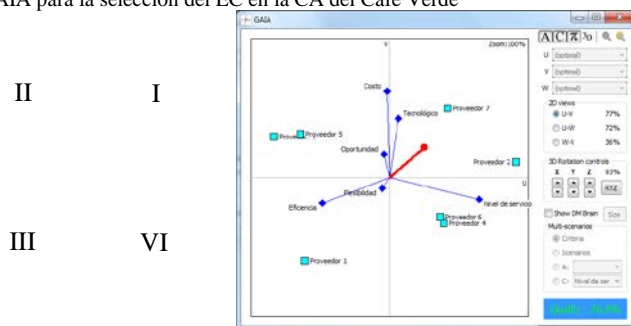


GAIA es una gráfica discriminante que en éste caso de estudio permite caracterizar y visualizar los transportadores de acuerdo a sus criterios intrínsecos de servicio; la gráfica se basa en el principio de componentes principales; se divide en cuatro cuadrantes donde cada uno de los proveedores similares están cercanos y alrededor de los criterios que los caracterizan. La calidad del modelo en la figura 6, es del 76%, y es aceptada porque supera el 70% recomendada en la revisión de la literatura. Éste porcentaje está influido por el criterio costo debido a que es el crítico de la problemática y tiene el peso más alto para la selección de transportadores en la CS de café verde.

El perfil tecnológico en la gráfica GAIA, lo tienen los transportadores 2 y 7 como se muestra en el cuadrante I de la figura 6. El cuadrante 2, muestra que los transportadores más *oportunos* y con *costos mínimos* son el 3 y el 5. El transportador 1, es el de perfil más *eficientes* y *flexible*. Los de mejor nivel de servicio son el transportador 4 y 6. Los criterios en conflicto son el tecnológico y la flexibilidad, debido a que está opuesto uno al otro.

Figura 6 Gráfica GAIA para la selección del EC en la CA del Café Verde



Fuente. VP V1.3. con información de los autores

La decisión de la CS de café verde es seleccionar al transportador 2, debido a que el eje de decisión PROMETHEE tiene una longitud adecuada y está orientado hacia el primer cuadrante. Se presume por la cercanía del transportador 2 al criterio nivel de servicio, que su servicio es adecuado. Si en dado caso la contratación con el transportador 2, no se da; el siguiente adecuado a la problemática es el proveedor 7.

5. Conclusiones

- Los criterios propuestos para el STT en éste artículo son construidos bajo los supuestos de la MCDN, red de criterios que permite identificar la dependencia e interrelación de los criterios [20] en la FLT, los cuales surgen de la revisión de la literatura como una necesidad de estandarizar para los tomadores de decisiones los criterios de selección de modos de transporte, transportadores y grados de consolidación.
- En éste artículo se propone una metodología, después de la revisión en la literatura realizada alrededor de la técnica PROMETHEE. En la cual se encuentra que la mayor utilización es en la localización de instalaciones e infraestructura de transporte como p.e. vías y terminales. Ésta metodología aporta al estado del arte para coayudar a los tomadores de decisiones con herramientas estructuradas para la complejidad en la FLT.
- Es en este enfoque positivista recae el aporte de este artículo, a la ayuda al proceso de priorización, selección y caracterización de las decisiones de transporte especialmente en STT; debido a que en su gran mayoría son tomadas con base en el costo sin tener en cuenta otros criterios importantes para maximizar el nivel de servicio. Los tomadores de decisiones utilizan en la FLT enfoques “blandos” como el plan maestro, el método del actor racional, el gradual, el de negociación o por grupo de toma de decisiones, sin embargo éstos métodos no dan al usuario un marco general para el análisis del problema, a lo cual existen aproximaciones rigurosas basadas en la investigación de operaciones y la teoría de la decisión que han mostrado su valor especialmente en los contextos tácticos y operativos y que se conciernen a la FLT, una muestra es la metodología en éste artículo desarrollada.
- Es confuso para los tomadores de decisiones cuando seleccionan transportadores debido a que ésta problemática se ubica en el servicio, mientras que la selección del modo de transporte y la consolidación se tiene en cuenta la infraestructura, la UC y la UA, objeto de ésta investigación.
- Los criterios de la MCDN deben ser utilizados de forma agregada o desagregada, al igual que los propuestos en ésta investigación para la STT, el lector podría adicionar otros que considere importantes para una CS a estudio.
- El uso del plano GAIA, le sirve al tomador de decisiones para perfilar y discriminar la utilización y necesidad de más o menos criterios en el momento de hacer la clasificación, ordenamiento y selección de alternativas.

