratégico de movilidad en la ciudad, teniendo en cuenta todos los modos de transporte y la integración del municipio en el área metropolitana. Una resolución colaborativa y participativa del problema mejoraría la efectividad y legitimidad de la solución.

Al margen de este enfoque colaborativo, otra de las ideas que debería ser incorporada en el futuro es la consideración de dependencias entre los elementos incluidos en la jerarquía. En este contexto habría que recurrir al Proceso Analítico Sistemico o en Red (ANP) (Saaty, 1996).

AGRADECIMIENTOS:

Para concluir este trabajo, los autores quieren agradecer la ayuda prestada por los tres actores que han colaborado como expertos: la Oficina de Movilidad Urbana de Zaragoza, el Operador de Servicio de una capital de provincia española diferente de Zaragoza, y el grupo de académicos de la Universidad de Zaragoza, y al Dr. Tomás Ruiz, director del TFG que dio lugar a este documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUZADA, P., MARTINELLI, G., CILLERO, A. (2008). Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar. Monografías EnerTrans, grupo ALSA.
- CASCAJO, R. (2004). Metodología de evaluación de efectos económicos, sociales y ambientales de proyectos de transporte guiado en ciudades. Tesis doctoral. ETSICCP UPM.
- COOPER, E., ARIOLI, M., CARRIGAN, A., JAIN, U. (2012). Emisiones de escape de autobuses de transporte público. Grupo EMBARQ.
- ECHEVERRI, C., VALENCIA-HERNÁNDEZ, G., ACOSTA, A. (2012). Metodología para evaluar el impacto ambiental sobre la calidad del aire en los proyectos de rediseño de rutas de transporte público colectivo en las ciudades. Estudio de caso: Medellín. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 11(20), pp. 31-42.
- ESCOBAR, M.T., AGUARÓN, J., MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2015). Some extensions of the Precise Consistency Consensus Matrix. Decision Support Systems 74, 67-77.
- KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. Econometrica 47(2), 263-291.
- MAZARÍO, J.L. (2016).): Priorización de proyectos mejora para la movilidad urbana sostenible en la ciudad de Valencia. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, septiembre de 2015.
- MEIXUEIRO, J., PÉREZ, M.A., MASCLE, A.L. (2009). Guía metodológica para la evaluación de proyectos de transporte masivo urbano. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos, Mexico.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos. Metodología y Aplicaciones. En Caballero, R. y Fernández, G.M. Toma de decisiones con criterios múltiples. RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, Serie Monografías nº 1, 21-53.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2003). Los Métodos Estadísticos en el Nuevo Método Científico. En Casas, J.M. y Pulido, A.: Información económica y técnicas de análisis en el siglo XXI. INE, 331-348.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2004). E-Cognocracia y Representación Democrática del Inmigrante. XVIII Anales de Economía Aplicada. León (CD). ISBN: 84-609-4715-7.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2006). E-Cognocracia: Nueva Sociedad, Nueva Democracia. Estudios de Economía Aplicada 24(1-2), 559-581.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2016). Métodos Estadísticos en la Nueva Administración Pública: Del Big Data and Analytics al Big Knowledge and Cognitive Decisional Tools. En Herrerías Velasco, J.M. y Callejón Céspedes, J. (2016), Investigaciones en Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. Cap. 29, 445-462. Editorial Universidad de Granada.

- MORENO-JIMÉNEZ, J.M., AGUARÓN, J., ESCOBAR, M.T., TURÓN, A. (1999). Multicriteria Procedural Rationality on SISDEMA. *European Journal of Operational Research*, 119(2) 388-403.
- MORENO-JIMÉNEZ, J.M., VARGAS, L.G. (2018). Cognitive Multicriteria Decision Making and the Legacy of the Analytic Hierarchy Process. *Estudios de Economía Aplicada* 36(1), 67-79
- SAATY, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- SAATY, T.L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 32(7), 841-855.
- SAATY, T.L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RSW, Pittsburgh (EE.UU.).
- THALER, R.H. (2017). *Misbehaving: The Making of Behavioral Economics*. W.W. Norton – via Google Books.
- TVERSKY, A., THALER, R.H. (1990). Anomalies: Preference Reversals. *The Journal of Economic Perspectives* 4(2), 201-211.
- VV.AA. (1999). *TransPrice, Modal Integrated Urban Transport for Optimum Modal Split*. euroTRANS Consulting, Ltd.

