

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA PONDERACIÓN DE CRITERIOS Y PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS



Óscar Alejandro Vásquez Bernal²³

Julio César González Silva²⁴

Diego Karachas Rodríguez Segura²⁵

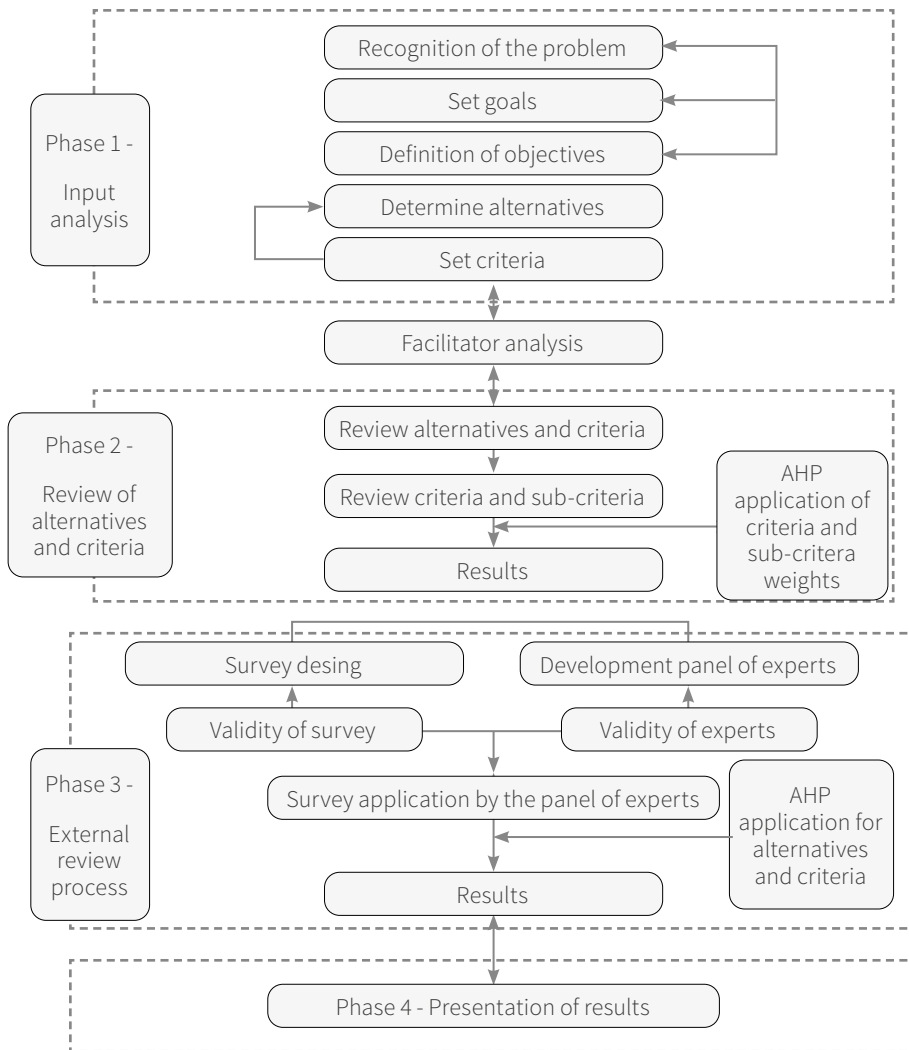
23 Docente Asociado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD – oscar.vasquez@unad.edu.co

24 Docente investigador. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD – julio.gonzalez@unad.edu.co

25 Docente investigador. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD – diego.rodriguez@unad.edu.co

Para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado la metodología combinada de análisis de decisiones multicriterio y enfoque basado en metas (Vásquez-Bernal y Cortés Aldana, 2018), en la cual se establecen cuatro fases y sus respectivos pasos. En la figura 20 se muestran las fases para el desarrollo metodológico que apoyará la investigación.

Figura 20. Metodología para la toma de decisiones



Nota: Diagrama de la metodología para la toma de decisiones. Vásquez-Bernal y Cortés-Aldana (2018).

A continuación, se definen las fases de la metodología y posteriormente se realiza su aplicación:

La Fase 1: análisis de los elementos de entrada, comprende el reconocimiento del problema, determinar la meta-objetivo, los criterios y alternativas dentro del conjunto de elección, en el cual el decisor determinará su importancia y preferencia para satisfacer la meta-objetivo con base en la toma de decisiones.

La Fase 2: proceso de revisión de alternativas y criterios, contempla la revisión de las alternativas y los criterios con respecto a la meta-objetivo. Estos análisis los realiza el equipo facilitador con base en la información técnica recolectada y la experiencia de los investigadores, generando un constructo preliminar.

La Fase 3: proceso de revisión externa, comprende el apoyo de expertos externos que analizará con base en su experiencia profesional y académica los criterios y alternativas construidas por los investigadores que valorarán la importancia de los criterios y la preferencia de las alternativas.

Con el fin de soportar de manera técnica las calidades de los expertos, se desarrollará la validación de su experiencia, así como la validación de los instrumentos de recolección de información que los expertos diligenciarán por medio de entrevistas semiestructuradas con el acompañamiento de los investigadores (equipo facilitador).

La Fase 4: presentación de resultados, comprende los elementos de salida después de la ponderación y priorización de los criterios y alternativas. A continuación, se describen las fases aplicadas en la investigación relacionada con el índice de desempeño logístico e industria 4.0.