- Con la MCDA PROMETHEE, se pueden generar políticas de gestión para cualquier proceso (comercial, productivo, administrativo, logístico, etc.) para cualquier tipo de organización, con el fin de generar perfiles de gestión y estrategias de mejor desempeño. Para el caso, en la Función Logística de Transporte se demostró que los criterios encontrados en el estado del arte se pueden replicar a cualquier tipo de organización, la metodología de decisión es la misma.
- Es recomendable que el tomador de decisiones haga un análisis de sensibilidad utilizando la gráfica GAIA, con diferentes pesos de los criterios MCDN.

6. Perspectivas de investigación futura

- Replicar la metodología planteada en éste documento, para ampliar la aplicación de la MCDN para la toma de decisiones de Consolidación, Mezcla de Flota de Transporte, Asignación de Vehículos, Enrutamiento y Programación de Vehículos y Planes de Carga.
- Se espera que los criterios de utilizados de la MCDN para la STT, se utilicen y validen en otros contextos o CS para la toma de decisiones, combinándolos con otros métodos, técnicas, modelos o metodologías.
- El planteamiento de la nomenclatura para modos y transportadores y la metodología de toma de decisiones con PROMETHEE, pero se espera que la MCDN, difusas para la toma de decisiones como el AHP, el ELECTRE y el PROMETHEE encontradas en la literatura y posteriormente hacer análisis de sensibilidad o de cerebro humano [29]

7. Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación Universitaria Cafam por el financiamiento de éste proyecto de investigación y al programa de Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por los aportes científicos al mismo.

8. Referencias

- [1] F. Astals Coma, *Almacenaje, manutención y trasporte interno en la industria*: Ediciones de la Universitat Politecnica de Catalunya, 2009.
- [2] A. M. Bower, K. o. Button, and D. A. Hensher, "Handbook of Logistics and Supply-Chain Management," *Handbook in Transport PERGAMON*, vol. 2, p. 218, 2001.
- [3] H. Runhaar and R. van der Heijden, "Public policy intervention in freight transport costs: effects on printed media logistics in the Netherlands," *Transport Policy*, vol. 12, pp. 35-46, 2005.
- [4] A. S. Bergantino, M. Bierlaire, M. Catalano, M. Migliore, and S. Amoroso, "Taste heterogeneity and latent preferences in the choice behaviour of freight transport operators," *Transport Policy*, vol. 30, pp. 77-91, 2013.
- [5] M. Browne, J. Allen, T. Nemoto, D. Patier, and J. Visser, "Reducing Social and Environmental Impacts of Urban Freight Transport: A Review of Some Major Cities," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 39, pp. 19-33, 2012.
- [6] J. Trujillo, A. Velasquez, R. Martínez, H. Bolivar, J. Vallejo, and J. Perez, "Methodology for decisions making in transportation logistics function, for Supply Chain (SC) colombian green coffee study," in *International Dubai, United Arab Emirates*, 2015.
- [7] J. Trujillo, E. Gonzalez, and A. Velasquez, "Hybrid model for making Tactical and Operational decisions in land transportation for the case of a perishable Supply Chain," in *2nd International Symposium (1963-2013 - 50th Anniversary) - 24th National Conference on Operational Research; Hellenic Operational Research Society (HELORS)*, Athens, Greece, 2013, pp. 66-80.
- [8] D. J. Bowersox, D. J. Closs, and M. B. Cooper, *Administración y Logística en la Cadena de Suministros*: McGraw Hill, 2007.
- [9] R. H. Ballou, *Logística Administración de la Cadena de Suministro* vol. 5ta Edición. Mexico, 2004.
- [10] C. Nguyen, M. Dessouky, and A. Toriello, "Consolidation strategies for the delivery of perishable products," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 69, pp. 108-121, 2014.
- [11] P. Nijkamp, A. Reggiani, and S. Bolis, "European freight transport and the environment: empirical applications and scenarios," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, pp. 233-244, 1997.
- [12] A. Reggiani, S. Cattaneo, M. Janic, and P. Nijkamp, "FREIGHT TRANSPORT IN EUROPE: Policy Issues and Future Scenarios on Trans-Border Alpine Connections," *IATSS Research*, vol. 24, pp. 48-59, 2000.
- [13] A. Velasquez, J. Trujillo, C. Franco, and H. Bolivar, "Measure Characterization of a Complex System Logistics," in *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*, Salerno (Italy), 2014, pp. 504-508.
- [14] J. H. Banks, *Transportation Planning*, 2 ed. USA: Mc Graw Hill, 2002.
- [15] J. Khisty C. and L. Kent B., *Transportation Engineering: an introduction*, 2nd ed. New Yersey: Prentice Hall, 1998.
- [16] L. A. Mora García, *Gestión logística integral las mejores prácticas en la cadena de abastecimientos*. Bogotá D.C.: Ecoe, 2008.
- [17] E. J. Bardi, J. J. Coyle, and R. A. Novack, *Management of transportation* Thomson/South-Western, 2006.
- [18] J. F. Campbell, "Strategic Network Design for Motor Carriers," ed, 2005.
- [19] T. Crainic, "Long-Haul Freight Transportation," in *Handbook of Transportation Science*. vol. 56, R. W. Hall, Ed., ed: Springer US, 2003, pp. 451-516.
- [20] J. Trujillo, A. Velasquez, M. Martinez, H. Bolivar, C. Franco, and J. Perez, "Criteria for decision-making in transportation logistics function," in *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) 2015*, Dubai, United Arab Emirates, 2015, pp. 1-6.
- [21] D. M. Lambert, J. R. Stock, and L. M. Ellram, *Fundamentals of Logistics Management*: Mc Graw Hill Higher Education, 1998.
- [22] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation*, 3ra Edición ed., 2010.

