

WWW.MULTICRITERIO.ES

XIII

REUNIÓN

DEL GRUPO ESPAÑOL DE
DECISIÓN MULTICRITERIO

23 JULIO 2021
DONOSTIA - SAN SEBASTIÁN

ORGANIZA:



GRUPO ESPAÑOL DE DECISIÓN MULTICRITERIO

COLABORAN:



© DISEÑO GRÁFICO DE LA UPM





RESÚMENES DE LAS COMUNICACIONES Y PÓSTERS

XIII REUNIÓN DEL GRUPO ESPAÑOL DE DECISIÓN MULTICRITERIO

**Facultad de Economía y Empresa
Universidad del País Vasco /Euskal Herriko Unibertsitatea**

San Sebastián, 23 de Julio de 2021



COMUNICACIONES ORALES I
Moderadora: Amparo Mármol Conde

- Mejora de la incompatibilidad y la inconsistencia en un contexto local de decisión en grupo con AHP** _____ **8**
Juan Aguarón, María Teresa Escobar, José María Moreno-Jiménez, Alberto Turón
- Un modelo de selección de carteras basado en la predicción de precios** _____ **9**
Enriqueta Vercher, Ana Corberán, José V. Segura, José D. Bermúdez
- Approximating the optimum portfolio for n-objectives with multiobjective evolutionary algorithms** _____ **10**
Adolfo Hilario-Caballero, Ana Garcia-Bernabeu, David Pla-Santamaría, José Vicente Salcedo
- Analysis of multidimensional phenomena with a multicriteria composite performance interval** _____ **11**
Ana M. Ana García-Bernabeu, Adolfo Hilario-Caballero, Fernando Mayor, Marisa Vercher
- Mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos mediante una evaluación multicriterio de proveedores** _____ **12**
Marina Segura, Concepción Maroto, Baldomero Segura, José Carlos Casas-Rosal

SESIÓN DE PÓSTERS

- Indicadores sintéticos como herramientas de toma de decisión: uso conjunto de esquemas compensatorio y no compensatorio** _____ **13**
Samira El Gibari, José M. Cabello, Trinidad Gómez, Francisco Ruiz
- Desarrollo, paz y gasto militar en los diferentes países de la OTAN. Un enfoque bajo programación multiobjetivo** _____ **14**
Patricio Vallejo-Rosero, M. Carmen García-Centeno, Laura Delgado-Antequera, Osvaldo Fosado y Rafael Caballero
- Propuesta de indicador sintético como contribución a la medición de la sostenibilidad ambiental: caso de estudio Cuba** _____ **15**
Daiana Ivis Suárez Ordaz, Ignacio Contreras Rubio, Víctor Ernesto Pérez León.
- Goal Programming as a tool for the assessment of core allocations in multiple scenario cooperative games** _____ **16**
Diego Borrero Molina, Miguel Ángel Hinojosa Ramos, Amparo M. Mármol Conde.
- Benefits and damage perception of pollutant emissions. A bicriteria game** _____ **17**
Asunción Zapata, Luisa Monroy, M. Ángeles Caraballo, Amparo M. Mármol.

Recursos con precios por tramos en optimización multiobjetivo. Una generalización del método De Novo_____18

Mariano Jiménez López, Mar Arenas Parra, Amelia Bilbao Terol, Manuel Díaz- Madroñero.

Optimización en la definición de territorios para visitantes médicos de una empresa farmacéutica_____19

Antonio Jiménez, Alfonso Mateos, Luis Miguel del Pozo, Beatriz Campillo

Propuesta de índice de competitividad turística para los destinos de Centro América y el Caribe_____20

Víctor E. Pérez León, Flor M^a. Guerrero Casas, María A. León Sánchez, Rafael Caballero

Combining LCA and multi-criteria assessment to reduce the environmental and social footprint: the case of the University of the Basque Country_____21

Artizar Erauskin, Gorka Bueno, Iker Etxano, Itziar Barinaga-Rementeria, Unai Tamayo, Estibaliz Pérez, Maite de Blas, Iñaki Zuazo, Eduardo Torre-Pascual, Ortzi Akizu, María García, Ana Bueno, Itziar Barinaga-Rementeria, Gaizka Zulueta, Isaac Barrio

COMUNICACIONES ORALES II
Moderadora: Amelia Bilbao Terol

Dónde localizar instalaciones: Cercanía versus balanceo_____22

Ana D. López-Sánchez, Jesús Sánchez-Oro, Anna Martínez-Gavara, Abraham Duarte, Alfredo G. Hernández Díaz

Algoritmo Evolutivo de Optimización Multiobjetivo basado en Niveles de Aspiración y Reserva (ERAL)_____23

Sandra González-Gallardo, Ruben Saborido, Ana B. Ruiz, Mariano Luque

Biobjective and bilevel programming in location-allocation-routing problems_____24

Herminia I. Calvete, Carmen Galé, José Ángel Iranzo

Decisión Multicriterio en Logística Humanitaria: una aplicación para la preparación ante desastres_____25

Begoña Vitoriano Villanueva, Adán Rodríguez Martínez

Optimización de consumibles en entornos industriales_____26

Patricia M^a Redondo Rivera, M^a Teresa Ortuño Sánchez, Javier León Caballero

Análisis del agrupamiento de opiniones de expertos por el método CATPCA y comparación con resultados obtenidos por dendrogramas_____27

Juan B. Grau, A. Saa Requejo, J.A. Gualotuña-Parra



COMUNICACIONES ORALES SESIÓN ESPECIAL PREMIOS TESIS EN DECISIÓN MULTICRITERIO

Moderadora: Enriqueta Vercher González

Life Cycle Assessment Applied to the Sustainable Design of Prestressed Bridges in Coastal Environments _____28

Ignacio Javier Navarro Martínez

Building Composite Indicators from a Multicriteria Approach: An Empirical Application for the Performance Appraisal and Efficiency of the Spanish Public Higher Education System____31

Samira El Gibari Ben Said

Ordinal treatment of ordered qualitative scales: analysis, methods and applications_____37

Raquel González del Pozo

Mejora de la incompatibilidad y la inconsistencia en un contexto local de decisión en grupo con AHP

Juan Aguarón, María Teresa Escobar, José María Moreno-Jiménez, Alberto Turón

Grupo Decisión Multicriterio Zaragoza. Facultad de Economía y Empresa. Universidad de Zaragoza

Dos de las características más destacadas del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) son: (i) la posibilidad de evaluar la inconsistencia del decisor a la hora de incorporar sus preferencias a través de los juicios emitidos en las matrices de comparaciones pareadas y (ii) su potencial a la hora de trabajar en la toma de decisiones con múltiples actores. Suponiendo un contexto local (un único criterio) y que el método de la media geométrica por filas es el método de priorización seguido en AHP, este trabajo aborda la mejora conjunta de la incompatibilidad, o coherencia interna del grupo, y la inconsistencia, o consistencia interna del individuo, medidas respectivamente por los indicadores conocidos como GCOMPI (Geometric Compatibility Index) y GCI (Geometric Consistency Index). La propuesta integra los procedimientos previamente desarrollados por los autores para mejorar de forma individualizada la incompatibilidad medida con el GCOMPI y la inconsistencia medida con el GCI; en ambos casos, siguiendo procedimientos que derivan los respectivos indicadores y modifican ligeramente los juicios de la matriz colectiva (GCOMPI) y los juicios iniciales de los actores (GCI).

Palabras clave: AHP; Decisión en Grupo; Incompatibilidad; Inconsistencia; Mejora.

Un modelo de selección de carteras basado en la predicción de precios

Enriqueta Vercher (UV), Ana Corberán (UV), José V. Segura (UMH), José D. Bermúdez (UV).