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE DECISIONES MULTICRITERIO, EL ÍNDICE DE DESEMPEÑO LOGÍSTICO E INDUSTRIA 4.0

Este apartado tiene como propósito determinar la relación existente entre el índice de desempeño logístico (LPI²⁶ por sus siglas en inglés), las tendencias de la industria 4.0 y la metodología de análisis multicriterio. A partir de la revisión sistemática de la teoría se encontraron artículos de interés relacionados con la temática, los cuales se analizaron y contrastaron la revisión de los conceptos que los diferentes gremios, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales nacionales e internacionales.

Rezaei *et al.* (2018), realizan un análisis de la importancia en la medición del índice de desempeño logístico a partir de la revisión sistemática del índice de desempeño logístico de los años 2010, 2012, 2014 y 2016 (Arvis *et al.*, 2016) con el fin de priorizar los componentes que generaron mayor impacto en la competitividad de las naciones en el aspecto logístico. Rezaei *et al.* (2018), indican que en la literatura existente no hay información suficiente para establecer una ponderación de pesos que otorguen la importancia de cada uno de los componentes de LPI, por lo tanto, plantean su análisis en la aplicación del método “Best Worst Method” (BWM) para la identificación de los pesos de los componentes de LPI. Dada la profundidad de los resultados en la aplicación del método en una población de 539 expertos de universidades y 536 expertos profesionales en seis diferentes continentes de los cuales 107 encuestas fueron respondidas; un número importante de expertos a nivel global. Entretanto, al revisar los resultados, en los países de los grupos de bajos ingresos fueron pocos los expertos consultados.

Esto es una oportunidad para profundizar el estudio en un país como Colombia.

Con respecto a la revolución de la industria 4.0, las tendencias y nuevas perspectivas con la gestión de materiales y flujo de información para la integración de redes de suministro globales complejas aún está separado de la logística y al integrarlo con esta como logística 4.0 mejora los procesos logísticos para evitar errores y disrupciones en los procesos de transporte y almacenaje dado el intercambio de información entre las partes interesadas del sistema logístico (Oleśków-Szłapkaa, *et al.*, 2019). Del mismo modo, la inteligencia artificial ha sido vista como la fuerza motriz de la industria 4.0 y la logística 4.0, mediante el rol transformador en la generación de la economía y la sociedad a partir de los sistemas cognitivos y el aprendizaje de máquina (Fraunhofer Institute²⁷, 2019 citado por Oleśków-Szłapkaa, *et al.*, 2019). Así las cosas, la evaluación de los niveles de madurez frente a la tendencia de la logística 4.0 es un tema que ha motivado a los autores (Oleśków-Szłapkaa, *et al.*, 2019, p. 1737).

27 Trends in Artificial Intelligence, Fraunhofer, <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/Publications/Trends-in-artificial-intelligence.pdf>, accessed on October 26th, (2018).

DEFINICIÓN DEL OBJETIVO-META, CRITERIOS Y ALTERNATIVAS SEGÚN LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MULTICRITERIO (MCDM)

El desarrollo del marco teórico ha permitido identificar características comunes de diferentes autores respecto a la relación entre el índice de desempeño logístico, la Industria 4.0 y la metodología de análisis multicriterio como herramienta para la toma de decisiones. Es importante destacar que existen criterios diferentes entre estas temáticas (índice de desempeño logístico e Industria 4.0), no obstante, pueden tener elementos comunes que puedan fortalecer y construir un enfoque común que potencialice la logística con la tecnología.

Con el fin de analizar los criterios y las alternativas de las temáticas anteriormente mencionadas, es importante establecer los objetivos, criterios y alternativas que coadyuvan a establecer la importancia de los criterios y la preferencia de las alternativas. Se realizó el análisis de manera independiente y posteriormente se efectuaron los análisis y comparación correspondientes.

La aplicación de la Metodología de Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDM) y el Análisis de Jerarquía de Procesos (AHP por sus siglas en inglés) requiere definir según Barba-Romero y Pomerol, (1997) y Saaty y Ergu, (2015), el objetivo o meta, las alternativas, los atributos, criterios, la matriz de decisión y los decisores.

Para el caso de esta investigación se han establecido para cada temática el objetivo-meta, los criterios y alternativas.

ÍNDICE DE DESEMPEÑO LOGÍSTICO

Objetivo - meta: el índice de desempeño logístico más adecuado para la competitividad.

Criterios: se han considerado como criterios, aquellos que están relacionados con los beneficios, oportunidades, costos y riesgos (BOCR) que puede tener una alternativa con respecto al cumplimiento del objetivo-meta. A continuación, se definen los criterios:

- *C1. Beneficios:* valor agregado recibido o dado, producto de entrar en contacto, (usar), con la alternativa.
- *C2. Oportunidades:* la posibilidad de obtener algún tipo de mejora, como consecuencia de entrar en contacto (usar) con la alternativa.
- *C3. Costos:* lo que es necesario pagar para poder entrar en contacto (usar) la alternativa.
- *C4. Riesgos:* posibilidad de que se presente un mal como consecuencia de entrar en contacto (usar) con la alternativa.

Para el caso de análisis de toma de decisiones, los beneficios y oportunidades son criterios para maximizar; los costos y los riesgos son criterios para minimizar.

Alternativas: basado en los hallazgos de la revisión del estado de conocimiento, se consideraron las siguientes alternativas relacionadas con el índice de desempeño logístico:

- *A1. Aduanas:* la eficiencia del despacho de aduanas y de la gestión de las fronteras.
- *A2. Infraestructura:* la calidad de la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte.

- *A3. Calidad logística y competencia:* la competencia y la calidad de los servicios logísticos.
- *A4. Embarques internacionales:* la facilidad de organizar la venta de productos internacionales a precios competitivos.
- *A5. Puntualidad:* la frecuencia con que los envíos llegan a los destinatarios dentro del plazo de entrega previsto o esperado.
- *A6. Seguimiento y rastreo:* la capacidad de rastrear y localizar los envíos.

