

A REVIEW OF DISCRETE MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS APPLIED TO THE PROJECT MANAGEMENT FIELD

Aragonés Beltrán, Pablo; Faus Ferrer, Jorge; Pérez Vázquez, Marina;
Romero Moruno, Begoña

Universitat Politècnica de València

Discrete multi-criteria decision-making methods (MCDM) are a valuable support for decision-making processes. These methods allow to integrate both quantitative and qualitative technical information and values and preferences of the stakeholders. The objective of this work is to review the application of the most important discrete MCDM methods, published in the scientific literature, on Project Management field.

To do this, the most recent scientific papers, published in recognized journals, which use different discrete MCDM methods applied to diverse fields of Project Management were identified. The reviewed papers are classified depending on its applications on Project Management field.

Keywords: Multicriteria Decision Making; Project Management; Decision Analysis

REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO (MCDM) DISCRETOS APlicados a la DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) discretos constituyen una valiosa ayuda en los procesos de toma de decisiones. Estos métodos permiten integrar información técnica cuantitativa y cualitativa, así como los valores y las preferencias de las partes involucradas. El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de los principales métodos MCDM descritos en la literatura científica aplicados al campo de la Dirección de Proyectos. Para ello, se identifican los artículos científicos más recientes publicados en revistas de reconocido impacto en los que se utilicen diferentes técnicas MCDM aplicadas a diversos ámbitos de la Dirección de Proyectos. Se realiza una clasificación de los mismos, en función de su aplicación específica en el ámbito de la Dirección de Proyectos.

Palabras clave: Toma de decisiones multicriterio; Dirección de proyectos; Análisis de decisiones

Correspondencia: aragones@dpi.upv.es

1. Introducción

La toma de decisiones en el contexto de un proyecto es una tarea compleja (Marques et al, 2010). Los directores de proyectos tienen que afrontar procesos de toma de decisión en los que las alternativas, los criterios de decisión y las partes interesadas, son numerosos y las interrelaciones entre ellos son extremadamente complicadas. Por ello la capacidad del Director del proyecto para tomar buenas decisiones es muy importante para el éxito del proyecto (Kamal et al, 2001)

El tipo de problemas típicos a los que se enfrenta el Director del proyecto son del tipo multicriterio discreto. En este tipo de problemas el responsable de la decisión (decisor) tiene que establecer sus preferencias entre un conjunto de alternativas, generalmente no muy numeroso, y tener en cuenta múltiples criterios en conflicto. Además, debe tener en cuenta las opiniones y puntos de vista de las partes interesadas. Ejemplos típicos son la selección de contratistas o la selección de cartera de proyectos.

Para ayudar al Director de Proyectos y su equipo a tomar decisiones como las planteadas anteriormente existen en la bibliografía diferentes técnicas basadas en el Análisis Multicriterio de Decisiones (conocido en inglés como, Multi Criteria Decision Analysis ,MCDA o también Multiple Decision Making, MCDM). Belton y Stewart (2002) definen MCDA como "un término amplio que incluye una colección de conceptos, métodos y técnicas que persiguen ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados". Una amplia revisión de estos métodos se puede encontrar en Figueira et al, (2005).

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la aplicación de las técnicas MCDA al campo de la Dirección de Proyectos. Existen diferentes estudios que revisan las aplicaciones de alguna o varias de estas técnicas en diferentes campos. Entre las más recientes cabe destacar (Kabir et al, 2013) que se centra en la aplicación de varias de las técnicas MCDM al campo de la gestión de infraestructuras. Wallenius et al (2008) hacen un estudio de las técnicas MCDM más utilizadas a nivel general desde 1968 hasta 2007. Vaida y Kumar, (2006) que se revisan el uso de la técnica AHP a diversos campos y Behzadian et al. (2010) analizan el uso de la familia de métodos PROMETHEE. En todos estos estudios los métodos MCDM discretos más citados son: AHP/ANP, PROMETHEE, TOPSIS.

En este trabajo se realiza una revisión de estos métodos MCDM aplicados al ámbito de la Dirección y Gestión de Proyectos. Se pretende identificar a qué tipos de problemas y a qué sub-áreas de la Dirección de Proyectos son más utilizados los métodos, así como qué técnicas son las más empleadas hasta el momento.

2. Metodología de investigación

A continuación se realiza una breve descripción de los cuatro métodos de MCDM sobre los que se basará la búsqueda bibliográfica y el estudio:

- AHP (Analytic Hierarchy Process) fue propuesto por Th. Saaty en 1980. Es una teoría de la medida de intangibles. Se basa en el hecho de que la complejidad inherente a todo proceso MCDM se puede resolver mediante la descomposición jerárquica del problema en su objetivo (goal), criterios y sub-criterios de decisión y alternativas. En cada nivel jerárquico se le pide al decisor que establezca las preferencias entre los elementos del mismo nivel (criterios o alternativas) mediante comparaciones pareadas. Para valorar la intensidad de estas preferencias se utiliza una escala de comparación que adopta valores entre 1 y 9. Las matrices generadas son recíprocas y a partir de los valores que da el decisor se calculan las prioridades de los elementos. Estas prioridades se agregan de modo aditivo para obtener una

prioridad final de las alternativas. Todos los detalles del método se pueden encontrar en (Saaty, 1980) y (Saaty, 1994).