ANEXO 1a: Breve descripción de las líneas de autobuses consideradas

LINEA	ORIGEN	DESTINO	LONGITUD	TOTAL	PARADAS		VIAJEROS	FRECUENCIA	PÉRDIDAS
			KM	KM	IDA	VUELTA		Laborables	
21	Mozart	Oliver	14,94	737744	26	26	4859666	7	872381
22	Las Fuentes	Las Fuentes	19,25	755880	31	33	4049774	8	1119553
23	Parque Venecia	Ciudad Justicia	13,6	890523	31	27	4856640	7	1626334
24	Valdefierro	Las Fuentes	19,45	1006643	38	36	7507265	6	1345380
25	Paseo Pamplona	La Cartuja	16,25	509110	22	18	1003278	9	1476688
28	Coso	Peñaflor Montañana	33,29	432202	18	18	678587	30	1335093
29	Camino de las Torres	San Gregorio	15,69	510563	23	24	1835751	9	1406756
30	Cir Las Fuentes	Cir Las Fuentes	5,95	298219	18		1924629	7	409756
31	Aljafería	Puerto Venecia	17,64	529045	26	24	2672942	11	828826
32	Santa Isabel	La Bombarda	17,84	1093877	38	39	5717861	7	2388479
33	Delicias	Pinares de Venecia	13,73	8555262	27	27	6578814	6	1080625
34	Estación Delicias	Cementerio	15,96	822487	29	30	4576618	6	1507056
35	Vía Hispanidad	Parque Goya	21,4	1041265	37	31	5460635	7	2160103
36	Valdefierro	Picarral	18,28	602266	32	30	2014930	11	1455973
38	Vía Hispanidad	Bajo Aragón	15,21	784178	30	26	4151650	7	1100977
39	Venecia	Vadorrey	14,99	864457	23	30	5674238	5	1044130
40	San José	Plaza Aragón	7,57	375019	14	17	2306442	7	516665
41	Rosales del Canal	Puerta del Carmen	14,84	362795	26	22	910728	15	933648
42	La Paz	Valle de Broto	21,82	660326	37	36	487487	7	1664587
43	María Zambrano	Juslibol	5,81	85954	12	10	146042	30	213453
44	Actur	Miraflores	18,7	512355	29	26	1468427	11	1314027
50	Vadorrey	San Gregorio	21,17	304334	26	32	685249	15	846726
51	Estación Delicias	Príncipe Felipe	11,75	393579	19	20	1644185	11	671279
52	Miralbueno	Puerta del Carmen	13,24	337750	21	21	1242072	12	717389
53	Miralbueno	Emperador Carlos IV	11,88	496973	23	24	1735561	8	1175451
54	Cir Rosales del Canal	Cir Rosales del Canal	5,16	209872	21		356443	10	559308
55	Cir Montecanal	Cir Montecanal	5,1	220936	19		235819	8	619298
56	Cir Valdespartera	Cir Valdespartera	6,43	129335	16		91304	20	365389
57	Cir Casablanca	Cir Casablanca	3,96	186648	14		170428	7	535486
58	Cir Fuente Junquera	Cir Fuente de la Junquera	5,91	83393	13		93658	30	219121
C1	Plaza de las Canteras	Cementerio	2,42	55921	4	5	251400	15	206629
C4	Puerto Venecia	Plaza de las Canteras	9,63	177898	14	11	698015	15	424183
C11	Camino de las Torres	Estación Delicias	14,84	691979	20	23	3824585	8	876950
C12	Camino de las Torres	Estación Delicias	13,81	696059	20	20	4123638	8	801405