Una vez definidos los criterios y las alternativas, se ha realizado el diagrama de jerarquías con el fin de conocer las interacciones entre los criterios con respecto al objetivo-meta y las alternativas con respecto a los criterios (Figura 21).

Figura 21. Diagrama de jerarquías índice de desempeño logístico.



Nota: Relación del objetivo-meta, criterios y alternativas.

INDUSTRIA 4.0 – TECNOLOGÍA

Objetivo - meta: la tecnología que más impacta en la competitividad.

Criterios: se han considerado los mismos criterios de la temática del índice de desempeño logístico definidos a continuación:

- C1. *Beneficios:* valor agregado recibido o dado, producto de entrar en contacto, (usar), con la alternativa.
- C2. *Oportunidades:* la posibilidad de obtener algún tipo de mejora, como consecuencia de entrar en contacto (usar) con la alternativa.
- C3. *Costos:* lo que es necesario pagar para poder entrar en contacto (usar) la alternativa.
- C4. *Riesgos:* posibilidad de que se presente un mal como consecuencia de entrar en contacto (usar) con la alternativa.

Para el caso de análisis de toma de decisiones, los beneficios y oportunidades son criterios para maximizar; los costos y los riesgos son criterios para minimizar.

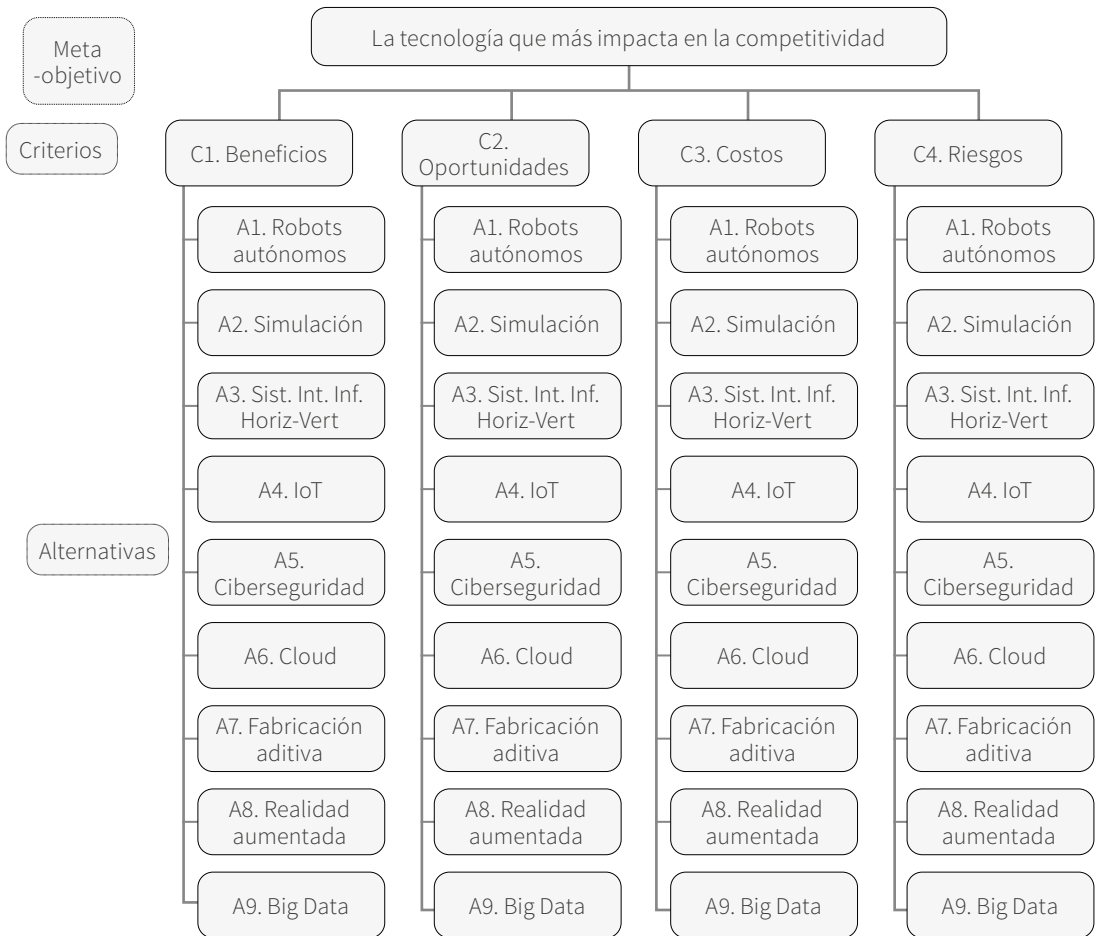
Alternativas: basado en los hallazgos de la revisión del estado de conocimiento, se han considerado las siguientes alternativas relacionadas con la tecnología:

- A1. *Robots autónomos:* tienen la habilidad para relacionarse con los humanos en un ambiente laboral, al igual que los robots virtuales o también llamados asistentes virtuales como los *bots* o *chatbots* usados con frecuencia en aplicaciones de gestión empresarial (Fedotov *et al.*, 2020).
- A2. *Simulación:* es una tecnología que refleja el mundo físico por medio de un modelo virtual, logrando optimizar tanto productos como procesos en un ambiente virtual. En la industria la simulación permite realizar pruebas para anticipar cualquier cambio en el plano real, logrando configurar las máquinas en menos tiempo sin afectar la calidad del producto (Promyoo *et al.*, 2019).