Presentamos un modelo de decisión biobjetivo para la selección de carteras, en el que el rendimiento futuro de cada cartera se estima en base a las predicciones asociadas a la serie histórica de su valor en el mercado continuo. Se aplica el modelo de predicción de Gardner con tendencia amortiguada para la predicción del precio de cada cartera con diferentes horizontes de inversión. Se aproxima la frontera de Pareto de un modelo de media-varianza con restricción de cardinalidad aplicando un algoritmo genético, en el que la distribución predictiva de los precios de cada cartera permite la selección de las carteras eficientes.

Palabras clave: decisión multiobjetivo, selección de carteras, predicción de precios, suavizado exponencial, algoritmo genético.

Approximating the optimum portfolio for n-objectives with multiobjective evolutionary algorithms

Adolfo Hilario-Caballero¹, Ana Garcia-Bernabeu², David Pla-Santamaría², José Vicente Salcedo¹

¹Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universitat Politècnica de València,

²Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Universitat Politècnica de València.

We address the problem of approximating efficient solutions in a n-dimensional portfolio selection problems extending the classical quadratic-linear mean-variance model to additional quadratic or non-linear objectives. Little research in literature had engaged the n-dimensional portfolio selection problem with exact or heuristic methodologies. Thus, in this paper, we apply an alternative methodology based on a new heuristic methodology called ev-MOGA to approximate the Pareto efficient frontier with n-objectives. It is characterized by: (a) the dynamic adjustment of the Pareto front; (b) well distributed solutions avoiding extreme solutions lying at the extreme of the Pareto front; (c) high performance resources of limited memory capacity. A computational study is performed using data of Open-End-Funds to demonstrate that the proposed algorithm is versatile for solving n-dimensional problems. A graphical representation of the n-dimensional Pareto front is made by 3D graphs. Furthermore, we use Level Diagrams to represent each objective and the portfolio composition on separate 2D graphs.

Palabras clave: Multiobjective optimization; Portfolio Selection; Evolutionary Multiobjective Optimization; n-dimensional Pareto Front.

Analysis of multidimensional phenomena with a multicriteria composite performance interval

Ana Garcia-Bernabeu¹, Adolfo Hilario-Caballero², Fernando Mayor¹, Marisa Vercher¹

¹Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Universitat Politècnica de València,

²Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universitat Politècnica de València.

Composite indicators provide a one-dimensional metric to assess, monitor and predict the performance of complex phenomena approached from a multidimensional perspective such as human development, sustainability, innovation, or well-being. Although the proliferation of composite indicators has grown exponentially over the last decade, there is no agreed consensus on an international standard for their construction. Therefore, in recent years Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methodologies have been claimed as highly suitable alternatives for constructing composite indicators. In this paper, we propose to build a multicriteria composite performance interval (MCPI). The MCPI allows getting a big picture of the phenomenon by calculating an upper bound of the interval assuming full compensability among individual indicators. On the other hand, the lower bound of the interval is derived from a non-compensability perspective to show the alternatives' specific weakness. As an example of application, we compute the MCPI to assess European Member states' Circular Economic performance by using the structure of indicators and dimensions provided by the European Commission Circular Economy monitoring framework.

Palabras clave: Composite indicators; Compensability; Multicriteria Composite Performance interval, Circular Economy.

Mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos mediante una evaluación multicriterio de proveedores

Marina Segura (UCM), Concepción Maroto (UPV), Baldomero Segura (UPV), José Carlos Casas-Rosal (UCO)

La evaluación de proveedores y las decisiones de los departamentos de compras, calidad y logística tienen un carácter estratégico para las empresas por su relevancia en la gestión de la cadena de suministro. Los objetivos de este trabajo son proponer modelos multicriterio para desarrollar carteras de proveedores que permitan mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro de alimentos y validarlos con datos reales de frutas ecológicas en una cadena de supermercados.

Para establecer los criterios del modelo se han tenido en cuenta tanto los resultados de una encuesta a empresas de distribución de alimentos como los de la revisión de la literatura. Se ha propuesto un enfoque híbrido, utilizando MAUT para evaluar la calidad de los productos y PROMETHEE para completar su evaluación con criterios estratégicos, cuyos resultados se integran en la evaluación de proveedores. En esta segunda fase, los proveedores se clasifican mediante las técnicas PROMETHEE y FlowSort considerando la evaluación previa de los productos, la seguridad alimentaria, criterios económicos, logísticos, comerciales, así como ambientales y sociales.

Los resultados permiten a las empresas clasificar a los proveedores por producto con la finalidad de desarrollar carteras que minimicen riesgos e identificar las áreas de mejora. En particular, PROMETHEE permite obtener un ranking de proveedores y clasificarlos según las principales categorías de criterios como la estrategia de producto, la seguridad alimentaria, criterios económicos, logísticos, comerciales, imagen verde y responsabilidad social corporativa. Además, FlowSort permite obtener grupos ordenados de proveedores (excelentes, buenos, aceptables y malos) con resultados útiles para estrategias de negociación. Por último, los modelos propuestos pueden ser la base de un sistema de apoyo a la toma de decisiones que facilite la creación y el seguimiento de la cartera de proveedores en las empresas de distribución de alimentos.

Palabras clave: MAUT, PROMETHEE, Flowsort, gestión de la cadena de suministro, evaluación de proveedores, toma de decisiones.

Indicadores sintéticos como herramientas de toma de decisión: uso conjunto de esquemas compensatorio y no compensatorio *Resumen:*

Samira El Gibari, J.M. Cabello Trinidad Gómez; Francisco Ruiz
Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas). Universidad de Málaga

Los indicadores sintéticos son herramientas poderosas para resumir, enfocar y condensar la complejidad de nuestro entorno dinámico, y su uso se ha vuelto indispensable para administrar grandes cantidades de información. A la hora de construir indicadores sintéticos, un aspecto importante a destacar es el carácter compensatorio entre los indicadores individuales. En general, un escenario totalmente compensatorio proporciona una evaluación global del desempeño de cada unidad, mientras que un escenario no compensatorio detecta los peores rendimientos individuales. Cuando se utiliza en un marco de toma de decisiones, la consideración conjunta de ambos escenarios puede, por lo tanto, ser útil. Sin embargo, en la literatura, pocos enfoques permiten la construcción de indicadores sintéticos para diferentes grados de compensación. En esta línea, el objetivo de este trabajo es ilustrar el comportamiento de algunas metodologías que construyen indicadores sintéticos que permiten diferentes grados de compensación. Analizamos los resultados que arroja cada uno de estos métodos y cuál de ellos aporta una información complementaria más variada al considerar escenarios tanto compensatorios como no compensatorios. Se utiliza un ejemplo ilustrativo para visualizar los resultados.

Palabras clave: Indicadores compuestos; Compensación; Análisis multicriterio.

Agradecimientos: Reconocemos el apoyo recibido del Ministerio de Economía y Competitividad de España (Proyecto PID2019-104263RB-C42), del Gobierno Regional de Andalucía (grupo de investigación PAI-SEJ-417) y del Programa Operativo FEDER-UMA (Proyecto UMA18-FEDERJA-065).

Desarrollo, paz y gasto militar en los diferentes países de la OTAN. Un enfoque bajo programación multiobjetivo.

Patricio Vallejo-Rosero (UMA), M. Carmen García-Centeno (CEU San Pablo), Laura Delgado-Antequera (UMA), Osvaldo Fosado (Universidad Técnica de Manabí), Rafael Caballero (UMA).

Formularemos un problema de programación multiobjetivo buscando simultáneamente las mejores soluciones para el índice de desarrollo humano, el gasto militar y del índice global de paz con el fin de obtener un conjunto de comportamientos en la que estos objetivos, que están en conflicto entre sí, sean eficientes. Se determinarán las relaciones entre las variables de decisión que componen las funciones objetivo y las restricciones del modelo, estimando diferentes modelos de datos de panel. El modelo mostrará los efectos que causan las asignaciones presupuestarias en variables como salud, educación, I+D, impuestos, entre otras sobre el gasto militar, el desarrollo humano y la seguridad de un país, facilitando a los tomadores de decisiones, sustentar políticas públicas tendentes a una distribución eficiente de los recursos.