- ANP (Analytic Network Process). Es una generalización de AHP. Se utiliza para abordar problemas de decisión más complejos en los que los elementos del problema (criterios y alternativas) se agrupan y se identifican interacciones e influencias entre ellos, formando una red de influencias. Estas influencias se cuantifican mediante comparaciones pareadas cuyas prioridades se introducen en supermatrices, a partir de las cuales se calculan las preferencias finales. Más detalles en (Saaty, 2001).
- TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Este método se basa en establecer unas alternativas ideal y antiideal que se escogen con los mejores y peores valores de preferencia de las alternativas para cada criterio. La ordenación de las alternativas se calcula mediante un índice que tiene en cuenta la distancia euclídea más corta a la solución ideal y la más lejana a la solución antiideal. El método originariamente fue propuesto por Hwang y Yoon en 1981. (Cheng et al., 2002).
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations). Se trata de una familia de métodos, aunque los más utilizados son PROMETHEE I y II. Este método analiza las preferencias del decisor comparando las alternativas entre sí dos a dos, teniendo en cuenta las valoraciones que cada alternativa tiene para cada criterio. En cada comparación cuantifica la fuerza, basada en su peso, que tiene cada criterio en el que una alternativa es mejor que la otra. Para establecer esa fuerza introduce unas funciones que tienen en cuenta umbrales de indiferencia y de preferencia que permitan establecer con mayor o menor claridad las preferencias del decisor. Fue propuesto en 1986 por Brans, Vincke y Mareschal (Brans et al., 1986)

La investigación bibliográfica se ha centrado en las dos bases de datos de literatura científica más importantes: Web of Science y Scopus. Sólo se han considerado artículos. La búsqueda se ha realizado del siguiente modo:

1. En la Web of Science se han identificado diferentes revistas en las que se publican artículos del ámbito “Project Management”. Estas revistas han sido:
 - International Journal of Project Management
 - IEEE Transactions of Engineering Management.
 - Journal of Management in Engineering.
 - Project Management Journal.
 - International Journal of Fuzzy Systems.
 - Journal of Business, Economics and Management.
 - Journal of Product Innovation Management.
 - Journal of Construction Engineering and Management.

En estas revistas las palabras clave han sido: “Decision making”, “AHP”, “ANP”, “TOPSIS”, “PROMETHEE” y “MCDM”. También se han consultado las siguientes revistas del campo “Operation Research & Management Science” siguientes:

- European Journal of Operational Research
- OMEGA International Journal of Management Science
- Journal of the Operational Research Society

En estas revistas se ha buscado por las palabras clave “Project Management” y se ha refinado la búsqueda por: “AHP”, “ANP”, “TOPSIS”, “PROMETHEE” y “MCDM”.

2. En Scopus se ha buscado primero por las palabras clave “Project Management” y a continuación “decisión making”. También por las palabras clave asociadas a cada método: “AHP”, “ANP”, “TOPSIS”, “PROMETHEE” y “MCDM”.

La Tabla 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos en las sucesivas búsquedas, de modo que el número total de artículos consultados es 157. En el anexo 1 se citan los artículos finalmente consultados y que han permitido obtener las conclusiones de este trabajo.

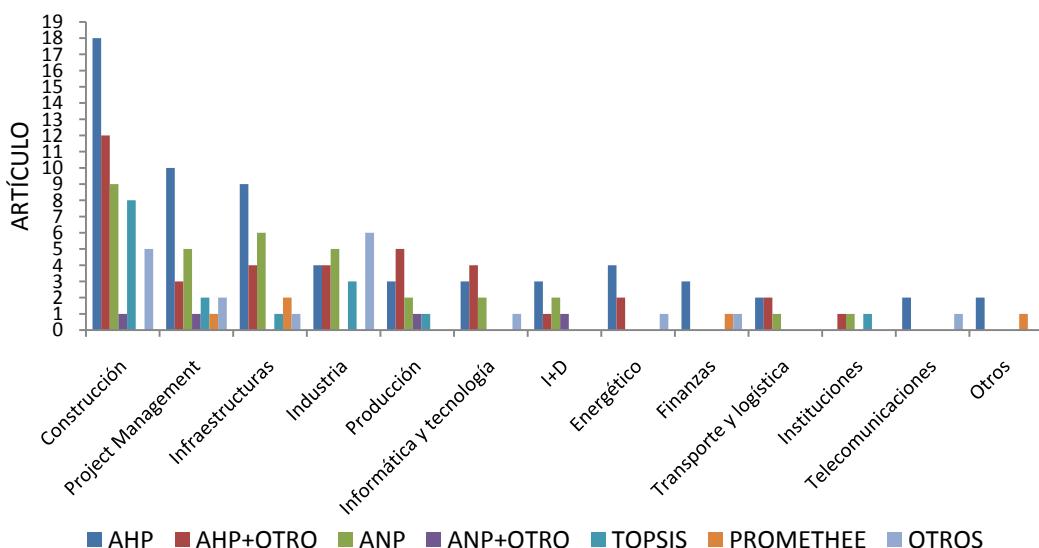
Tabla 1. Resultados de las búsquedas

	Nº	Seleccionados	Válidos (no repetidos)
Nº de Artículos totales encontrados	10201	260	157
Nº de Artículos totales con "Decision Making"	3809	31	2
Nº de Artículos totales con "AHP"	222	134	93
Nº de Artículos totales con "ANP"	61	44	33
Nº de Artículos totales con "TOPSIS"	59	23	18
Nº de Artículos totales con "PROMETHEE"	21	8	4
Nº de Artículos totales con "MCDM"	52	14	4