- A3. *Sistemas de integración información horizontal y vertical*: son redes universales con agrupación de datos que permite generar cadenas automatizadas dentro de una compañía, logrando así integrar totalmente la compañía con las áreas, las funciones y las capacidades.
- A4. *Internet de las cosas (IoT)*: esta tecnología está basada en las conexiones industriales de internet compartiendo en tiempo real información de dispositivos, plantas, oficinas entre otros (Witkowski, 2017).
- A5. *Ciberseguridad*: es proteger los sistemas industriales y líneas de producción críticas con alto riesgo de vulnerabilidad y amenaza cibernética, generando así, sistemas avanzados para la gestión de identidades, acceso a maquinaria y usuarios, para que la comunicación sea confiable y segura.
- A6. *La Nube (Cloud)*: las industrias cuentan con un sinnúmero de tareas en sus procesos, así mismo, requiere un mayor flujo de datos entre lugares y compañías. Todos los datos de las máquinas usan computación en la nube para alimentar los sistemas de producción, apoyando el monitoreo y control en los procesos (Flynn *et al.*, 2017).
- A7. *Fabricación aditiva*: en esta tecnología aparece la impresión 3D más avanzada, no solo produce un objeto de manera individual, sino que logra producir de manera personalizada pequeños lotes de productos ligeros y completos. Esta tecnología logra que las fabricaciones sean descentralizadas con un alto rendimiento disminuyendo el stock de los productos (Cotteleer y Sniderman, 2017).
- A8. *Realidad aumentada*: es un sistema que soporta la variedad de servicios, como se evidencia en la elección de piezas en un almacén. Esta tecnología brinda información a los trabajadores en tiempo real apoyando la toma de decisiones, por ejemplo, con gafas de realidad aumentada podrá observar el interior de la máquina en reparación, recibiendo instrucciones de la pieza que se debe cambiar.
- A9. *Big data*: esta tecnología tiene una gran capacidad para recolectar, almacenar y analizar datos, logrando evidenciar cuellos de botella en la fabricación, permitiendo optimizar energía, maquinaria y la calidad en el proceso (Witkowski, 2017).

Una vez definidos los criterios y las alternativas se ha realizado el diagrama de jerarquías con el fin de conocer las interacciones entre los criterios con respecto al objetivo-meta y las alternativas con respecto a los criterios (Figura 22).

Figura 22. Diagrama de jerarquías tecnología (Industria 4.0)



Nota: Relación del objetivo-meta, criterios y alternativas.

Siguiendo con los lineamientos de la metodología, se han aplicado los pasos como procedimiento a seguir para analizar las temáticas del índice de desempeño logístico y de tecnología (Industria 4.0).

Seguidamente se realiza la aplicación de la metodología:

FASE 1. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE ENTRADA.

Índice de desempeño logístico:

Meta-objetivo: el índice de desempeño logístico más adecuado para la competitividad.

Conjunto de elección - alternativas: se definen como conjunto de alternativas las que tienen elementos comunes que permitan hacer comparaciones según los criterios definidos. Para el caso del índice de desempeño logístico se consideraron las siguientes alternativas:

A1. Aduanas

A2. Infraestructura

A3. Calidad logística y competencia

A4. Embarques internacionales

A5. Puntualidad

A6. Seguimiento y rastreo

Estas alternativas fueron definidas anteriormente en esta sección.

Tecnología (Industria 4.0)

Meta-objetivo: la tecnología que más impacta en la competitividad.

Conjunto de elección - alternativas: se definen como conjunto de alternativas las que tienen elementos comunes que permitan hacer comparaciones según los criterios definidos. Para el caso de la tecnología (Industria 4.0) se consideraron las siguientes alternativas, las cuales fueron definidas anteriormente.

A1. Robots autónomos

A2. Simulación

A3. Sistemas de integración información horizontal y vertical

A4. Internet de las cosas (IoT)

A5. Ciberseguridad

A6. La Nube (Cloud)

A7. Fabricación aditiva

A8. Realidad aumentada

A9. Big data

Conjunto de elección - criterios: son las preferencias de un decisor incluidas en un atributo. Es la información que el decisor debe aportar en relación con los atributos de las alternativas. Para ambas temáticas (Índice de desempeño logístico y tecnología - Industria 4.0) se han definido cuatro criterios a considerar:

C1. Beneficios

C2. Oportunidades

C3. Costos

C4. Riesgos

Para el caso de esta investigación se han considerado los beneficios y las oportunidades como criterios a maximizar, dado que son elementos positivos para considerar en la decisión, mientras que los costos y los riesgos se han considerado como criterios para minimizar.

Entre la fase 1 y la fase 2 está la interacción del facilitador, el cual analiza los elementos de entrada y realiza la revisión de alternativas y criterios.

Análisis del facilitador: el equipo facilitador fueron los investigadores responsables del proyecto.

FASE 2. REVISIÓN DE ALTERNATIVAS Y CRITERIOS.

En esta fase se realiza la revisión de alternativas y criterios que estén soportados teóricamente y se considera la aplicación de la técnica del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP²⁸). Se han considerado los hallazgos de la revisión del estado de conocimiento relacionadas con el índice de desempeño logístico y tecnología (Industria 4.0) y la experiencia de los investigadores en estas temáticas. Con respecto a la aplicación de la técnica del proceso de análisis jerárquico, se han tenido en cuenta los constructos de diagramas de jerarquías de las temáticas analizadas anteriormente.

FASE 3. PROCESO DE REVISIÓN EXTERNA.

En esta fase se ha realizado el diseño de los instrumentos de valoración para la recolección de datos a los expertos. Se ha desarrollado el panel de expertos considerando la experiencia profesional, académica e investigativa. Para los instrumentos de valoración se ha realizado la validación tomando como base a Corral (2009) en su artículo titulado “Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos” considerando tres elementos: La validez de contenido, validez de constructo y validez de criterio. Se ha dispuesto de un profesional experto para la validación del instrumento de valoración. Para la validación de los expertos

se tuvieron en cuenta los lineamientos de Royal Society of Canada (2010), Ayyub (2000), Ericsson, K.A. (1996) y Mieg (2009).