Palabras clave: Multiobjetivo; panel de datos; gasto militar; desarrollo; paz.

Propuesta de indicador sintético como contribución a la medición de la sostenibilidad ambiental: caso de estudio Cuba

Daiana Ivis Suárez Ordaz (UPO), Ignacio Contreras Rubio (UPO), Víctor Ernesto Pérez León (US).

Environmental sustainability has evolved to become a multidimensional concept, applied to diverse fields of study, to ensure the balance between society and the environment. Among the initiatives for its application, composite indicators have been proposed, as one of the options for the management and protection of natural resources. Cuba, with the updating of its economic and social model, has progressively progressed in these aspects, but there is still a lack of knowledge necessary to promote greater involvement in the processing of environmental statistical information and work with composite indicators.

In the present work, a proposal for a synthetic indicator for the evaluation of sustainability at the provincial level was made to facilitate the interpretation of the information by the stakeholders and policy makers. These indicators are characterized by being easy to understand, since they reduce the initial number of indicators with the least loss of information. Furthermore, they can be used to establish comparisons between the different areas and evaluate their behavior over time. The construction of the synthetic indicator was carried out using a non-compensatory procedure computed by a mixed-integer linear programming model.

Palabras clave: Sostenibilidad ambiental, indicador sintético, modelo no compensatorio, Cuba

Goal Programming as a tool for the assessment of core allocations in multiple scenario cooperative games.

Diego Borrero Molina (US), Miguel Angel Hinojosa Ramos (UPO), Amparo María Mármol Conde (US)

We address the extensions of the concept of core for cooperative games in which multiple scenarios have to be taken into account, and propose mechanisms to select allocations of the value of the game which fulfill certain stability conditions. Two extensions of the core have been thoroughly analyzed in the literature previously, the preference core and the dominance core. The preference core is a very restrictive solution concept since an allocation in the preference core must belong to the cores of all the individual games. The dominance core is too wide as a set of solutions and does not permit to reflect the role played by the different scenarios. We introduce a new extension of core, the *criteria core*, which contains the preference core and provides an alternative way to deal with the multidimensionality of the results. Nevertheless, the stability requirement for the allocations in the criteria core (all allocations exhibit non-positive excesses with respect to all the scenarios for at least one coalition) is still weak.

Goal programming is used as a flexible tool to design mechanisms for identifying those allocations in the criteria core that are consistent with possible additional information on the occurrence of the scenarios. These mechanisms also permit checking whether the resulting allocations belong to the preference core and/or to the dominance core. We apply the findings to propose and analyse allocations of the costs of waste collection service between the different urban areas in the city of Seville.

Palabras clave: cooperative games, core concepts, goal programming.

Benefits and damage perception of pollutant emissions. A bicriteria game.

Asunción Zapata, Luisa Monroy, M. Ángeles Caraballo, Amparo M. Mármol
Universidad de Sevilla

The problem of reduction of pollutant emissions is analysed from the perspective of multicriteria games. The countries face two objectives: to maximize their monetary benefits and to minimize the perception of environmental damages, both depending on the pollution emitted by all the countries. We also assume that each country has a tolerance threshold with respect to the global emissions. The key element in the analysis is the impossibility to compare in monetary terms the results obtained when the countries act strategically in pursuit of their objectives. The situation is formalized as a game with vector-valued utilities and depending on the relationships between the thresholds of the countries, different sets of equilibria are obtained. All these equilibria provide strategies with a positive effect in the reduction of emissions and, therefore, may play a major role as references in negotiation processes.

Palabras clave: Non-cooperative multicriteria games, Equilibria, Emissions.

Recursos con precios por tramos en optimización multiobjetivo. Una generalización del método De Novo

Mariano Jiménez-López (UPV/EHU), Mar Arenas-Parra (UNIOVI), Amelia Bilbao-Terol (UNIOVI), Manuel Díaz-Madroñero (UPV)

En la formulación tradicional de los problemas de programación lineal para la gestión de la producción, se supone que las cantidades de los recursos disponibles, es decir, los segundos miembros de las restricciones, están fijados a priori y a partir de esos valores se determina el valor óptimo de la función o funciones objetivo.

El método De Novo (Zeleny, 1986) propone calcular la distribución de los recursos que, ajustándose al presupuesto, optimiza el valor, o valores, objetivo dado el precio unitario de los recursos y el presupuesto disponible.

En los enfoques tradicionales del método De Novo, el precio unitario de los recursos permanece constante independientemente de la cantidad de recursos consumidos. Sin embargo, en la realidad empresarial el precio de una materia prima puede cambiar dependiendo de la cantidad adquirida. Recientemente Babic y otros (2018) han propuesto un modelo en el cual, si se adquiere más de una determinada cantidad Q de una materia prima, el precio cambia desde la primera unidad.

En este trabajo, proponemos un modelo en el cual el precio de la materia prima k cambia, a mayor o a menor, a partir de una determinada cantidad Q_k , pero este cambio solo afectaría a las unidades en el tramo superior. Nuestro enfoque permite determinar la cantidad a utilizar de cada recurso k , mayor o menor que Q_k , que optimiza la función objetivo, ajustándonos al presupuesto disponible. Para ilustrar nuestro procedimiento resolvemos dos ejemplos numéricos, uno monoobjetivo y otro multiobjetivo.

Palabras clave: Programación lineal, Optimización multiobjetivo, Método De Novo, Precios por tramos.

Optimización en la definición de territorios para visitantes médicos de una empresa farmacéutica

Antonio Jiménez¹, Alfonso Mateos¹, Luis Miguel del Pozo², Beatriz Campillo²

¹Grupo de Análisis de Decisiones y Estadística. Universidad Politécnica de Madrid

²Bisiona, Experts in Pharmaceutical Solutions

La identificación de los territorios que deben cubrir los visitantes de cierto producto de una empresa farmacéutica se trata de un problema de optimización complejo en el que se deben tener en cuenta aspectos muy variados, como el número de visitas que pueden realizar los visitantes en un periodo de tiempo (capacidad de trabajo), las ventas asociadas a los hospitales de referencia que definen los territorios y el tipo y cantidad de médicos que trabajan en ellos, una distancia máxima establecida para las visitas y las rutas asociadas. Podemos considerar además distintas versiones del problema, que incluyen el diseño desde cero de dichos territorios, disponiendo únicamente del número y localización de los visitantes disponibles (que pueden o no ser suficientes para cubrir todos los hospitales de referencia con los territorios definidos), o el rediseño parcial de los territorios como consecuencia de cambios en la plantilla de visitantes (ajustes de plantilla, altas o bajas).

Para afrontar la resolución del problema bajo consideración se han utilizado las metaheurísticas enfriamiento simulado y búsqueda en entornos variables.

Palabras clave: definición de territorios, visitantes médicos, metaheurísticas.

Propuesta de índice de competitividad turística para los destinos de Centro América y el Caribe

Víctor E. Pérez León¹, Flor M^a. Guerrero Casas², María A. León Sánchez³, Rafael Caballero⁴

¹Departamento de Economía Aplicada II, Universidad de Sevilla

²Departamento de Economía, Métodos Cuantitativos e Historia Económica, Universidad Pablo de Olavide

³Departamento de Matemáticas, Universidad de Pinar del Río, Cuba

⁴Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas), Universidad de Málaga, España

En el presente estudio propone un índice para medir la competitividad de los destinos turísticos en la región del Caribe creado a partir de la Programación por Metas y su combinación con el Análisis Envolvente de Datos. El propósito de la aplicación es suplir la ausencia de los destinos caribeños en los rankings internacionales y analizar la posibilidad de obtener resultados que permitan resultados cercanos a los obtenidos con índices propuestos por Organizaciones Internacionales como el Foro Económico Mundial. Se consideraron 33 destinos y 27 indicadores, agrupados en los 4 subíndices del Índice de Competitividad de Viajes y Turismo. Se establecieron cuatro clasificaciones dimensionales y una clasificación global como herramienta útil para los responsables políticos. Los resultados demuestran el poder explicativo de la propuesta, las mejoras metodológicas en la construcción de indicadores compuestos para medir la competitividad de los destinos turístico y la posibilidad de incluir otros países en el índice de Competitividad de Viajes y Turismo con un menor número de indicadores.