- [23] M. Lindholm, "How Local Authority Decision Makers Address Freight Transport in the Urban Area," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 39, pp. 134-145, 2012.
- [24] T. Kohonen, "Self-organized formation of topologically correct feature maps," *Biological Cybernetics*, vol. 43, pp. 59-69, 1985.
- [25] D. Blanchard, "Transportation: Logistics a la Mode," in *Supply Chain Management Best Practices*, ed USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 103-119.
- [26] A. Bufardi, R. Gheorghe, and P. Xirouchakis, "Fuzzy Outranking Methods: Recent Developments," in *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*, C. Kahraman, Ed., ed: Springer Science, 2008.
- [27] G. d. I. N. Sanchez Guerrero, "La técnica Electre," in *Técnicas participativas para la planeación*, ed. Mexico, 2003, pp. 183-196.
- [28] J. Figueira, V. Mousseau, and B. Roy, "Electre Methods," in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds., ed New York, United States of America: Springer Science+Business Media, 2005, pp. 133-153.
- [29] J.-P. Brans and B. Mareschal, "Promethee Methods," in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. vol. 78, J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds., ed New York, United States of America: Springer Science+Business Media, 2005, pp. 163-186.
- [30] J. P. Brans, P. Vincke, and B. Mareschal, "How to select and how to rank projects: The Promethee method," *European Journal of Operational Research*, vol. 24, pp. 228-238, 1986.
- [31] B. Mareschal and J.-P. Brans, "Geometrical representations for MCDA," *European Journal of Operational Research*, vol. 34, pp. 69-77, 1988.
- [32] M. Behzadian, R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdasi, "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications," *European Journal of Operational Research*, vol. 200, pp. 198-215, 2010.
- [33] Y.-H. Chen, T.-C. Wang, and C.-Y. Wu. (2011) Strategic decisions using the fuzzy PROMETHEE for IS outsourcing. *ScienceDirect*. 2.
- [34] S. Corrent, S. Greco, and R. Sowiński. (2012) Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. *ScienceDirect*.
- [35] B. Mareschal. (2013, Abril 1 de 2013). *Visual PROMETHEE 1.3 Manual (1.3 ed.)*. Available: <http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>
- [36] C. Araz and I. Ozkarahan, "Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure," *International Journal of Production Economics*, vol. 106, pp. 585-606, 2007.
- [37] J. P. Brans and B. Mareschal, "The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid," *Decision Support Systems*, vol. 12, pp. 297-310, 1994.
- [38] X. Yu, Z. Xu, and Y. Ma. (2013) Prioritized Multi-Criteria Decision Making. *ScienceDirect*.
- [39] J. P. Brans, "L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE," in *L'aide a la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*, R. Nadeau, Landry, M, Ed., ed. Québec, Canada: Presses de l'Université Laval, 1982, pp. 183-214.
- [40] Y.-C. Hu and C.-J. Chen. (2011) A PROMETHEE-based classification method using concordance. *ScienceDirect*.
- [41] R. Dulmin and V. Mininno, "Supplier selection using a multi-criteria decision aid method," *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 9, pp. 177-187, 2003.
- [42] K. Lidouh, Y. De Smet, and E. Zimányi, "GAIA Map: A tool for visual ranking analysis in spatial multicriteria problems," in *Information Visualisation, 2009 13th International Conference*, 2009, pp. 393-402.