3. Resultados

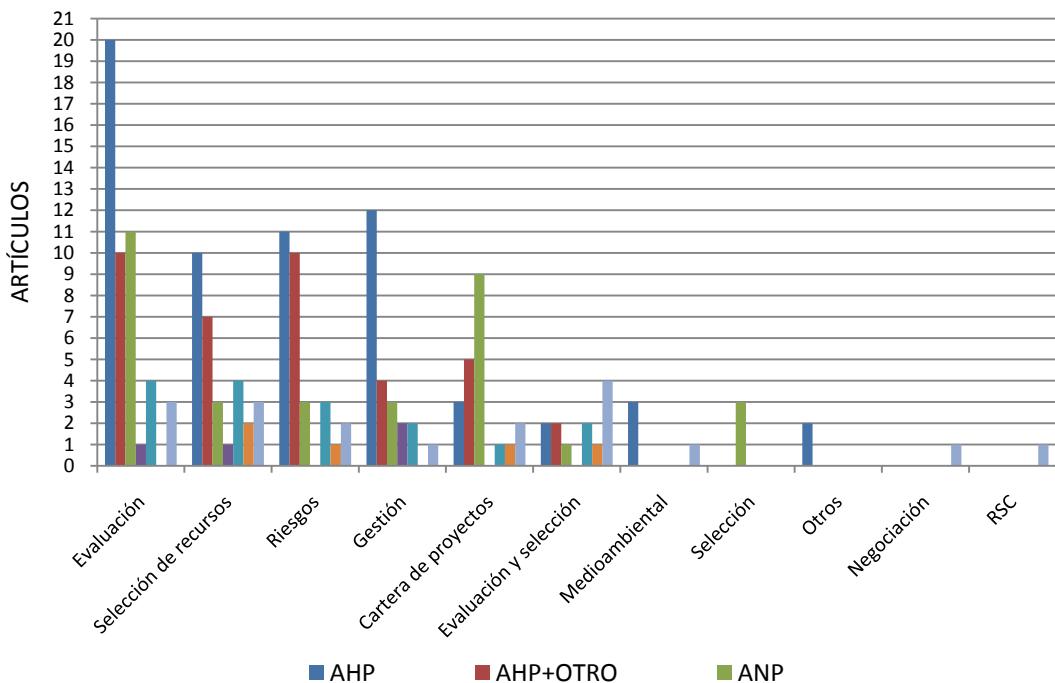
En el Gráfico 1 se contabilizan el número de veces que se ha utilizado cada método MCDM, según el área o ámbito al que corresponde su desarrollo en los 157 artículos seleccionados del proceso búsqueda. Las áreas que se observaron un mayor uso de las herramientas de MCDM son: Construcción, Project Management, Infraestructuras, Industria, Producción, Informática y tecnología, I + D, Energético, Finanzas, Transporte y logística, Instituciones y Telecomunicaciones.

Gráfico 1. Número de artículos encontrados por área y método utilizado



En el Gráfico 2 se contabilizan el número de veces que se ha utilizado cada método MCDM, según el tipo de análisis que se realiza en cada artículo de los 157 seleccionados tras la búsqueda.

Gráfico 2. Número de artículos encontrados por tipo de análisis y método utilizado



4. Conclusiones

Tras el análisis de los resultados obtenidos, se puede decir que la aplicación de herramientas MCDM tiene su máxima utilización en proyectos que se desarrollan en el área de Construcción (30% de los artículos consultados). Luego existen una serie proyectos en los sectores de Infraestructuras (14%), Project Management, propiamente dicho, (14%), Industria (11%). En el Gráfico 3 se muestra el porcentaje de artículos que usan MCDM según las áreas en las que se desarrollan los proyectos.

En cuanto al tipo de problema en el que se usan las herramientas MCDM (Gráfico 4), según los artículos analizados en el trabajo, la mayor parte de estas aplicaciones se ha utilizado para la Evaluación de diferentes criterios, alternativas, proyectos, diseños, viabilidad de proyectos, y otros (44 artículos consultados). En segundo lugar se situarían los dedicados a la identificación, gestión y evaluación de Riesgos (29).

En un tercer escalón podríamos establecer los dedicados a la selección de recursos como podría ser la elección de un contratista o suministrador, procesos de recursos humanos, selección de equipamientos (25); y a la Gestión de planificaciones, programaciones, planes de producción, de desarrollo de productos y otros (24);. Muy cerca de estos se encontraría la utilización de MCDM para la selección de cartera de proyectos (18).