Palabras Clave: Índice compuesto, Programación por Metas, Análisis Envolvente de Datos, Competitividad turística, Caribe

**Combining LCA and multi-criteria assessment to reduce the environmental and social footprint:
the case of the University of the Basque Country**

Artitzar Erauskin, Gorka Bueno, Iker Etxano, Itziar Barinaga-Rementeria, Unai Tamayo, Estíbaliz Pérez, Maite de Blas, Iñaki Zuazo, Eduardo Torre-Pascual, Ortzi Akizu, María García, Ana Bueno, Itziar Barinaga-Rementeria, Gaizka Zulueta, Isaac Barrio
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

After having calculated the environmental and social footprint of the University of the Basque Country organisation; first, by collecting the input and output data flows of the UPV/EHU activity and then, by modelling the environmental and social impacts of the academic activity, using the Ecoinvent 3.3 database with the Soca v1 module based on PSILCA in the openLCA software, some hotspots in the organisation have been identified. Then, new alternative scenarios have been defined and modelled that could improve the environmental and social performance of the UPV/EHU's academic activity. However, it is a challenge to choose between the different scenarios as not all of them present improvements in the same indicators (environmental, economic and social) that are studied to calculate the environmental and social footprint. The aim of this work focuses on the application of the Multi-Criteria Decision Analysis (MDA) methodology as a tool for choosing the alternative scenario that can best reduce the environmental and social impacts of the UPV/EHU's activity.

Palabras clave: Organisation environmental footprint, Organisational life cycle assessment O-LCA, Social life cycle assessment S-LCA, LCA, Multi-Criteria Decision Analysis (MDA), Higher Education Institution

Dónde localizar instalaciones: Cercanía versus balanceo

Ana D. López-Sánchez (UPO), Jesús Sánchez-Oro, Universidad Rey, Anna Martínez-Gavara (Universidad de Valencia), Abraham Duarte (URJC), Alfredo G. Hernández Díaz (UPO)

En este trabajo abordamos un problema de localización que, a pesar de su gran interés y aplicabilidad en situaciones reales, ha sido poco estudiado en la literatura. No obstante, cada vez más empresas se enfrentan a él a la hora de determinar la localización óptima de sus instalaciones. Generalmente, cuando queremos localizar un conjunto de instalaciones, ya sean estaciones de bicicletas, centros comerciales u hospitales, entre muchas otras, se intenta que estén lo más cerca posible de sus puntos de demandas, esto es, usuarios de la bicicleta, clientes o pacientes. Pero, a su vez, se desea también que la carga de trabajo (la demanda) esté repartida de forma homogénea. Así, los objetivos a optimizar serían: minimizar la mayor distancia entre las instalaciones y los puntos de demanda y balancear la carga de trabajo de las instalaciones que se localicen, entendiendo como carga de trabajo el número de puntos de demanda a los que una instalación presta servicio. Por tanto, se consideran dos objetivos que, habitualmente están en conflicto, esto es, si se trata de localizar instalaciones favoreciendo que los puntos de demanda estén lo más cerca posible de la instalación que le presta el servicio, podría conllevar que haya instalaciones que tengan una carga de trabajo más elevada que otras. Igualmente, si nos centramos en optimizar el balanceo de la carga de trabajo de las instalaciones, podría conllevar que los puntos de demanda estén más alejados. Debido a la complejidad del problema de optimización combinatoria bi-objetivo que sea plantea, los métodos exactos hacen que su resolución sea costosa o inviable. Esto nos lleva a proponer un algoritmo metaheurístico capaz de resolverlo rápidamente obteniéndose soluciones de gran calidad. Concretamente, se propone un algoritmo híbrido basado en Oscilación Estratégica combinado con Path Relinking capaz de ofrecer diferentes soluciones eficientes de gran calidad.

Palabras clave: Optimización multi-objetivo, Problema de la k-mediana, Problema del k-balanceo, Metaheurísticas, Oscilación Estratégica, Path Relinking.

Algoritmo Evolutivo de Optimización Multiobjetivo basado en Niveles de Aspiración y Reserva (ERAL)

Sandra González-Gallardo, Ruben Saborido, Ana B. Ruiz, Mariano Luque
Universidad de Málaga

Abstract: Los algoritmos Evolutivos de Optimización Multiobjetivo (EMO) basados en preferencias aproximan la región de interés (ROI) del frente óptimo de Pareto definido por las preferencias de un decisor. En este trabajo proponemos un algoritmo EMO basado en preferencias dadas mediante puntos de aspiración y de reserva, denominado ERAL. El punto de aspiración está formado por valores de las funciones objetivo que el decisor quiere alcanzar, mientras que el punto de reserva está constituido por valores de las funciones objetivo que no pueden empeorar. Internamente, las primeras generaciones de ERAL se realizan utilizando el algoritmo ya existente WASF-GA [REF] utilizando un conjunto inicial de vectores de pesos y el punto de reserva. A continuación, el resto de generaciones del algoritmo propuesto se ejecutan teniendo en cuenta la relación de dominancia de las soluciones obtenidas hasta el momento con respecto a ambos puntos (aspiración y reserva). En base a esa información, se proponen hasta tres escenarios diferentes para converger, diseñados para orientar las direcciones de búsqueda hacia la ROI deseada (formada por las soluciones óptimas de Pareto que satisfacen tanto el valor de aspiración como el de reserva) según convenga. Para demostrar el potencial de ERAL, se ha realizado un experimento computacional en el que se compara nuestro algoritmo con otros algoritmos EMO existentes, en problemas test de 2, 3 y 5 funciones objetivo.

Palabras clave: Algoritmo Evolutivo, punto de aspiración, punto de reserva, preferencias.

Biobjective and bilevel programming in location-allocation-routing problems

Herminia I. Calvete, Carmen Galé, José A. Iranzo
Statistical Methods Department, IUMA, University of Zaragoza

Logistics operators face a very complex problem when aiming to determine how to distribute goods to final customers. Interrelated decisions have to be made, such as the location of the goods collection points, the routes served from one or more warehouses and the allocation of customers to the collection points. Multi-echelon systems which include two or more levels of distribution provide an appropriate structure for last-mile delivery. In this work, we consider a system in which multiple decision makers are involved and multiple objectives must be taken into account. First, we present the mathematical formulation of the models which can involve one or more levels of decision and one or more objectives. A bilevel programming model allows us to address the optimization problem of the logistic operator when considering the customers as a lower decision level. In case the logistic operator and the customers aim for different goals, the corresponding optimization models include multiple objectives. Second, an algorithm is developed within the general framework of evolutionary algorithms that allows us to deal with these models. A set of test problems is used to show the effectiveness of the algorithm as well as to illustrate the consequences of using different approaches.

Acknowledgments: This research has been funded by the Spanish Ministry of Science and Innovation under grants PID2019-104263RB-C43 and by the Gobierno de Aragón under grant E41-20R.

Decisión Multicriterio en Logística Humanitaria: una aplicación para la preparación ante desastres

Begoña Vitoriano Villanueva, Adán Rodríguez Martínez

Departamento de Estadística e Investigación Operativa e Instituto de Matemática Interdisciplinar,
Universidad Complutense de Madrid

En los modelos de decisión en logística humanitaria para la gestión de desastres y emergencias, los criterios son muy distintos de los de la logística comercial, y más variados. La efectividad para distribuir la ayuda en tiempo, en la cantidad y calidad adecuadas, pasa por delante de los costes. Sin embargo, los presupuestos son también ajustados para la gran cantidad de ayuda que hay que distribuir de forma repentina y de la que dependen las vidas de las personas. En esta comunicación, se presenta un modelo de programación multiobjetivo para la preparación de la respuesta a desastres. El modelo considera decisiones estratégicas de ubicación de almacenes, y tácticas sobre el presupuesto asignado y la cantidad preposicionada en los almacenes, teniendo en cuenta la incertidumbre ligada a las posibles futuras operaciones de respuesta a un desastre.