Posteriormente, tomando como base lo construido en la Fase 2, junto con lo desarrollado en esta fase, se ha utilizado el *software* Superdecisions © para apoyar el proceso de priorización de alternativas de cada uno de los expertos.

Saaty (1980) ha establecido una escala de valoración entre 1 y 9 siendo 1 un valor que otorga igual importancia o preferencia entre los criterios o las alternativas y 9 una importancia o preferencia muy fuerte de un criterio o alternativa frente a otra. La variabilidad de las valoraciones muestra el índice de consistencia del decisor. Según Saaty (1980, 2012), no debe ser superior que 10 %; sin embargo, diferentes estudios realizados por Moreno-Jiménez (2002), Aguarón y Moreno Jiménez (2003), Moreno-Jiménez, Aguarón y Escobar (2008) indican que un índice de consistencia puede estar entre un 15 % y 20 % siendo manejables en los casos reales. Con el fin de evitar una variabilidad alta de los índices de consistencia se ha realizado el análisis por consenso enfocado en tomar los resultados de las valoraciones de cada experto y determinar la media geométrica para minimizar el índice de consistencia de las valoraciones dadas por los expertos. Para el caso de esta investigación se han tomado los datos consensuados.

Fase 4. Presentación de resultados.

En esta fase se incorporan los análisis de los resultados de la ponderación de criterios y priorización de alternativas de los datos consensuados de los expertos.

CONCLUSIONES

La revisión del estado de conocimiento de las palabras clave tales como “logistics”, “MCDM”, “Industry 4.0” han generado resultados interesantes que atribuyeron en el hallazgo de dos artículos estratégicos para la definición de los criterios y las alternativas.

Los artículos relacionados con la medición de la importancia del índice de desempeño logístico usando una técnica de análisis multicriterio (Rezaei; van Roekel; Tavasszy; 2018) y los niveles de madurez de la logística 4.0, la inteligencia artificial, sus tendencias y perspectivas futuras (Oleśków-Sztafka; Wojciechowska; Domańska; Pawłowski; 2019) ratifican la importancia de utilizar metodologías para la toma de decisiones y su enfoque en las redes de valor y la logística.

La metodología de análisis de decisiones multicriterio ha sido ampliamente aplicada en aspectos considerados de alta importancia, para apoyar al decisor en escoger la alternativa más adecuada que satisfaga un objetivo que dé solución a una problemática específica. Del mismo modo, la metodología combinada de análisis de decisiones multicriterio y enfoque basado en metas aplicada en esta investigación, han ayudado a organizar sistemáticamente las actividades a desarrollar para establecer las alternativas más adecuadas para los objetivos planteados en el índice de desempeño logísticos y la tecnología (Industria 4.0).

El análisis por consenso de las valoraciones de los expertos ayuda a reducir el índice de consistencia que pueden presentar algunos resultados dados por los expertos. Es clara la motivación en establecer las causas por las cuales se pueden presentar índices de consistencia altos en algunos expertos consultados, posiblemente por la disposición de tiempo, comodidad en la aplicación del instrumento por medio de entrevista semiestructurada o comprensión de los conceptos de los criterios y alternativas pueden ocasionar tal variabilidad.

REFERENCIAS

Aguaron, J., y Moreno Jimenez, J. (2003). The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European Journal of Operations Research*, 147(1), 137-145.

Analdex. (2019). *Analdex.org*. Obtenido de Analdex: <https://www.analdex.org/wp-content/uploads/1992/11/2018-08-06-ndice-de-desempeo-logstico-World-Bank.pdf>

ANDI. (2018). *ANDI*. Obtenido de Encuesta Nacional Logística: <http://www.andi.com.co/Uploads/Encuesta%20Nacional%20Log%C3%ADstica%202018.pdf>

ANI. (2017). <http://conferencias.cepal.org/>. Obtenido de Gobernanza del transporte: http://conferencias.cepal.org/gobernanza_transporte/Lunes%2030/Pdf/Andr%C3%A9s%20Figueredo.pdf

ANIF. (7 de 09 de 2018). *ANIF*. Obtenido de Septiembre 17 Logística del Transporte en Colombia: Índice del Banco Mundial (LPI): <https://www.anif.com.co/comentario-economico-del-dia/logistica-del-transporte-en-colombia-ndice-del-banco-mundial-lpi>

Arvis, J., Saslavsky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C., Raj, A., y Naula, T. (2016). *Connecting to compete: Trade Logistics in the Global Economy*. Washington D.C.: World Bank.

Awad-Núñez, S., González-Cancelas, N., Soler-Flores, S., y Camarero-Orive, A. (2016). A Methodology For Measuring Sustainability Of Dry Ports Location Based On Bayesian Networks And Multi-Criteria Decision Analysis. *Transportation Research Procedia*, 13, 124-133.

Ayyub, B. M. (2010). *Methods of Expert-Opinion. Elicitation of Probabilities and Consequences for Corps Facilities*.

Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de Suministro* (Quinta ed.). Mexico D.F.: Pearson. Recuperado el 12 de Junio de 2019

Ballou, R. H. (2006). The evolution and future of logistics and supply chain management. *Produção*, 16(3), 375-386. Recuperado el 8 de Junio de 2019, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132006000300002

Banco Mundial . (2019). *Connecting to Compete 2018*. Washington D.C. USA: Banco Mundial.

Banco Mundial. (2017). *Connecting to Compete 2016*. Washington D.C.: Banco Mundial.