Gráfico 3. Total artículos con uso de MCDM según área

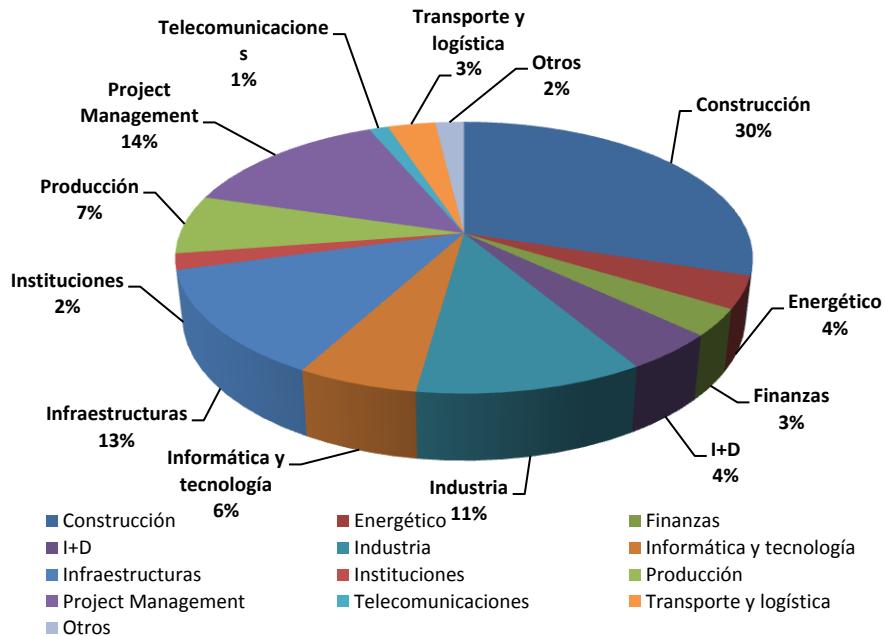
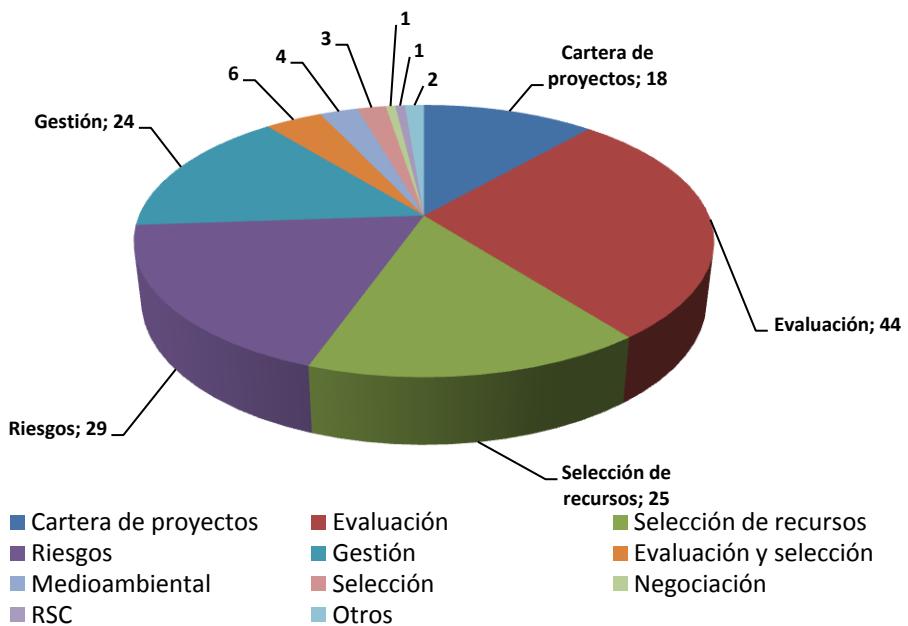
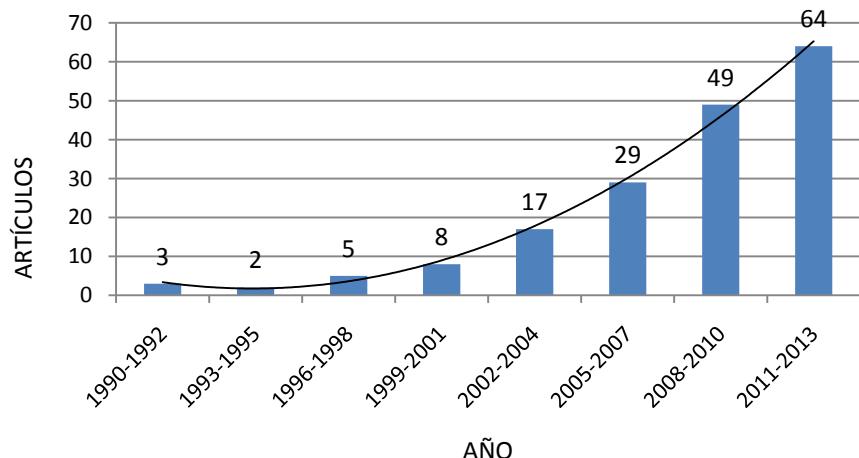


Gráfico 4. Total de artículos con uso de MCDM según tipo de análisis



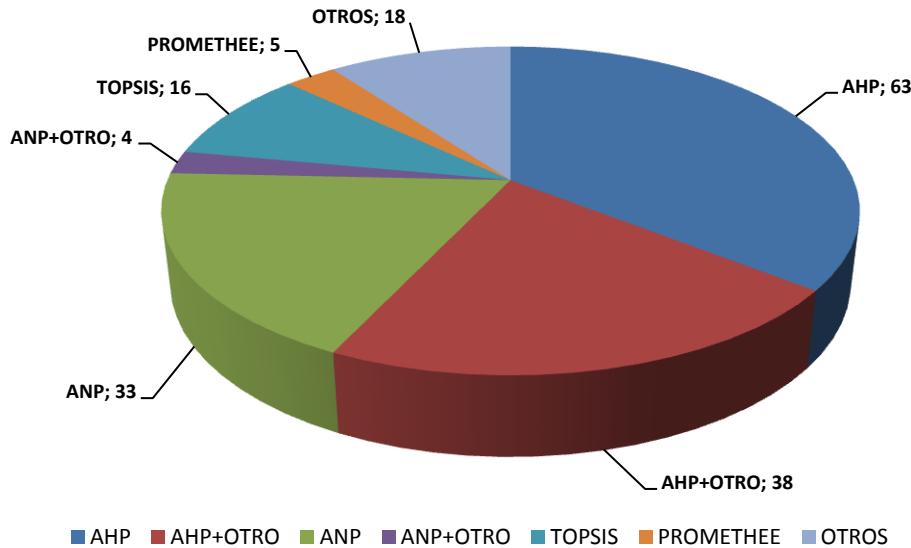
Por lo que se refiere al uso de las MCDM desde hace un tiempo significativo, en el Gráfico 5 podemos observar cómo su utilización se ha incrementado de forma prácticamente exponencial desde 1990.

Gráfico 5. Uso de MCDM por año



Para finalizar, respecto a los métodos de toma de decisión multicriterio analizados en el presente trabajo, el AHP (Analytic Hierarchy Process) se utiliza con una clara ventaja respecto a los demás. La utilización de éste en combinación con otros métodos quedaría prácticamente emparejado con la uso del ANP (Analytic Network Process). En un tercer lugar se encontraría el método TOPSIS. Por último quedaría la utilización del ANP en combinación con otros métodos, el PROMETHEE y un grupo minoritario compuesto por herramientas menos conocidas como DEMATEL, VICKOR o COPRAS. Todos estos resultados finales se encuentran detallados en el Gráfico 6.