Palabras clave: logística humanitaria, localización, distribución, programación multiobjetivo

Optimización de consumibles en entornos industriales

Patricia M^a Redondo Rivera (UCM), M^a Teresa Ortuño Sánchez (UCM), Javier León Caballero (Decide Soluciones)

El origen de este trabajo surge a raíz de una colaboración de la Universidad Complutense de Madrid con la empresa Obuu Tech S.L. para el desarrollo de métodos de optimización de consumibles en entornos industriales.

En gestión de inventarios se consideran consumibles aquellos productos que se gastan, generalmente de escaso valor y gestionados en grandes cantidades. Además, en entornos industriales es habitual encontrar un gran número de productos distintos y una adecuada gestión de éstos puede reducir costes considerablemente.

El modelo EOQ (economic order quantity) surge a principios del siglo XX para determinar los tamaños de lote óptimos que se deben pedir en cada ocasión y cuándo deben hacerse dichos pedidos si la tasa de demanda es conocida y no se admite incurrir en rotura de inventario. Sin embargo, en la práctica, se encuentran otros problemas más complejos como la gestión de inventarios multiproducto con restricciones que conlleva el desarrollo de modelos de programación matemática. Al considerar la aleatoriedad de la demanda de los distintos productos se plantea un problema en el que se desea maximizar el nivel de servicio medio proporcionado unido a una minimización del coste. Estos problemas no son fáciles de resolver, por lo que es necesario recurrir a heurísticas que proporcionen soluciones satisfactorias. Además, cuando el número de referencias es muy elevado, puede ser muy útil realizar una clasificación de artículos para simplificar la gestión, tratando los artículos de una misma clase conjuntamente.

Palabras clave: gestión de inventarios, optimización multicriterio, heurísticas, clasificación de artículos

Análisis del agrupamiento de opiniones de expertos por el método CATPCA y comparación con resultados obtenidos por dendogramas.

Juan B. Grau, A. Saa Requejo, J.A. Gualotuña-Parra
Universidad Politécnica de Madrid

En estudios de sostenibilidad agrícola se ha logrado ayudar a los encargados de la toma de decisiones y a los responsables de formular políticas para construir una sociedad sostenible, a través de programas y actividades en apoyo al desarrollo, además contribuye para definir características, diferencias y niveles de importancia. Para evaluar la fiabilidad de opiniones de expertos existen varios métodos como el coeficiente de Alpha Cronbach (Stevens et al., 2018), o el coeficiente de correlación llamado comúnmente coeficiente tau de Kendall usado para medir la asociación ordinal entre dos cantidades. En nuestro estudio utilizamos información de un anterior trabajo ya publicado (Gualotuña 2020) donde se identificó la formación de dos grupos de expertos al analizar sus valoraciones por medio de dendogramas a través del coeficiente tau de Kendall como índice de similitud y que influyeron en el posicionamiento de cinco técnicas productivas al valorarlas con MCDA. En este caso, utilizamos un método de análisis estadístico categórico y específico para información tipo ordinal denominado CATPCA, acrónimo de CATegorical Principal Components Análisis, el cual identifica que variables están más correlacionadas (aquí cada experto es una variable y los criterios que valoran los casos), permitiendo interpretar mejor cuando se trabaja con gran número de variables. En nuestro estudio se observó que los resultados por CATPCA no coincidieron completamente en la formación de agrupaciones de expertos con los resultados obtenidos en los dendogramas ya que incluye coeficientes negativos en el mismo grupo (es decir considera agrupados a expertos con correlaciones altas sean positivas o negativas, pero estas últimas en nuestro caso indican opiniones enfrentadas). Con CATPCA se pueden identificar más fácilmente los expertos que forman el núcleo del grupo de opinión. Así también CATPCA identifica la formación de grupos de opiniones diferentes de expertos dentro una misma dimensión, pero el número de grupos está basado en la subjetividad del analista. Por el contrario, por medio de los dendogramas se disminuye la subjetividad del analista, porque el número de grupos viene dado por el nivel de significación del coeficientau de Kendall .

Palabras clave: Paneles de expertos, determinación de pesos, Decisión multicriterio, CATPCA, Dendogramas.

Life Cycle Assessment Applied to the Sustainable Design of Prestressed Bridges in Coastal Environments

Ignacio Javier Navarro Martínez
Universidad Politécnica de Valencia

El diseño de infraestructuras sostenibles es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible más relevantes para lograr el futuro sostenible al que aspiramos, tal y como afirman fuentes como el Banco Mundial o el Fondo Monetario Internacional. Según la Agenda 2030 establecida por las Naciones Unidas en 2015, en menos de diez años deberíamos ser capaces de cuantificar la contribución real de nuestras estructuras a la sostenibilidad, y diseñarlas en consecuencia de forma más responsable, tanto ambiental como socialmente.

Sin embargo, existen graves lagunas de conocimiento que nos impiden evaluar cuantitativa y objetivamente dicha sostenibilidad a la hora de abordar el diseño de una estructura. Si bien es cierto que existen herramientas para el análisis de las dimensiones ambiental y económica de cualquier tipo de producto, y que la comunidad científica las ha aplicado en el diseño de detalle de estructuras, tenemos muy poca experiencia en la evaluación de los impactos sociales a lo largo del ciclo de vida de una infraestructura. Algunas normas de diseño, como la española EHE-08, incluyen procedimientos para el cálculo de Índices de Sostenibilidad en estructuras de hormigón. Sin embargo, este tipo de índices sólo prestan atención a la dimensión ambiental del diseño, dejando de lado los impactos económicos y sociales del mismo, así como el efecto temporal de los diseños a lo largo del tiempo derivado de las diferentes demandas de mantenimiento. Dado que, por definición, la sostenibilidad sólo puede evaluarse teniendo en cuenta simultáneamente todas sus tres dimensiones (económica, ambiental y social), las graves deficiencias en la evaluación objetiva de los impactos sociales y los insuficientes procedimientos normativos existentes hacen que actualmente resulte inviable el diseño sostenible de nuestras infraestructuras.

El diseño sostenible de productos es, por definición, uno de los problemas de decisión multicriterio más relevantes al que nos enfrentamos en el ámbito de la ingeniería civil actualmente, dado que en él intervienen distintas dimensiones que habitualmente pueden entrar en conflicto. Como se ha comentado anteriormente, en el problema de decisión sostenible intervienen tres dimensiones: la económica, la ambiental y la social, cada una de ellas con un conjunto de criterios y subcriterios a tener en cuenta a la hora de escoger la mejor alternativa de diseño desde el punto de vista de la sostenibilidad.

El uso de técnicas de decisión multicriterio resulta, por lo tanto, fundamental para poder agregar los resultados económicos, ambientales y sociales asociados al ciclo de vida de un producto en un único indicador que permita seleccionar las alternativas de diseño que resulten más sostenibles. Existen numerosas técnicas de decisión, cada una con sus particularidades, ventajas e inconvenientes, y no existe consenso claro sobre cuál de ellas es más adecuada, siendo a priori todas ellas válidas para este tipo de problemas. Sin embargo, existe un punto común a la mayoría de ellas y que es esencial para el resultado final del proceso de decisión: la asignación de pesos a los distintos criterios que intervienen en el problema. Una de las técnicas más habituales para

determinar dichos pesos es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés). La aplicación de la técnica AHP permite convertir las valoraciones de los expertos sobre la importancia de los distintos criterios en un conjunto concreto de pesos a partir de los cuales poder aplicar procesos de toma de decisión multicriterio como TOPSIS, VIKOR u otros. La determinación de estos pesos, bien sea por asignación directa, o bien mediante el empleo de la técnica AHP, es un proceso altamente subjetivo y que, sin embargo, resulta decisivo para la decisión final. Por lo tanto, dos problemas idénticos pueden llevar a decisiones diametralmente opuestas dependiendo de a qué expertos se involucren en el proceso.