ANEXO 1b: Mapa con los trayectos de las líneas de autobuses de Zaragoza



ANEXO 2: Matrices de Comparaciones Pareadas y Escala de Saaty

	G	1. TEC	2. ECO	3. SOC	4. AMB
	1. TEC				
	2. ECO				
DM ^[1] =	3. SOC				
	4. AMB				

1=	IGUAL	
3=	LIGERO	
5=	FUERTE	
7=	MUY FUERTE	
9=	EXTREMO	

	TEC	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG
	1.1 MOV			
DM ^[1] =	1.2 CON			
	1.3 SEG			

	ECO	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ
	2.1 REN			
DM ^[1] =	2.2 DEM			
	2.3 RIQ			

	SOC	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU
	3.1 CAL			
DM ^[1] =	3.2 ACC			
	3.3 EQU			

	AMB	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT
	4.1 TOX			
DM ^[1] =	4.2 GEI			
	4.3 INT			

ANEXO 3: Juicios

Anexo 3a: Juicios de las matrices de comparaciones pareadas para los tres decisores

	G	1. TEC	2. ECO	3. SOC	4. AMB		G	1. TEC	2. ECO	3. SOC	4. AMB		G	1. TEC	2. ECO	3. SOC	4. AMB	
DM ^{H1} =		1	1/6	1/2	1/7			1	1/4	1/4	3			1	2	1/3	5	
				1	4	7	DM ^{H2} =			1	1	5	DM ^{H3} =			1	1/4	4
					1	3					1	6				1	1	6
						1						1						1
	TEC	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG			TEC	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG			TEC	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG		
DM ^{H1} =		1	1/6	1/2				1	4	1/3				1	1/4	3		
				1	5	7	DM ^{H2} =			1	1/5		DM ^{H3} =			1	6	
					1	3					1					1	6	
						1						1						1
	ECO	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ			ECO	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ			ECO	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ		
DM ^{H1} =		1	1	6				1	5	3				1	2	6		
				1	7	7	DM ^{H2} =			1	1/2		DM ^{H3} =			1	5	
					1	3					1					1	5	
						1						1						1
	SOC	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU			SOC	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU			SOC	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU		
DM ^{H1} =		1	1/2	5				1	4	6				1	3	6		
				1	6	6	DM ^{H2} =			1	3		DM ^{H3} =			1	5	
					1	3					1					1	5	
						1						1						1
	AMB	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT			AMB	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT			AMB	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT		
DM ^{H1} =		1	2	4				1	7	6				1	4	5		
				1	5	5	DM ^{H2} =			1	1/2		DM ^{H3} =			1	2	
					1	1					1					1	2	
						1						1						1

Anexo 3b: Juicios para la priorización de las categorías de los atributos (académicos)

	MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM				
AT1=		1	4	6	7	8			1	4	5	7	8			1	3	5	7	9	
				1	3	4	5				1	2	4	5			0,333	1	3	5	7
					1	2	3					1	3	4			0,2	0,333	1	2	3
						1	2						1	2			0,143	0,25	0,5	1	3
							1							1			0,125	0,2	0,333	0,5	1
	MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM				
AT4=		1	3	6	7	8			1	3	5	6	7			1	2	3	4	5	
				1	3	4	5				1	3	4				0,5	1	2	3	4
					1	3	3					1	3	4			0,333	0,5	1	2	3
						1	2						1	2			0,25	0,333	0,5	1	2
							1							1			0,2	0,25	0,333	0,5	1
	MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM				
AT7=		1	3	4	6	7			1	2	3	4	6			1	4	6	8	9	
				1	2	4	5				1	2	3	5			0,25	1	2	4	5
					1	3	4					1	2	4			0,333	0,5	1	2	4
						1	3						1	3			0,25	0,333	0,5	1	3
							1							1			0,167	0,25	0,5	1	2
															1		0,125	0,25	0,333	0,5	1
	MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM		MB	B	R	M	MM				
AT10=		1	2	4	6	8			1	2	4	5	7			1	4	5	6	7	
				1	2	4	6				1	2	4	6			0,25	1	2	3	4
					1	3	5					1	3	5			0,2	0,5	1	3	4
						1	4						1	3			0,167	0,25	0,333	1	2
							1							1			0,125	0,25	0,333	0,333	1
															1		0,143	0,25	0,25	0,5	1

ANEXO 5: Juicios, prioridades y consistencias en la selección de la opción de mejora