- [43] Y. Peng, Y. Zhang, G. Kou, J. Li, and Y. Shi. (2012) Multicriteria decision making approach for cluster validation. *ScienceDirect*.
- [44] A. Raveh, "Co-plot: A graphic display method for geometrical representations of MCDM," *European Journal of Operational Research*, vol. 125, pp. 670-678, 2000.
- [45] Y. Bai, D. Zhou, P. Zhou, and L. Zhang. (2012) Optimal path for China's strategic petroleum. *ScienceDirect*.
- [46] M. Tavana, M. Behzadian, M. Pirdashti, and H. Pirdashti. (2012) A PROMETHEE-GDSS for oil and gas pipeline planning in the Caspian Sea basin. *ScienceDirect*.
- [47] G. Kabir and R. Sultana. (2014) Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: A case study from Bangladesh. *ScienceDirect*.
- [48] R. Vetschera and A. Teixeira. (2011) A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *ScienceDirect*.
- [49] Z. Ribarović and N. Mladineo, "Application of multicriterional analysis to the ranking and evaluation of the investment programmes in the ready mixed concrete industry," *Engineering Costs and Production Economics*, vol. 12, pp. 367-374, 1987.
- [50] R. Maciel, D. Dumke, and A. Teixeira. (2015) A multicriteria model for ranking of improvement approaches in construction companies based on the PROMETHÉE II method. *ScienceDirect*.
- [51] J. Karkazis, "Facilities location in a competitive environment: A promethee based multiple criteria analysis," *European Journal of Operational Research*, vol. 42, pp. 294-304, 1989.
- [52] B. Mareschal and J. P. Brans, "PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints," *INFOR Journal*, vol. 30, pp. 85-96, 1992.
- [53] A. S. Fernández Castro and M. Jiménez, "PROMETHEE: an extension through fuzzy mathematical programming," *Journal of the Operational Research Society* vol. 56, pp. 119-122, 2004.
- [54] I. Pavić and Z. Babić, "The use of the PROMETHEE method in the location choice of a production system," *International Journal of Production Economics*, vol. 23, pp. 165-174, 1991.
- [55] O. Marinoni, "A stochastic spatial decision support system based on PROMETHEE," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, pp. 51-68, 2005.
- [56] J. C. Leyva López and E. Fernández González, "Un nuevo método para el apoyo de decisiones en grupo basado en la metodología ELECTRE III" *European Journal of Operational Research (EJOR)*, vol. 148, pp. 14-27, 2003.
- [57] N. Mladineo, J. Margeta, J. P. Brans, and B. Mareschal, "Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants," *European Journal of Operational Research*, vol. 31, pp. 215-222, 1987.
- [58] H. Selcuk, S. Zaim, and D. Denle. (2014) Selecting "The Best" ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *ScienceDirect*.
- [59] J.-J. Wang and D.-L. Yang, "Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing," *Computers & Operations Research*, vol. 34, pp. 3691-3700, 2007.
- [60] C. Araz, P. Mizrak Ozfirat, and I. Ozkarahan, "An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management," *Computers & Operations Research*, vol. 34, pp. 3738-3756, 2007.
- [61] I. Veza, S. Celar, and I. Peronia. (2014) Competences-based Comparison and Ranking of Industrial Enterprises using PROMETHEE Method. *ScienceDirect*.
- [62] H. Kuang, M. Kilgour, and K. Hipel. (2014) Grey-based PROMETHEE II with application to evaluation of source water protection strategies. *ScienceDirect*.