Gráfico 6. Utilización de los MCDM en los artículos



5. Referencias

- Behzadian, M; Kazemzadeh, R.B; Albadvi, A; Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200 198–215.
Belton, V; Stewart, B. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated

- Approach. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Brans, J.P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE Method. *Eur. J. Opl. Res.* 24, 228-238.
- Chen, S., Chan, C.W., Huang, G.H., 2002. Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management. *Journal of environmental science and health. Part A* 37 (6), 975-990.
- Figueira, J.; Greco, S; Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Surveys*. Springer Science+Business Media, Inc., New York.
- Kabir, G; Sadiq R; Tesfamariam, S. (2013). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*.
- Kamal, M., Al-Harbi, A. (2001), Application of the AHP in Project management. *International Journal of Project Management* 19: 19-27.
- Marqués G., Gourc, D., Lauras, M. (2010). Multi-criteria performance analysis for decisión making in project management. *International Journal of Project Management* 29: 1057-1069.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. Mc Graw-Hill.
- Saaty, T.L., 1994. *Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP*. RWS Publications. Pittsburgh.
- Saaty, T.L., 2001. *Decision making with independence and feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications. Pittsburgh.
- Vaidya, O.S; Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169 1-29.
- Wallenius, J; Dyer, J.S; Fishburn, P.C; Steuer, R.E; Zonts, S; Deb, K. (2008). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Science* 54(7):1336-1349

1. Anexo: Artículos consultados en el estudio.

- Abdelgawad, M; Fayek, A.R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Abdelkhalek, H.A. (2005). Determination and weighting of criteria that affect BOT tenders using AHP theory. *Journal of Engineering and Applied Science*.
- Abudayyeh, O; Zidan, S.J; Yehia, S; Randolph, D. (2007). Hybrid prequalification-based, innovative contracting model using AHP. *Journal of Management in Engineering*.
- Abutaleb, M.F; Mareschal, B. (1995). Water-resources planning in the middle-east – application of the PROMETHEE-V. *European Journal of Operational Research*.
- Aghdaie, M.H; Zolfani, S.H; Zavadskas, E.K. (2013). Market segment evaluation and selection based on application of fuzzy AHP and COPRAS-G methods. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Al Khalil, M.I. (2002). Selecting the appropriate project delivery method using AHP. *International Journal of Project Management*.
- Al-Harbi, K.M.A.S. (2000). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*.
- Aliahmadi, A; Sadjadi, S.J; Jafari-Eskandari, M. (2011). Design a new intelligence expert decision making using game theory and fuzzy AHP to risk management in design, construction, and operation of tunnel projects (case studies: Resalat tunnel). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Alidi, A.S. (1996). Use of the analytic hierarchy process to measure the initial viability of industrial projects. *International Journal of Project Management*.

- Al-Rashdan, D; Al-Kloub, B; Dean, A; Al-Shemmeri, T. (1999). Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. *European Journal of Operational Research*.
- Al-Tabtabai, H.M; Thomas, V.P. (2004). Negotiation and resolution of conflict using AHP: An application to project management. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Angelou, G.N; Economides, A.A. (2008). A decision analysis framework for prioritizing a portfolio of ICT infrastructure projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Ayağ, Z; Özdemir, R.G. (2009). A hybrid approach to concept selection through fuzzy analytic network process. *Computers and Industrial Engineering*.
- Azadeh, A; Seifoory, M; Abbasi, M. (2010). Integration of simulation and fuzzy multi-attribute decision making for modelling and assessment of fuzzy parameters. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*.
- Azimi, R; Yazdani-Chamzini, A; Fouladgar, M.M.; Zavadskas, E.K; Basiri, MH. (2011). Ranking the strategies of mining sector through ANP and TOPSIS in a SWOT framework. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Bard, J.F; deSilva, A; Bergevin, A. (1997). Evaluating simulation software for postal service use: Technique versus perception. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Begićević, N; Divjak, B; Hunjak, T. (2010). Decision-making on prioritization of projects in higher education institutions using the analytic network process approach. *Central European Journal of Operations Research*.
- Bilgen, B; Şen, M. (2012). Project selection through fuzzy analytic hierarchy process and a case study on Six Sigma implementation in an automotive industry. *Production Planning and Control*.
- Brent A.C; Rogers, D.E.C; Ramabbitsa-Siimane, T.S.M; Rohwer, M.B. (2006). Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimize infection risks in developing countries. *European Journal of Operational Research*.
- Büyüközkan, G; Öztürkcan, D. (2010). An integrated analytic approach for Six Sigma project selection. *Expert Systems with Applications*.
- Cai, L; Guo, S.S; Zhang, C.J. (2006). Evaluation system and actualization of selection supplier in ERP enterprise. *Journal of Donghua University*.
- Calantone, RJ; Di Benedetto, CA; Schmidt, JB. (1999). Using the analytic hierarchy process in new product screening. *Journal of Product Innovation Management*.
- Cebi, S. (2011). Developing a fuzzy based decision making model for risk analysis in construction project. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*.
- Chan, HK; Wang, XJ; White, GRT; Yip, N. (2013). An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Chang, A.P; Lin, J.D; Chou, C.C. (2013). Analytic Network Process (ANP)-selection of the best alternative in the promotion of participation in infrastructure projects. *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- Chang, C.W; Chen, C.C. (2010). Development of expert decision model to monitor precision of solar silicon wafer machine line. *Computers and Industrial Engineering*.
- Chang, C.W; Wu, C.R; Chen, H.C. (2009). Developing a project evaluation and testing model to assess stable photovoltaic slicing machine. *Journal of Testing and Evaluation*.
- Chen, C.T; Pai, P.F; Hung, W.Z. (2013). A New Decision-Making Process for Selecting Project Leader Based on Social Network and Knowledge Map. *International Journal of Fuzzy Systems*.
- Chen, J.H; Hsu, S.C; Luo, Y.H; Skibniewski, M.J. (2012). Knowledge Management for Risk Hedging by Construction Material Suppliers. *Journal of Management in Engineering*.
- Chen, S.H; Lee, H.T. (2007). Performance evaluation model for project managers using managerial practices. *International Journal of Project Management*.