1.1 MOV							1.2 CON							1.3 SEG						
	A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G			
DM ⁽³⁾ =	A1	1	1/3	2	0,238	0,008	A1	1	0,25	1/6	0,082	0,005	A1	1	2	3	0,540	0,021		
	A2		1	4	0,625	0,021	DM ⁽³⁾ =	A2		1	1/4	0,236	0,016	DM ⁽³⁾ =	A2		1	2	0,297	0,012
	A3			1	0,136	0,005		A3			1	0,682	0,045		A3			1	0,163	0,006
	GCI=			0,055	1	0,034		GCI=			0,321	1	0,066		GCI=			0,028	1	0,0394
2.1 REN							2.2 DEM							2.3 RIQ						
	A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G			
DM ⁽³⁾ =	A1	1	1/3	1/5	0,101	0,024	A1	1	3	1/3	0,268	0,021	A1	1	1	1/2	0,250	0,016		
	A2		1	1/4	0,226	0,053	DM ⁽³⁾ =	A2		1	1/4	0,117	0,009	DM ⁽³⁾ =	A2		1	1/2	0,250	0,016
	A3			1	0,674	0,158		A3			1	0,614	0,048		A3			1	0,500	0,032
	GCI=			0,255	1	0,234		GCI=			0,219	1	0,078		GCI=			0,000	1	0,0633
3.1 CAL							3.2 ACC							3.3 EQU						
	A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G			
DM ⁽³⁾ =	A1	1	4	1/2	0,333	0,078	A1	1	2	3	0,540	0,078	A1	1	1/2	1/3	0,163	0,006		
	A2		1	1/5	0,097	0,023	DM ⁽³⁾ =	A2		1	2	0,297	0,043	DM ⁽³⁾ =	A2		1	1/2	0,297	0,011
	A3			1	0,570	0,133		A3			1	0,163	0,024		A3			1	0,540	0,020
	GCI=			0,074	1	0,233		GCI=			0,028	1	0,145		GCI=			0,028	1	0,0365
4.1 TOX							4.2 GEI							4.3 INT						
	A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G		A1	A2	A3	Prior. L	Prior. G			
DM ⁽³⁾ =	A1	1	1/3	2	0,249	0,012	A1	1	1/2	2	0,297	0,004	A1	1	2	2	0,500	0,004		
	A2		1	3	0,594	0,029	DM ⁽³⁾ =	A2		1	3	0,540	0,007	DM ⁽³⁾ =	A2		1	1	0,250	0,002
	A3			1	0,157	0,008		A3			1	0,163	0,002		A3			1	0,250	0,002
	GCI=			0,160	1	0,048		GCI=			0,028	1	0,0139		GCI=			0,000	1	0,0089