Banco Mundial. (2020). *Bancomundial.org*. Obtenido de Who we are: <https://www.bancomundial.org/es/who-we-are>

Banco Mundial. (2020). *Doing Bussiness*. Obtenido de Informes Globales: <https://www.doingbusiness.org/en/reports/global-reports/doing-business-2020>

Banco Mundial. (2020). *Doing Bussiness*. Obtenido de CHAPTER 6 Ease of doing business score and ease of doing business ranking: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32436/9781464814402_Ch06.pdf

Barba-Romero, S., y Pomerol, J. (1997). *Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica*. Alcalá: Servicio de Publicaciones Universidad de Alcalá.

Belton, V., y Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publisher.

Bond, S., Carlson, K., y Keeney, R. (2010). Improving the Generation of Decision Objectives. *Decision Analysis*, 7(3), 238-255.

Borsodi, R. (1927). *The Distribution Age, a study of the economy of modern distribution*. New York: D. Appleton and Company. Recuperado el 9 de Junio de 2019, de <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/0303critic/030308borsodi.dist.age/030308toc.htm>

Boutkhoul, O., Hanine, M., Tikniouine, A., y Agouti, T. (2015). Multi-Criteria Decisional Approach Of The Olap Analysis By Fuzzy Logic: Green Logistics As A Case Study. *Arabian Journal For Science And Engineering*, 40(8), 2345-2359.

Bowersox, D. J. (Enero de 1969). Physical Distribution Development, Current Status, and potential. *Journal of Marketing*, 63-70. Recuperado el 8 de Junio de 2019, de <http://eds.b.ebscohost.com/bibliotecavirtual.unad.edu.co/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=34a405a8-71e2-41f3-aa57-722ce063f309%40pdc-v-sessmgr01>

Bowersox, D. J., Closs, D. J., y Cooper, B. (2007). *Administración y logística en la cadena de suministros* (Segunda ed.). Mexico D.F.: McGRW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Buendía Rice, E. A. (2013). El papel de la Ventaja Competitiva en el desarrollo económico de los países. *Análisis Económico*, 28(69), 55-78. Recuperado el 6 de 9 de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/413/41331033004.pdf>

Cabuya Padilla, B. (2016). *MODELO DE PREDICCIÓN Modelo de predicción del LPI con indicadores externos usando el método PCA. caso estudio Colombia*. Valencia, España: UNiversidad Politécnica de Valencia.

CEPAL. (2006). *Fernando Fajnzylber – Una visión renovadora del desarrollo de América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2458/S0600410.pdf?sequence=1>

Cho, D.-s., y Moon, H.-c. (2013). *From Adam Smith To Michael Porter: Evolution Of Competitiveness Theory (Extended Edition)*. Singapore: World Scientific. Recuperado el 6 de 9 de 2020, de <https://search-ebscohost-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=564502&lang=es&site=ehost-live>

CIVITAS. (2014). *Innovative Urban Transport Solutions*. Bruselas: CIVITAS. Obtenido de <https://civitas.eu/sites/default/files/civitas-plus-innovative-urban-transport-solutions-www-final.pdf>

Colombia Competitiva. (2020). *Avances en el IGC 2020*. Recuperado el 12 de 9 de 2020, de ¿Qué es y cómo se mide el Índice Global de Competitividad?: <http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/indicadores-internacionales/indice-competitividad-global>

Compite. (2020). *Informe Nacional de Competitividad 2019-2020*. Bogotá D.C.: Compite.

CSCMP. (3 de Junio de 2019). *Council of Supply Chain Management Professionals*. Recuperado el 3 de Junio de 2019, de CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary: https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?h-key=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

de Gooyert, V., Rouwettea, E., van Kranenburga, H., y Freemanb, E. (2017). Reviewing the role of *stakeholders* in Operational Research: A stakeholder theory perspective. *European Journal of Operational Research*, 262, 402-410.

de Souza, V., Bloemhof-Ruwaard, J., y Borsanto, M. (2019). Towards Regenerative Supply Networks: A design framework proposal. *Journal of Cleaner Production*, 221, 145-156.

de Souza, V., Melare, A., Montenegro Gonzalez, S., Faceli, K., y Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, 59, 567-584.

Deloitte. (2019). *Deloitte*. Obtenido de Deloitte-Reporte-Global-Competitividad: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gt/Documents/finance/191009-Deloitte-Reporte-Global-Competitividad.pdf>

D'Eusano, M., Zamagni, A., y Petti, L. (2019). Social sustainability and supply chain management: Methods and tools. *Journal of Cleaner Production*, 235, 178-189.

Erener, A., Mutlu, A., y Sebnem Düzgün, H. (2016). A Comparative Study for Landslide Susceptibility Mapping Using Gis-Based Multi-Criteria Decision Analysis (McdA), Logistic Regression (Lr) And Association Rule Mining (Arm). *Engineering Geology*, 203, 45-55.

Eskandarpour, M., Dejaj, P., Miemczyk, J., y Péton, O. (2015). Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. *Omega*, 54, 11-32.

Estrada mejía, S., Restrepo de Ocampo, I. s., y Silva, B. (2010). Análisis De Los Costos Logísticos En La Administración De La Cadena De Suministro. *Scientia Et Technica*, 272-277. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917249050.pdf>

Fahimniaa, B., Tang, Davarzani, H., y Sarkis, J. (2015). Quantitative models for managing supply chain risks: A review. *European Journal of Operational Research*, 247, 1-15.

Foresight. (2019). *New Technology and Automation in Freight Transport and Handling Systems*. Londres: Foresight. Recuperado el 3 de 10 de 2020, de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/781295/automation_in_freight.pdf

Gbededoa, M., y Liyanagea, K. (2020). Descriptive framework for simulation-aided sustainability decision-making: A Delphi study. *Sustainable Production and Consumption*, 22, 45-57.