- Chen, T.T; Wu, T.C. (2012). Construction project partnering using fuzzy based decision making methodology. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers*.
- Chen, W.T; Chang, PY; Huang, Y.H. (2010). Assessing the overall performance of value engineering workshops for construction projects. *International Journal of Project Management*.
- Chen, Z; Li, H; Ren, H; Xu, Q; Hong, J.(2011). A total environmental risk assessment model for international hub airports. *International Journal of Project Management*.
- Chen, Z; Li, H; Ross, A; Khalfan, M.M.A; Kong, S.C.W. (2008). Knowledge-driven ANP approach to vendors evaluation for sustainable construction. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Cheng, E.W.L; Li, H. (2005). Analytic network process applied to project selection. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Cheng, E.W.L., Li, H. (2004). Contractor selection using the analytic network process. *Construction Management and Economics*.
- Cheung, SO; Suen, HCH; Ng, ST; Leung, MY. (2004) Convergent views of neutralsand users about alternative dispute resolution. *Journal of Management in Engineering*.
- Chin, K.S; Xu, D.I; Yang, J.B; Ping-Kit Lam, J. (2008). Group-based ER-AHP system for product projectscreening. *Expert Systems with Applications*.
- Choi, M; Brand, M; Kim, J. (2009). A feasibility evaluation on the outsourcing of quality testing and inspection. *International Journal of Project Management*.
- Chou, J.S. (2008). Applying AHP-Based CBR to Estimate Pavement Maintenance Cost. *Tsinghua Science and Technology*.
- Cooksey, S.R; Jeong, H.S; Chae, M.J.(2011). Asset Management Assessment Model for State Departments of Transportation. *Journal of Management in Engineering*.
- Dey, P.K. (2010). Managing project risk using combined analytic hierarchy process and risk map. *Applied Soft Computing Journal*.
- Dey, P.K. (2002). Benchmarking project management practices of Caribbean organizations using analytic hierarchy process. *Benchmarking*.
- Dey, P.K; Tabucanon, M.T; Ogunlana, S.O. (1996). Petroleum pipeline construction planning: A conceptual framework. *International Journal of Project Management*.
- Dey, P.K. (2004). Decision support system for inspection and maintenance: A case study of oil pipelines. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Dikmen, I; Birgonul, M.T; Ozorhon, B. (2007). Project appraisal and selection using the analytic network process. *Canadian Journal of Civil Engineering*.
- El-Abbasy, MS; Zayed, T; Alzraiee, H; Abouhamad, M; Ahmed, M. (2013). Contractor Selection Model for Highway Projects Using Integrated Simulation and Analytic Network Process. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- El-Sayegh, S.M. (2009). Multi-criteria decision support model for selecting the appropriate construction management at risk firm. *Construction Management and Economics*.
- Enea, M; Piazza, T. (2004). Project selection by constrained fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*.
- Eshtehardian, E; Ghodousi, P; Bejanpour, A. (2013). Using ANP and AHP for the supplier selection in theconstruction and civil engineering companies; Case study of Iranian company. *KSCE Journal of Civil Engineering*.
- Goedert, J.D; Sekpe, V.D. (2013). Decision Support System-Enhanced Scheduling in Matrix Organizations Using the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Goldenberg, M; Shapira, A. (2007). Systematic evaluation of construction equipment alternatives: Case study. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Gómez-Navarro, T; García-Melón, M; Acuña-Dutra, S; Díaz-Martín, D. (2009). An environmental pressure index proposal for urban development planning based on the analytic network process. *Environmental Impact Assessment Review*.

- Greiner, MA; Fowler, JW; Shunk, DL; Carlyle, WM; McNutt, RT. (2003). A hybrid approach using the analytic hierarchy process and integer programming to screen weapon systems projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Gunhan, S; Arditi, D. (2005). International expansion decision for construction companies. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Gunhan, S; Arditi, D. (2005). Factors affecting international construction. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Gupta, A; Choudhry, A; Dey, V. (2009). Analytic hierarchy process as multi criteria Decision making for urban environmental impact assessment. *TIDEE Teri Information Digest on Energy and Environment*.
- Han, C.F; Chen, J.Y. (2005). Comprehensive evaluation of large infrastructure project plan with ANP. *Journal of China University of Mining and Technology*.
- Hosny, O; Nassar, K; Esmail, Y. (2013). Prequalification of Egyptian construction contractors using fuzzy-AHP models. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Hsieh, T.Y; Lu, S.T; Tzeng, G.H. (2004). Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International Journal of Project Management*.
- Hsu, T.H. (1999). Public transport system project evaluation using the analytic hierarchy process: A fuzzy Delphi approach. *Transportation Planning and Technology*.
- Hu, J.W.S; Hu, Y.C; Bein, H.C. (2011). Constructing a Corporate Social Responsibility Fund Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making. *International Journal of Fuzzy Systems*.
- Huang, C.C; Chu, P.Y; Chiang, Y.H. (2008). A fuzzy AHP application in government sponsored R&D project selection. *OMEGA International Journal of Management Science*.
- Hung, C.L; Chou, J.C.L. (2013). Resource Commitment, Organizational Diversity, and Research Performance: A Case of the National Telecommunication Program in Taiwan. *Project Management Journal*.
- Jia, H; Zhou, B; Liu, G. (2009). Advantage analysis of risk model based on analytic hierarchy process. *Xinan Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Southwest Jiaotong University*.
- Jiang, L.F; Shi, Y.W; Yang, S.Q; Li, X.Q; Xu, H. (2007). Study of project post evaluation based on analytic network process. *Shenzhen Daxue Xuebao (Ligong Ban)/Journal of Shenzhen University Science and Engineering*.
- Jung, U; Seo, D.W. (2010). An ANP approach for R&D project evaluation based on interdependencies between research objectives and evaluation criteria. *Decision Support Systems*.
- Kaka, A; Wong, C; Fortune, C; Langford, D. (2008). Culture change through the use of appropriate pricing systems. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Kao, H.P; Wang, B; Dong, J; Ku, K.C. (2006). An event-driven approach with makespan/cost tradeoff analysis for project portfolio scheduling. *Computers in Industry*.
- Khazaeni, G; Khanzadi, M; Afshar, A. (2012). Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation. *International Journal of Project Management*.
- Khazaeni, G; Khanzadi, M.; Afshar, A. (2012). Optimum risk allocation model for construction contracts: Fuzzy TOPSIS approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*.