La presente Tesis pretende cubrir estas dos lagunas de conocimiento, ofreciendo por primera vez una metodología multicriterio de aplicación al diseño de cualquier tipo de infraestructura consistente con la filosofía del Análisis de Ciclo de Vida recogida en las normas medioambientales ISO 14040 y 14044.

En primer lugar, se ha desarrollado un método para evaluar los impactos sociales a lo largo del ciclo de vida de los puentes. Esta metodología, basada en indicadores cuantificables objetivamente, permite optimizar el mantenimiento para obtener la estrategia que maximice el beneficio social intergeneracional. Por otra parte, la forma en que se construyen los indicadores permite abordar contextos sociales muy diversos y problemas específicos de diferentes tipos de infraestructuras. El rendimiento social de las diferentes alternativas de diseño se estima teniendo en cuenta los impactos derivados tanto de la fase de construcción como de la del mantenimiento de la infraestructura en condiciones de incertidumbre mediante el uso de distribuciones Beta-PERT. Las necesidades de mantenimiento de los diferentes materiales se estiman mediante una evaluación de la durabilidad basada en la fiabilidad. Los resultados muestran que los impactos sociales derivados de la vida útil de los puentes son relevantes y no deben despreciarse en las evaluaciones de sostenibilidad de dichas estructuras, en contra de la creencia y la praxis actuales. Los diseños que minimizan el mantenimiento a lo largo de la vida útil, como el uso de armaduras de acero inoxidable o de hormigones con humo de sílice, son socialmente preferibles a los diseños convencionales, ya que suponen una menor afección a los usuarios de la infraestructura a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la aplicación convencional de las Técnicas Multicriterio para obtener la alternativa más favorable a los intereses del diseñador y de la sociedad limita enormemente la percepción que los expertos pueden manifestar sobre el problema a resolver, ya que se ven obligados a elegir entre un conjunto muy limitado de valoraciones posibles (la llamada escala fundamental de Saaty) para manifestar sus juicios de valor. En esta Tesis se ha propuesto un enfoque diferente para abordar la aplicación de las Técnicas de Decisión Multicriterio basado en la aplicación de la lógica neutrosófica. Este tipo de lógica, que actualmente representa la máxima generalización de la lógica difusa, permite modelar matemáticamente la subjetividad de los decisores e incorporar en el proceso de toma de decisión las llamadas incertidumbres no probabilísticas como fuente valiosa de información. Esta investigación propone la inclusión explícita de dicha subjetividad, modelando matemáticamente la experiencia que los decisores no pueden manifestar explícitamente empleando técnicas basadas en la lógica clásica.

La metodología propuesta en esta Tesis para el diseño sostenible de estructuras se ha aplicado para resolver el diseño de puentes de hormigón pretensado en ambiente marino, permitiendo encontrar qué material resulta más sostenible a lo largo del ciclo de vida de la estructura y cuál es su intervalo de mantenimiento óptimo. Para ello, ha sido necesario evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales de cada una de las actividades necesarias para construir y mantener un puente en servicio durante los 100 años de vida útil requeridos en España. Estas actividades van desde la extracción de las materias primas para la producción de los materiales de construcción, hasta la hipotética demolición de la estructura, considerando el impacto de la construcción y las diferentes operaciones de mantenimiento. Este análisis considera también el efecto medioambiental positivo que la carbonatación tiene tanto en el hormigón desechado como en el retirado tras las operaciones de mantenimiento y demolición.

Considerando lo anterior, se ha evaluado el desempeño de 16 diseños alternativos de un tablero de puente de hormigón pretensado en un entorno costero combinando la técnica de decisión multicriterio TOPSIS con una obtención de los pesos de los distintos criterios basado en la aplicación del proceso analítico jerárquico considerando la lógica neutrosófica. Como ya se ha mencionado, el uso de la lógica neutrosófica en el ámbito de la toma de decisiones multicriterio, como generalización de la ampliamente utilizada lógica difusa, permite captar y modelizar adecuadamente la vaguedad e incertidumbre de

los juicios emitidos por los decisores. La técnica TOPSIS se ha empleado para agregar los distintos criterios de sostenibilidad, obteniendo así un índice de sostenibilidad que ayude al diseñador a comparar el desempeño de las distintas alternativas, en términos de sostenibilidad, a lo largo de su ciclo de vida completo.

Los criterios involucrados en la toma de decisión han sido nueve: dos económicos, tres ambientales y cuatro sociales. Desde el punto de vista económico, se han considerado, por una parte, los costes durante la fase de construcción y, por otra, los costes durante la fase de mantenimiento y demolición. Desde el punto de vista ambiental, se han tenido en cuenta en la toma de decisión los impactos ambientales que afecten a la salud humana, los impactos sobre los ecosistemas y los impactos sobre la escasez de recursos naturales. Estos tres criterios ambientales tienen en cuenta un conjunto de 18 subcriterios ambientales integrados mediante la metodología de evaluación ambiental ReCiPe. Por último, los cuatro criterios sociales considerados en la toma de decisión han sido, en primer lugar, los impactos sobre los trabajadores, teniendo en cuenta, a su vez, cuatro subcriterios: igualdad de género, salario justo, accidentalidad y generación de empleo. En segundo lugar, se ha tenido en cuenta el impacto social positivo de las actividades económicas derivadas de la construcción y mantenimiento de la estructura sobre las economías locales. Por otra parte, también se ha tenido en cuenta el impacto social negativo sobre la accesibilidad y la accidentalidad derivado de las operaciones de mantenimiento del puente. Por último, se ha incluido como último criterio para la toma de decisión el efecto de las externalidades derivadas de la construcción de la estructura y de su mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.

Los resultados obtenidos en esta investigación han permitido identificar alternativas de diseño en el medio marino con las que se pueden conseguir reducciones muy significativas respecto a los impactos asociados al ciclo de vida de los puentes. En concreto, se han conseguido reducciones de hasta el 82% de sus impactos en la dimensión ambiental y de hasta el 67% en la dimensión económica. Por otro lado, se han identificado alternativas que permiten aumentar el impacto social positivo de los puentes analizados en un 55% si se compara con los diseños de puentes convencionales. Sin embargo, de los resultados obtenidos se desprende que sólo la consideración simultánea de los impactos económicos, ambientales y sociales a lo largo del ciclo de vida de un diseño conducirá a diseños sostenibles adecuados. Las decisiones tomadas en función de la optimización de un diseño considerando sólo alguna de las dimensiones de la sostenibilidad conducirán a conclusiones erróneas. En este caso, el uso de hormigón con humo de sílice ha dado lugar a una respuesta, en términos de sostenibilidad, un 46% mejor que los diseños de hormigón convencionales.

En definitiva, esta Tesis Doctoral ofrece una herramienta muy útil e innovadora para contribuir, a través de su aplicación, a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en la Agenda 2030, y en particular al diseño sostenible de infraestructuras.

Building Composite Indicators from a Multicriteria Approach: An Empirical Application for the Performance Appraisal and Efficiency of the Spanish Public Higher Education System

Samira El Gibari Ben Said
Universidad de Málaga

En los últimos años, el uso de los rankings universitarios se ha convertido en una de las herramientas más extendidas para la evaluación de las instituciones de educación superior (Sanz-Casado and De-Filippo, 2011; Glanzel and Debackere, 2009). Autores como Marope et al. (2013) señalan que la existencia de los rankings de universidades pone de manifiesto que las universidades realmente están viviendo “en una época de mediciones y comparaciones”, lo cual ha dado lugar a que los rankings pasen de ser “un producto de consumo” a “un instrumento estratégico global” (Hazelkorn, 2013).