ANEXO 6: Primera iteración de la simulación

	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 TOX	4.2 GEI	4.3 INT		
	0,05002969	0,09818822	0,05836109	0,22362217	0,0747098	0,06056303	0,2047407	0,12730161	0,03209469	0,04782885	0,01373558	0,00882558		
	C11: TECNOLÓGICOS			C2: ECONÓMICOS			C3: SOCIALES			C4: AMBIENTALES				Iter. 1
LINEA	1.1 MOV	1.2 CON	1.3 SEG	2.1 REN	2.2 DEM	2.3 RIQ	3.1 CAL	3.2 ACC	3.3 EQU	4.1 ATM	4.2 GEI	4.3 INT	Puntuación	Orden
21	1,000	1,000	0,196	1,000	0,574	0,520	0,312	0,088	0,234	0,135	0,178	1,000	0,558	5
22	1,000	0,457	0,357	1,000	0,345	0,520	0,153	0,135	0,384	0,135	0,178	0,079	0,467	22
23	1,000	0,457	0,113	1,000	0,574	0,520	0,484	0,135	0,631	0,135	0,367	0,407	0,551	7
24	1,000	0,457	0,196	1,000	1,000	1,000	0,312	0,135	0,384	0,071	0,089	0,190	0,565	4
25	0,389	0,119	1,000	0,636	0,077	0,135	0,153	0,088	1,000	0,212	0,367	0,079	0,336	31
28	0,077	0,218	1,000	0,392	0,077	0,135	0,312	0,088	0,234	0,517	0,612	0,079	0,302	33
29	0,389	0,457	1,000	1,000	0,171	0,263	0,312	0,135	0,631	0,212	0,367	0,079	0,492	17
30	1,000	0,218	0,357	1,000	0,171	0,135	0,312	0,135	0,384	0,517	0,612	0,079	0,464	23
31	0,389	0,218	0,196	1,000	0,171	0,263	1,000	0,088	0,234	0,212	0,367	0,122	0,544	10
32	1,000	0,457	0,196	1,000	0,574	1,000	0,312	0,088	0,631	0,135	0,178	1,000	0,547	8
33	1,000	0,457	1,000	1,000	1,000	1,000	0,312	0,088	0,631	0,135	0,178	1,000	0,625	2
34	1,000	0,457	0,196	1,000	0,345	1,000	0,153	0,088	0,147	0,135	0,178	0,407	0,476	18
35	1,000	1,000	0,196	1,000	0,574	1,000	0,484	0,372	0,234	0,071	0,089	0,122	0,646	1
36	0,389	0,218	0,357	1,000	0,171	0,263	0,312	0,135	1,000	0,212	0,367	0,122	0,443	24
38	1,000	0,457	0,357	1,000	0,345	0,520	0,484	0,135	0,384	0,135	0,178	0,079	0,535	12
39	1,000	1,000	0,357	1,000	0,574	1,000	0,312	0,088	0,631	0,071	0,089	0,190	0,598	3
40	1,000	0,218	0,196	1,000	0,171	0,263	0,312	0,270	0,147	0,517	0,612	0,122	0,472	20
41	0,255	0,119	0,196	0,636	0,077	0,135	0,312	0,088	0,631	0,517	0,612	0,079	0,321	32
42	1,000	0,457	0,073	1,000	0,077	0,520	0,153	1,000	1,000	0,071	0,089	0,079	0,556	6
43	0,077	0,084	1,000	0,636	0,077	0,086	0,484	0,088	0,384	1,000	1,000	0,079	0,409	26
44	0,389	0,119	0,196	1,000	0,077	0,135	0,153	0,270	1,000	0,212	0,367	0,079	0,394	27
50	0,255	0,218	1,000	0,636	0,077	0,135	0,312	0,135	0,234	0,517	0,612	0,079	0,371	29
51	0,389	0,457	0,357	1,000	0,171	0,135	0,484	0,135	0,631	0,517	0,612	0,190	0,501	14
52	0,389	0,218	0,357	1,000	0,077	0,135	0,086	0,135	0,631	0,517	0,612	0,122	0,388	28
53	1,000	0,218	0,196	1,000	0,171	0,263	0,484	0,135	1,000	0,212	0,367	0,079	0,499	15
54	0,389	0,084	1,000	0,636	0,077	0,086	1,000	0,088	0,384	1,000	1,000	0,079	0,530	13
55	1,000	0,084	1,000	0,244	0,077	0,086	1,000	0,088	1,000	1,000	1,000	0,079	0,493	16
56	0,116	0,084	1,000	0,114	0,077	0,086	0,312	0,088	0,147	1,000	1,000	0,079	0,251	34
57	1,000	0,084	1,000	0,244	0,077	0,086	1,000	0,088	0,384	1,000	1,000	0,079	0,473	19
58	0,077	0,084	1,000	0,392	0,077	0,086	1,000	0,088	0,631	1,000	1,000	0,079	0,468	21
C1	0,389	0,084	0,357	1,000	0,077	0,086	0,153	0,088	1,000	1,000	1,000	0,079	0,420	25
C4	0,255	0,119	0,113	1,000	0,077	0,086	0,086	0,135	0,234	1,000	1,000	0,079	0,370	30
CI1	1,000	0,457	0,196	1,000	0,345	1,000	0,312	0,270	0,234	0,212	0,367	0,079	0,538	11
CI2	1,000	0,119	0,357	1,000	0,345	1,000	0,484	0,270	0,147	0,212	0,367	0,079	0,546	9