- [63] T. Amaral and A. Costa. (2013) Improving decision-making and management of hospital resources: An application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. *ScienceDirect*.
- [64] K. Kourtit, C. Macharis, and P. Nijkamp. (2013) A multi-actor multi-criteria analysis of the performance of global. *ScienceDirect*.
- [65] N. Mladineo, I. Lozić, S. Stošić, D. Mlinarić, and T. Radica. "An evaluation of multicriteria analysis for DSS in public policy decision," *European Journal of Operational Research*, vol. 61, pp. 219-229, 1992.
- [66] D. Radojevic and S. Petrovic, "A fuzzy approach to preference structure in multicriteria ranking," *International Transactions in Operational Research*, vol. 4, pp. 419-430, 1997.
- [67] G. Lu, H. Wang, and X. Mao, "Using ELECTRE TRI Outranking Method to Evaluate Trustworthy Software."
- [68] P. Vincke, *Multicriteria Decision-Aid*. Michigan: Wiley, 1992.
- [69] J. Jablonsky. (2014) MS Excel based software support tools for decision problems with multiple criteria. *ScienceDirect*.
- [70] A. Albadvi, S. Chaharsooghi, and A. Esfahanipour. (2007) Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. *European Journal of Operational Research*. 673-683.
- [71] M. Hersh, *Mathematical Modelling for Sustainable Development*. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [72] B. Mareschal and Y. De Smet, "Visual PROMETHEE: Developments of the PROMETHEE & GAIA multicriteria decision aid methods," in *Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 1646-1649.
- [73] C. P. Miranda, *Estadística multivariable*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2009.
- [74] S. ö. Behrends, "The Urban Context of Intermodal Road-Rail Transport – Threat or Opportunity for Modal Shift?," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 39, pp. 463-475, 2012.
- [75] J. Woxenius, "Directness as a key performance indicator for freight transport chains," *Research in Transportation Economics*, vol. 36, pp. 63-72, 2012.
- [76] J. T. Diaz, M. M. Rojas, C. F. Franco, A. T. V. Contreras, H. Bolivar, and J. F. P. Gonzalez, "Criteria for decision-making in transportation logistics function," in *Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), 2015 International Conference on*, 2015, pp. 1-6.
- [77] M. Hesse, "Shipping news: the implications of electronic commerce for logistics and freight transport," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 36, pp. 211-240, 2002.
- [78] J. Trujillo, V. Amador, and Othoniel, "Metodología Híbrida ANHEPROMAP para formular una Estrategia Tecnológica – Caso Sector Petroquímico Secundario de México," in *Aplicación del saber: casos y experiencias*, Villahermosa - Tabasco (México), 2015, pp. 2374 - 2381.
- [79] A. Scarelli and L. Venzi, "Nonparametric statistics in multicriteria analysis," *Theory and Decision*, vol. 43, pp. 89-105, 1997/07/01 1997.
- [80] J. Trujillo, J. Vallejo, and M. Becerra, "Methodology Call-Center's Simulation – Study Case," *Studiositas*, vol. 5, p. 125, Diciembre 2010.
- [81] T. L. Saaty, "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, vol. 48, pp. 9-26, 1990.
- [82] S. J. R. Rabbani and S. Rahnemay Rabbani, *Decisions in Transportation with the Analytic Hierarchy Process*. Brazil: UFPB/CCT, 1996.

Biografía

J. Trujillo-Díaz, Docente e Investigador de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Magistra en Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Estudiante de doctorado en de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP).
ORCID: 0000-0001-6243-6393; ResearcherID Thomson Reuters: M-9683-2013