No obstante, a pesar de su amplia popularidad, a los rankings de universidades se les suele criticar por los fines que persiguen y por sus metodologías (Climent et al., 2013). En esta línea, la mayoría de las iniciativas que comparan universidades utilizan técnicas de agregación simples, en especial los rankings comerciales. Esto implica un carácter compensatorio entre los indicadores, y consecuentemente la imposibilidad de detectar las diferencias entre universidades según sus rendimientos en los diferentes indicadores. Así, la mayoría de los rankings ofrecen unos resultados bien ordinales, o numéricos de difícil interpretación, por lo que ofrecen una información limitada.

Partiendo de lo anterior, esta tesis doctoral persigue ir más allá de la mera elaboración de un ranking del Sistema Universitario Público Español. Para ello, se propone una nueva metodología, basada en el método de múltiples puntos de referencia (*MRP-WSCI*; Ruiz et al., 2020), para la evaluación del rendimiento de las universidades y, además, proponemos su combinación con el análisis envolvente de datos (DEA; Charnes et al., 1978). No cabe duda de que la literatura ofrece una gran variedad de trabajos que han hecho uso del método DEA para medir el desempeño de las instituciones de educación superior. Sin embargo, el número de outputs considerados en la mayoría de los trabajos en la literatura oscila entre dos y cuatro. En esta línea, autores como González-Garay et al. (2019) señalan que la calidad de la educación superior es intrínsecamente multidimensional y, por lo tanto, difícil de evaluar utilizando solo unos pocos indicadores.

En definitiva, el análisis de aspectos tan complejos, como es el caso de las universidades, requiere considerar dos aspectos importantes: (i) el sistema de educación superior es bastante complejo, diverso e incluye diferentes tareas interconectadas entre sí; (ii) en el actual entorno altamente competitivo, la evaluación de un sistema universitario requiere el uso de técnicas capaces de gestionar su complejidad (Attardi et al., 2017).

Para la consecución de nuestro objetivo, esta tesis doctoral es presentada como compendio de publicaciones y se organiza de la siguiente manera:

1. La primera parte contiene las tres publicaciones que conforman el compendio. Concretamente, el marco teórico y metodológico es abordado en los dos primeros artículos,

mientras que la tercera publicación contiene la aplicación empírica. Seguidamente, se proporciona un resumen de cada uno de estos artículos.

1.1. Dado que hoy en día, existe un amplio abanico de metodologías para la construcción de los indicadores sintéticos (*ISs*) de desempeño universitario, el primer artículo, El Gibari et al. (2019), abarca una revisión de la literatura de los diferentes métodos multicriterio utilizados para la construcción de indicadores. Además, en este artículo, hemos clasificado dichos métodos en cinco categorías: los métodos elementales, los métodos basados en valor y utilidad, el enfoque outranking, los métodos basados en DEA y los métodos basados en funciones de distancia. Asimismo, se discuten dos aspectos relevantes relacionados con la construcción de los *ISs* haciendo uso de los métodos MCDM, que son la ponderación y la compensación. En general, de esta revisión se desprende una clara tendencia hacia un número creciente, desde 2014, de artículos que recurren al uso de los métodos multicriterio para construir *ISs*. No obstante, a pesar de la amplia variedad de aplicaciones de los métodos MCDM para la construcción de los *ISs*, tales como sostenibilidad (29%), medio ambiente (12%), entorno empresarial (8%), energía (6%), turismo (5%), desarrollo humano (5%), servicio de agua (4%) e inversión (4%), esta publicación nos ha permitido identificar una escasez en el uso de dichas técnicas dentro del ámbito de la educación superior. Además, la mayoría de los artículos revisados se han publicado en revistas pertenecientes a la categoría de “Environmental Sciences” (48%), lo cual, parece lógico, ya que, bajo esta vertiente, la sostenibilidad y el medio ambiente han sido los campos más analizados. Otros artículos han elegido revistas que se centran en la categoría de “Operations Research & Management Science” (27%). *Este artículo está publicado en la revista “Journal of Business Economics”, que tiene un índice de impacto de 0,378, y está indexada en el segundo cuartil de Scopus. Su índice de citas es de 64 en Google Scholar y su impacto de citas ponderadas en el campo, según la base de datos Scopus, es de 9,13 (fecha de referencia: 2 de febrero de 2021).*

1.2. La segunda publicación, Ruiz et al. (2020), presenta el método *MRP-WSCI*, que es una generalización del método de doble punto de referencia (Ruiz et al., 2011). El método de punto de referencia fue propuesto originalmente por Wierzbicki (1980), y se diseñó en un primer momento, para resolver problemas de programación multiobjetivo, mediante la generación de soluciones eficientes que estaban más cerca de ciertos niveles de referencia (deseados) para los objetivos planteados. Más tarde, Wierzbicki et al. (2000) extendieron esta metodología a un esquema de doble punto de referencia, sugiriendo su utilización para la confección de unos rankings objetivos, donde se pueden especificar para cada objetivo un valor de reserva (nivel considerado como admisible) y un valor de aspiración (nivel considerado como deseable). Ruiz et al. (2011) y Cabello et al. (2014) adaptaron y desarrollaron aún más esta idea para la construcción de los *ISs* según el grado de compensación entre los indicadores y basándose en los pesos otorgados por el usuario. No obstante, nos hemos dado cuenta de que, tal y como se había planteado en un primer momento, el método de doble punto de referencia tiene dos posibles inconvenientes. Primero, la utilización de únicamente dos puntos de referencia, en determinadas situaciones, puede suponer una limitación para el decisor. Segundo, los resultados se daban en una escala fija (de -1 a 2), lo cual puede ser una limitación a la hora de combinar esta metodología con otras, tales como DEA, donde la implementación del modelo establece la restricción de no negatividad de las variables. De esta manera, el método *MRP-WSCI* permite al usuario establecer cualquier número de niveles de referencia, que pueden suponer distintos niveles de rendimiento (muy malo, malo, ..., bueno, muy bueno), y puede adoptar cualquier escala. Como caso de estudio, se ha aplicado el método *MRP-WSCI* a la construcción del Índice de Progreso Social Regional de la Unión Europea. Asimismo, se han llevado a cabo diferentes

estudios, tales como el análisis de los efectos de un cambio de los niveles de referencia en los resultados y el efecto de la construcción de los indicadores *MRP-WSCI* en diferentes etapas de agregación. Además, se ha realizado un análisis de robustez de los indicadores *MRP-WSCI* frente a cambios en los niveles de referencia y en los pesos otorgados. Por último, en este artículo, se ha demostrado que los indicadores *MRP-WSCI* satisfacen una serie de propiedades que la literatura científica considera altamente deseables. *Este trabajo ha sido publicado en "OMEGA", que cuenta con un factor de impacto JCR del 5,341, de hecho, es la segunda revista mejor clasificada dentro de su categoría "Operations Research & Management Science". Su índice de citas es de 12 en Google Scholar y su impacto de citas ponderadas en el campo, según la base de datos Scopus, es de 4,36 (fecha de referencia: 2 de febrero de 2021).*

1.3. El tercer artículo, El Gibari et al. (2018), trata de una versión preliminar del método de doble punto de referencia aplicado a las universidades públicas andaluzas. Dentro del ámbito multicriterio y educación superior, la metodología adoptada en este artículo supone un paso más allá de la mera construcción de *ISs*, ya que analizamos los indicadores individualmente, mediante los niveles de referencia y planteamos la construcción de *ISs* para diferentes grados de compensación en la confección de rankings universitarios. Además, con el objetivo de llevar a cabo un análisis más exhaustivo, analizamos por separado las tres misiones básicas de un sistema universitario (investigación, docencia y transferencia de tecnología). Nuestros resultados afirman que, en general, el rendimiento de las universidades públicas andaluzas en la misión docente es mejor que en las misiones investigadora y de transferencia de tecnología, aunque los valores de los indicadores sugieren que todas las universidades todavía tienen mucho margen de mejora. De hecho, la internacionalización de las universidades se presenta como uno de los focos claves de transformación en el campo de la educación superior, especialmente en el contexto europeo (OECD, 2012). Sin embargo, nuestros resultados muestran que la *"atracción internacional"* y las *"prácticas en empresa"* suponen una debilidad para la mayoría de las universidades públicas andaluzas. Asimismo, nuestros resultados revelan que las clasificaciones en el ranking de las universidades públicas andaluzas son más estables en la misión investigadora, no viéndose muy afectadas por ligeros cambios en la compensación permitida. En definitiva, de este artículo, podemos concluir que la metodología multicriterio ofrece un sistema de advertencia para ayudar en la toma de decisiones estratégicas. *Este trabajo está publicado en la revista "Journal of Informetrics", que cuenta con un factor de impacto JCR del 3,879 y está indexada en el primer cuartil en la categoría "Computer Science & Interdisciplinary Applications". Su índice de citas es de 13 en Google Scholar y su impacto de citas ponderadas en el campo, según la base de datos Scopus, es de 1,87 (fecha de referencia: 2 de febrero de 2021)*