- Kop, Y; Ulukan, H.Z; Gürbüz, T. (2011). Evaluating the failure risk level of an enterprise resource planning project using analytic network process in fuzzy environment. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*.
- Korpela, J; Tuominen, M. (1996). Benchmarking logistics performance with an application of the analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Kumar, N; Srivathsan, K.R. (2006). Enterprise risk evaluation and continuous mitigation using the fuzzy-mutiattribute decision making-A conceptual approach. *Journal of the Indian Institute of Science*.
- Kuo, Y.C; Lu, S.T. (2013). Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. *International Journal of Project Management*.
- Kwak, N.K; Lee, C.W. (1998). A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning. *European Journal of Operational Research*.
- Lam, K.C; Lam, M.C.K; Wang, D. (2008). MBNQA-oriented self-assessment quality management system for contractors: Fuzzy AHP approach. *Construction Management and Economics*.
- Larson, C.D; Forman, E.H. (2007). Application of analytic hierarchy process to select project scope for videologging and pavement condition data. *Transportation Research Record*.
- Lee, A.H.I; Chen, H.H; Tong, Y. (2008). Developing new products in a network with efficiency and innovation. *International Journal of Production Research*.
- Lee, YH; Lee, YH. (2012). Integrated assessment of competitive-strategy selection with an analytical network process. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Lee, Y.W; Ahn, B.H. (1991). Static valuation of combat force potential by the analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Li, F; Phoon, K.; Du, X; Zhang, M. (2013). Improved AHP method and its application in risk identification. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Li, W.Q; Li, Y; Xiong, Y. (2009). Evaluation model and its application for overall performance of product design project. *Sichuan Daxue Xueb ao (Gongcheng Kexue Ban)/Journal of Sichuan University*.
- Li, Y; Liu, XD; Chen, Y. (2012). Supplier Evaluation and Selection Using Axiomatic Fuzzy Set and DEAMethodology in Supply Chain Management. *International Journal of Fuzzy Systems*.
- Liang, C; Li, Q. (2008). Enterprise information system project selection with regard to BOCR. *International Journal of Project Management*.
- Liang, W.Y. (2003). The analytic hierarchy process in project evaluation: An R&D case study in Taiwan. *Benchmarking*.
- Liao, H.C; Chen, Y.K; Chang, H.H. (2011). The APP strategies selected in SCM of the hospital. *International Journal of Services, Technology and Management*.
- Lin, C.T; Wu, C.R; Chen, H.C. (2011). Combining gray relation and analytical hierarchy process concepts to develop a decision support system of supply chain project management. *Journal of Testing and Evaluation*.
- Liu, H.Y; Cai, L.Y; Wu, X.J. (2008). An entropy-weight-based TOPSIS method and its application to evaluating bidding for engineering construction projects. *Binggong Xueb ao/Acta Armamentarii*.

- Liu, J.L; Li, QX; Wang, Y.H. (2013). Risk analysis in ultra deep scientific drilling project - A fuzzy syntheticevaluation approach. *International Journal of Project Management*.
- Lu, M.T; Tzeng, G.H; Tang, L.L. (2013). Environmental Strategic Orientations for improving Green innovation Performance in Fuzzy Environmental - Using New Fuzzy Hybrid MCDM Model. *International Journal of Fuzzy Systems*.
- Macura, D; Bošković, B; Bojović, N; Milenković, M. (2011). A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP. *International Journal of Transport Economics*.
- Madadi, M; Iranmanesh, H. (2012). A management oriented approach to reduce a project duration and its risk (variability). *European Journal of Operational Research*.
- Mafakheri, F; Dai, L; Slezak, D; Nasiri, F. (2007). Project delivery system selection under uncertainty: Multicriteria multilevel decision aid model. *Journal of Management in Engineering*.
- Mahdi, I.M; Alreshaid, K. (2005). Decision support system for selecting the proper project delivery method using analytical hierarchy process. *International Journal of Project Management*.
- Malekly, H; Meysam Mousavi, S; Hashemi, H. (2010). A fuzzy integrated methodology for evaluating conceptual bridge design. *Expert Systems with Applications*.
- Mavrotas, G; Diakoulaki, D; Caloghirou, Y. (2004). Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*.
- McIntyre, C; Kirschenman, M; Seltveit, S. (1999). Applying decision support software in selection of division director. *Journal of Management in Engineering*.
- Meade, LA; Presley, A. (2002). R&D project selection using the analytic network process. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Ming-Chu, ; Jui-Min, H; Cheng-Hsiung, T. (2009). Fuzzy analytical approach to prioritize design requirements in quality function deployment. *Journal of Quality*.
- Mollaghasemi, M; Petedwards, J; Gupta, U. (1995). A multiple criteria buy versus lease analysis for government contracts. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Mota, C.M.d.M; de Almeida, A.T. (2012). A multicriteria decision model for assigning priority classes to activities in project management. *Annals of Operations Research*.
- Mulder, J; Brent, A.C. (2006). Selection of sustainable rural agriculture projects in South Africa: Case studies in the landcare programme. *Journal of Sustainable Agriculture*.
- Muralidhar, K; Santhanam, R; Wilson, R.L. (1990). Using the analytic hierarchy process for information system project selection. *Information and Management*.
- Mustafa, MA; Albahar, JF. (1991). Project risk assessment using the analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Nieto-Morote, A; Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*.
- Nowak, M. (2011). Interactive multicriteria decision aiding under risk - methods and applications. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Omkarprasad S. Vaidya, Sushil Kumar. (2004). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*.
- Ozorhon, B; Dikmen, I; Birgonul, M.T. (2007). Using analytic network process to predict the performance of international construction joint ventures. *Journal of Management in Engineering*.