Ghiani, G., Laporte, G., y Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management*. Chichester: John Wiley and Sons.

Guarnieri, P., Sobreiro, V. A., Nagano, M. S., y Marques Serrano, A. L. (2015). The Challenge Of Selecting And Evaluating Third-Party Reverse Logistics Providers In A Multicriteria Perspective: A Brazilian Case. *Journal Of Cleaner Production*, 96(4333), 209-219.

Hasana, M., Jianga, D., Sharif, E.-A., Ullahb, A., y E-Alama, M. (2020). Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information. *Expert Systems With Applications*, 139(112799).

He, J., Feng, C., Hu, D., y Liang, L. (2017). A Decision Model for Emergency Warehouse Location Based on A Novel Stochastic Mcdm Method: Evidence from China. *Mathematical Problems In Engineering*, 2017(7804781).

Ho, W. (2008). Integrated Analytic Hierarchy Process and its Applications. A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 211-228.

Kijewska, K., Torbacki, W., y Iwan, S. (2018). Application of Ahp And Dematel Methods In Choosing And Analysing The Measures For The Distribution Of Goods In Szczecin Region. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7).

Krugman, P. R., y Obstfeld, M. (2006). *Economía Internacional, Teoría y política*. Madrid: Pearson Educación, SA.

Laseter, T., y Oliver, K. (2003). *When Will Supply Chain Management Grow Up?* Recuperado el 1 de Junio de 2019, de Strategy+Business: <https://www.strategy-business.com/article/03304?pg=0>

Liu, X. (2014). China-based logistics research: a review of the literature and implications. *International Journal of Physical Distribution y Logistics Management*, 44(5), 392-411. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2012-0225>

Lombana, J., y Rozas Gutierrez, S. (2009). Marco Analítico de la competitividad. Fundamentos para la Competitividad Regional. *Revista Científica Pensamiento y Gestión*, 1-18.

Longaray, A., Ensslin, L., Ensslin, S., Dutra, A., y Munhoz, P. (2018). Using Mcdca To Evaluate the Performance Of The Logistics Process In Public Hospitals: The Case Of A Brazilian Teaching Hospital. *International Transactions in Operational Research*, 25(1), 133-156.

Macharis, C., y Bernardini, A. (2015). Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 37, 177-186.

Martí Selva, M., Puertas Medina, R., y García, L. (2014). Importance of the logistics performance index in international trade. *Applied Economics*, 46(24), 2982-2992. Recuperado el 3 de 10 de 2020, de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00036846.2014.916394>

Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Kamath, V., y Spinler, S. (2020). Sustainability Assessment of Last-Mile Logistics and Distribution Strategies: The Case of Local Food Networks. *International Journal of Production Economics*, 228(107746).

Mieg, H. A. (2009). Two Factors of Expertise? Excellence and Professionalism of Environmental Experts. *High Ability Studies*, 20(1), 91-115.

Ministerio de Relaciones Exteriores de Brasil. (2020). *itamaraty.gov.br*. Obtenido de Banco Mundial: [http://www.itamaraty.gov.br/es/sem-categoria/6445-banco-mundial-es#:~:text=surgi%C3%B3%20a%20partir%20de%20la,y%20Desarrollo%E2%80%9D%20\(BIRD\)](http://www.itamaraty.gov.br/es/sem-categoria/6445-banco-mundial-es#:~:text=surgi%C3%B3%20a%20partir%20de%20la,y%20Desarrollo%E2%80%9D%20(BIRD)).

Mintransportes, BID. (2018). *Sistema Logístico Nacional, Una Estrategia para la Competitividad*. Estudio BID, Ministerio de Transportes/BID, Bogotá. Recuperado el 3 de 10 de 2020, de <https://plc.mintransporte.gov.co/Portals/0/Estudios%20BID/Libro%20Blanco.pdf?ver=2018-12-14-113134-343>

Moreno Jimenez, J., Aguaron, J., y Escobar, M. (2008). The core of consistency in AHP-group decision making. *Group Decision and Negotiation*, 17(3), 249-265.

Moreno Jimenez, L. (2002). *El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones*.

Oleśków-Szłapkaa, J., Wojciechowska, H., Domańska, R., y Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 Maturity Levels Assessed Based on GDM (Grey Decision Model) and Artificial Intelligence in Logistics 4.0 – Trends and Future Perspective. *Procedia Manufacturing*, 39, 1734-1742.

ONL. (2018). *Observatorio Nacional de Logística*. Obtenido de Presentación Encuesta Nacional Logística : <http://onl.dnp.gov.co/es/Publicaciones/SiteAssets/Paginas/Forms/AllItems/Presentaci%c3%b3n%20Encuesta%20Nacional%20Log%c3%adstica%202018.pdf>

ONL. (2018). *Observatorio Nacional de Logística*. Recuperado el 20 de 11 de 2020, de Encuesta Nacional Logística 2018: <http://onl.dnp.gov.co/es/enl/Paginas/2018.aspx>

ONL. (2020). *Encuesta Nacional Logística 2020*. Recuperado el 20 de 11 de 2020, de Encuesta Nacional Logística 2020: <http://onl.dnp.gov.co/es/enl/Paginas/2020.aspx>

Ortiz Torres, M., M., P., Valdés, F., y Arias Castillo, E. (2013). Desempeño logístico y rentabilidad económica. Fundamentos teóricos y resultados prácticos. *Economía y Desarrollo*, 182-193. Recuperado el 18 de 9 de 2020, de <http://www.econdesarrollo.uh.cu/index.php/RED/article/view/264>

Padilla, R. (27-29 de 9 de 2006). *competitividad.org.do*. (CEPAL, Ed.) Recuperado el 9 de 9 de 2020, de Instrumentos de medición de la competitividad: <http://www.competitividad.org.do/wp-content/uploads/2009/01/2.1Indicadoresdecompetitividad1.pdf>

Pereira, T., y Ferreira, F. A. (2017). A Multicriteria Decision Making Model For Assessment And Selection Of An Erp In A Logistics Context. *Aip Conference Proceedings*.