- Pinter, U; Pšunder, I. (2013). Evaluating construction project success with use of the M-TOPSIS method. *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Pirdashti, M; Ghadi, A; Mohammadi, M; Shojatalab, G. (2009). Multi-criteria decision making selection model with application to chemical engineering management decisions. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Rafiei, H; Rabbani, M. (2009). Order partitioning in hybrid MTS/MTO contexts using fuzzy ANP. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Raisbeck, P; Tang, L.C.M. (2013). Identifying design development factors in Australian PPP projects using an AHP framework. *Construction Management and Economics*.
- Raisinghani, MS; Meade, L; Schkade, LL. (2007). Strategic e-business decision analysis using the analytic network process. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Raju, K.S; Pillai, C.R.S. (1999). Multicriterion decision making in river basin planning and development. *European Journal of Operational Research*.
- Ray, A; Sarkar, B; Sanyal, S. (2010). The TOC-Based Algorithm for Solving Multiple Constraint Resources. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Razmi, J; Sangari, M.S; Ghodsi, R. (2009). Developing a practical framework for ERP readiness assessment using fuzzy analytic network process. *Advances in Engineering Software*.
- San Cristóbal, J.R. (2012). Contractor selection using multicriteria decision-making methods. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- San Cristobal, J.R. (2013). Critical Path Definition Using Multicriteria Decision Making: PROMETHEE Method. *Journal of Management in Engineering*.
- Shahhosseini, V; Sebt, M.H. (2011). Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects. *Scientia Iranica*.
- Shang, J.S; Tjader, Y; Ding, Y. (2004). A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Shapira, A; Goldenberg, M. (2005). AHP-based equipment selection model for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Shin, C.O; Yoo, S.H.; Kwak, S.J. (2007). Applying the analytic hierarchy process to evaluation of the national nuclear R&D projects: The case of Korea. *Progress in Nuclear Energy*.
- Strang, K.D. (2011). Portfolio selection methodology for a nuclear project. *Project Management Journal*.
- Sun, Y.H; Ma, J; Fan, Z.P; Wang, J. (2008). A group decision support approach to evaluate experts for R&D project selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Tavana, M; Sodenkamp, M.A. (2010). A fuzzy multi-criteria decision analysis model for advanced technology assessment at Kennedy Space Center. *Journal of the Operational Research Society*.
- Tohumcu, Z; Karasakal, E. (2010). R&D Project Performance Evaluation With Multiple and Interdependent Criteria. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Tran, T.X.M; Malano, H.M; Thompson, R.G. (2003). Application of the analytic hierarchy process to prioritize irrigation asset renewals: The case of the La Khe irrigation scheme, Vietnam. *Engineering, Construction and Architectural Management*.

- Tsai, W.H; Chou, W.C; Hsu, W. (2009). The sustainability balanced scorecard as a framework for selecting socially responsible investment: an effective MCDM model. *Journal of the Operational Research Society*.
- Tüysüz, F; Kahraman, C. (2006). Project risk evaluation using a fuzzy analytic hierarchy process: An application to information technology. *International Journal of Intelligent Systems*.
- Ugwu, O.O; Kumaraswamy, M.M; Wong, A; Ng, S.T. (2006). Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1. Development of indicators and computational methods. *Automation in Construction*.
- Varajão, J; Cruz-Cunha, M.M. (2013). Using AHP and the IPMA Competence Baseline in the project managers selection process. *International Journal of Production Research*.
- Vidal, L.A; Marle, F; Bocquet, J.C. (2011). Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert Systems with Applications*.
- Vidal, L.A; Marle, F; Bocquet, J.C. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*.
- Wachowicz, T. (2010). Decision support in software supported negotiations. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Wan, J; Liang, L; Wan, D. (2013). Research on risk factors of ICT commercialization with grounded theory. *Journal of Computers*.
- Wang, D.C; Wang, L.C. (2011). Using analytic network process to analyze problems for implementing turn-key construction projects in Taiwan. *Journal of Central South University of Technology*.
- Wang, D.C; Wang, L.C. (2011). Study on implementing derivative problems of design-build construction projects in Taiwan. *Shanghai Jiaotong Daxue Xueb ao/Journal of Shanghai Jiaotong University*.
- Wang, K; Wang, C.K; Hu, C. (2005). Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Wang, Y.M; Chin, K.S. (2008). A linear goal programming priority method for fuzzy analytic hierarchy process and its applications in new product screening. *International Journal of Approximate Reasoning*.
- Wang, Y.M; Chin, K.S; Poon, G.K.K. (2008). A data envelopment analysis method with assurance region for weight generation in the analytic hierarchy process. *Decision Support Systems*.
- Wey, W.M. (2011). A study of the built environment design elements embedded into the multiple criteria strategic planning model for an urban renewal. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Wu, Y; Bian, Q. (2012). Research on the drivers of cost control in hydropower construction project. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*.
- Xiao, J; Luo, F.Z; Wang, C.S. (2004). An interval-based method for evaluation and decision-making of power system planning projects. *Power System Technology*.
- Zavadskas, E.K; Sušinskas, S; Daniunas, A; Turskis, Z; Sivilevičius, H. (2012). Multiple criteria selection of pile-column construction technology. *Journal of Civil Engineering and Management*.

- Zavadskas, E.K; Vilutiene, T; Turskis, Z; Tamosaitiene, J. (2010). Contractor selection for construction works by applying SAW-G and TOPSIS grey techniques. *Journal of Business, Economics and Management*.
- Zeng, J; An, M; Smith, N.J. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*.
- Zhang, G; Zou, P.X.W. (2007). Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in China. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Zorriassatine, F; Bagherpour, M. (2009). A new method for estimating Project Weight Values. *Journal of Applied Sciences*.
- Zou, P.X.W. , Li, J. (2010). Risk identification and assessment in subway projects: Case study of Nanjing Subway Line 2. *Construction Management and Economics*.