Pereira, T., Ferreira, F. A., y Araújo, C. (2019). A Multicriteria Decision Model For The Selection Of An Information System For a Logistics Company Using Mmassi/Itopen Access. *International Journal for Quality Research*, 13(4), 837-848.

Porter, M. (Marzo - Abril de 1990). The competitive advantage of nations. *Harvard Business Review Home*, 73-95. Obtenido de <https://hbr.org/1990/03/the-competitive-advantage-of-nations>

Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/156634860/Competitive-Advantage-Creating-and-Sustaining-Superior-Performance-Michael-Porter-1985>

Qazi, A., Dickson, A., Quigley, J., y Gaudenzi, B. (2018). Supply chain risk network management: A Bayesian belief network and expected utility based approach for managing supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 196, 24-42.

Ramirez Díaz, L. (2006). La competitividad ... ¿a qué se refiere? *Ensayos de Economía*, 107-117.

Rebula de Oliveira, U., Silva Marins, F., Martins Rocha, H., y Pamplona Salomon, V. A. (2017). The ISO 31000 standard in supply chain risk management. *Journal of Cleaner Production*, 151, 616-633.

Reeb, C. W., Venditti, R., Gonzalez, R., y Kelley, S. (2016). Environmental Lca And Financial Analysis To Evaluate The Feasibility Of Bio-Based Sugar Feedstock Biomass Supply Globally: Part 2. Application Of Multi-Criteria Decision-Making Analysis As A Method For Biomass Feedstock Comparisons. *Bioresources*, 11(3), 6062-6084.

Rey, M. F. (2008). *Encuesta Nacional Logística – Resultados del Benchmarking Logístico – Colombia 2008*. . Latin America Logistics Center (LALC). Cali Colombia: Latin America Logistics Center (LALC). Recuperado el 20 de 11 de 2020, de <https://www.icesi.edu.co/blogs/logisticawww/files/2012/05/REPORTE-ENL-COLOMBIA.pdf>

Rezaei, J., van Roekel, W., y Tavasszy, L. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158-169.

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.

Saaty, T. (2012). *Decision Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Pittsburgh: University of Pittsburgh.

Saaty, T., y Ergu, D. (2015). When in a Decision-Making Method Trustworthy? Criteria for Evaluating Multicriteria Decision-Making Methods. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 14(6), 1171-1187.

San Martín, D., Orive, M., Martínez, E., Vázquez, L., y Zufía, J. (2017). Decision Making Supporting Tool Combining Ahp Method with Gis For Implementing Food Waste Valorization Strategies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1555-1567.

Sawicka, H. (2020). The methodology of solving stochastic multiple criteria ranking problems applied in transportation. *Transportation Research Procedia*, 47, 219-226.

SCC. (2012). *Scor, Supply Chain Operations, Revision 11.0*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://docs.huihoo.com/scm/supply-chain-operations-reference-model-r11.0.pdf>

Servera-Francés, D. (Septiembre-Diciembre de 2010). Concepto y evolución de la función Logística. *Innovar Journal*, 20(38), 217-234. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81819024018>

Shaw, A. W. (1916). *Some problems in Market Distribution*. Boston: Harvard University Press. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015063904661&view=1up&seq=4>

Subramanian, N., y Ramanathan, R. (2012). A Review of Applications of Analytic Hierarchy Process in Operations Management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215-241.

Suñol, S. (abril-junio de 2006). Aspectos teóricos de la competitividad. *Ciencia y Sociedad*, 31(2), 179-198. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7438487.pdf>

Vásquez-Bernal, O. A. (2019). *Diseño de una Metodología de Análisis Multicriterio para la Certificación de los Profesionales de Ingeniería en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Vásquez-Bernal, O. A., y Cortes-Aldana, F. A. (2018). A goal-based and multi-criteria decision analysis approach to the certification of professional engineers in Colombia. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 16(1), 84-88.

Vieira, B. O., Guarnieri, P., Silva, L. C., y Alfinito, S. (1 de May de 2020). Prioritizing Barriers to be Solved to The Implementation of Reverse Logistics Of E-Waste In Brazil Under A Multicriteria Decision Aid Approach. *Sustainability*, 12(10), 1-30.

Von Bertalanffy, K. L. (1976). *Teoría General de Sistemas*. México D.F.: Editorio, Fondo de Cultura Económica.

Watróbski, J. (2016). Outline of Multicriteria Decision-Making In Green Logistics. *Transportation Research Procedia*, 16, 537-552.

Watróbski, J., Jankowski, J., Ziembaa, P., Karczmarczyk, A., y Ziółoa, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86, 107-124.

Watróbski, K., Matecki, K., Kijewska, K., Karczmarczyk, A., y Thompson, R. G. (2017). Multi-Criteria Analysis of Electric Vans For City Logistics. *Sustainability*, 9(1453), 1-30.

WEF. (2019). *A Platform for Impact*. Ginebra Suiza: WEF. Obtenido de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Institutional_Brochure_2019.pdf

WEF. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. Ginebra Suiza: WEF.

WEF. (2020). *World Economic Forum*. Obtenido de Our Mission: <https://es.weforum.org/about/world-economic-forum>

Zak, J., y Galinska, B. (2018). Design and Evaluation of Global Freight Transportation Solutions (Corridors). Analysis of a Real-World Case Study. *Transportation Research Procedia*, 30, 350-362.