La segunda parte de la presente tesis doctoral engloba algunas líneas de investigación adicionales relacionadas con estas publicaciones:

2.1. Para la toma de decisiones en nuestro entorno dinámico, el uso de los *ISs* se ha convertido en indispensable, ya que son herramientas poderosas para resumir, enfocar y condensar la complejidad de dicho entorno. No obstante, la información proporcionada por el *IS* debe ser máxima, permitiendo detectar áreas de mejora, en lugar de solo clasificar las unidades. Partiendo de ello, en este capítulo, llevamos a cabo un análisis comparativo de los *ISs* proporcionados por algunos métodos que permiten la construcción de *ISs* para diferentes grados de compensación. En concreto, a través de la construcción del índice de vulnerabilidad infantil, hemos comparado la información

proporcionada por el uso conjunto de las medias geométrica y aritmética, la Función *Mean-Min* (Tarabusi and Guarini, 2013), el enfoque Goal-Programming (Blancas et al., 2010) y el método *MRP-WSCI* (Ruiz et al., 2020). Además de la interpretación de cada uno de los *ISs* propuestos por las metodologías empleadas para el análisis comparativo, en el artículo se hace hincapié en las características más importantes de los enfoques analizados, tales como por ejemplo el significado de la distancia entre el escenario compensatorio y no compensatorio o la tendencia de la correlación entre ambos escenarios, a medida que el número de simulaciones aumenta. Cabe mencionar que, para este último caso, hemos llevado a cabo una serie de experimentos computacionales en los que todos los métodos se han aplicado a una serie de problemas generados de manera aleatoria. Nuestros resultados revelan que la Función *Mean-Min* y el método *MRP-WSCI* proporcionan una información más rica cuando se consideran ambos escenarios conjuntamente (compensatorio y no compensatorio). *Una versión extendida de este trabajo de investigación está publicada en la revista "Internacional Journal of Information Technology & Decision Making", que tiene un factor de impacto JCR del 1,894 y está indexada en el segundo cuartil en las categorías "Operations Research & Management Science" y "Computer Science & Information Systems".*

2.2. Por último, se propone una combinación del método *MRP-WSCI* con el análisis DEA para la evaluación del Sistema universitario público español en el año académico más reciente disponible, 2016-2017. Esta combinación nos permite tener en cuenta como resultados todos los aspectos considerados relevantes para evaluar el desempeño universitario e incorporar los recursos, de distinta naturaleza, que utilizan las universidades. Cabe mencionar que la construcción de los indicadores *MRP-WSCI* se ha llevado a cabo en un entorno robusto con respecto a los pesos de los indicadores y subbloques. De esta manera, además de analizar el rendimiento de las universidades, desde los dos escenarios de compensación, mediante el método *MRP-WSCI*, también llevamos a cabo un doble análisis de eficiencia, en el que los indicadores de resultados (compensatorios y no compensatorios) son confrontados con los recursos disponibles por cada una de las universidades. En concreto, nuestros resultados muestran que 18 universidades son eficientes en el escenario compensatorio, y 17 en el no compensatorio, mientras que 14 son eficientes en ambos análisis. Además, en promedio, los resultados de las universidades públicas españolas son bastante similares en ambos análisis (1,11 y 1,12, respectivamente). Esto nos pone de manifiesto que, manteniendo sus inputs en los niveles actuales, para operar de manera eficiente, las universidades españolas deberían aumentar, en promedio, sus outputs en un 11% en el escenario compensatorio y un 12% en el no compensatorio. En general, la mayoría de las universidades tienden a ser menos ineficientes cuando se analiza el rendimiento global. De hecho, nuestros resultados muestran que ciertas universidades son mucho más ineficientes en el escenario no compensatorio, mientras que, en el compensatorio, sus niveles de eficiencia mejoran sustancialmente. *Cabe resaltar que una versión extendida de este trabajo se encuentra actualmente en proceso de finalización para su envío a una revista de la base de datos JCR.*

En definitiva, una ventaja de esta tesis es la posibilidad de evaluar un sistema universitario desde diferentes perspectivas simultáneamente, desarrollando y usando *ISs* juntamente con el análisis de los indicadores individuales de rendimiento universitario. Además, la interpretación de los *ISs* propuestos resulta más intuitiva y fácil para el decisor, dado que representan la posición global de la universidad correspondiente con respecto a los niveles de referencia establecidos. Asimismo, se ha demostrado que la consideración de manera conjunta del escenario compensatorio y no compensatorio proporciona una información más rica para la toma de

decisiones. De hecho, además de proporcionar el rendimiento global de las universidades públicas españolas, el método multicriterio *MRP-WSCI* proporciona señales de alerta que permiten al usuario detectar malos desempeños en ciertos indicadores que de lo contrario podrían pasar desapercibidos. Además, la combinación del método *MRP-WSCI* con DEA proporciona una imagen más completa de las instituciones analizadas, ya que permite confrontar los indicadores de resultados con los recursos disponibles por cada una de las universidades, y en consecuencia permite detectar mejor las debilidades y fortalezas, facilitando así una toma de decisiones por parte de sus gestores acordes con ello.

Referencias:

- Attardi, R., Cerreta, M., Sannicandro, V., Torre, C. M. (2017). Noncompensatory composite indicators for the evaluation of urban planning policy: The Land-Use Policy Efficiency Index (LUPEI). *European Journal of Operational Research*, 264(2), 491-507.
- Blancas, F. J., Caballero, R., González, M., Lozano-Oyola, M., Pérez, F. (2010). Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in Andalusian coastal countries. *Ecological Economics*, 69, 2158-2172.
- Cabello, J., Ruiz, F., Pérez-Gladish, B., and Méndez-Rodríguez, P. (2014). Synthetic indicators of mutual funds' environmental responsibility: An application of the reference point method. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 313-325.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Climent, V., Michavila, F., and Ripollés, M. (2013). Los rankings universitarios, mitos y realidades. Tecnos, Madrid.
- El Gibari, S., Gómez, T., Ruiz, F. (2018). Evaluating university performance using reference point based composite indicators. *Journal of Informetrics*, 12, 1235-1250.
- El Gibari, S., Gómez, T., Ruiz, F. (2019). Building composite indicators using multicriteria methods: a review. *Journal of Business Economics*, 89, 1-24.
- Glanzel, W., Debackere, K. (2009). On the "multi-dimensionality" of ranking and the role of bibliometrics in university assessment. In C. Dehon, D. Jacobs, and C. Vermandele, editors, *Ranking universities*, pages 65-75. Editions de l'Université de Bruxelles.
- González-Garay, A., Pozo, C., Galán-Martín, A., Brechtelsbauer, C., Chachuat, B., Chadha, D., Hale, C., Hellgardt, K., Kogelbauer, A., Matar, O. K., Mc-Dowell, N., Shah, N., Guillén-Gosálbez, G. (2019). Assessing the performance of UK universities in the field of chemical engineering using data envelopment analysis. *Education for Chemical Engineers*, 29, 29-41.
- Hazelkorn, E. (2013). How Rankings are Reshaping Higher Education. In V. Climent, F. Michavila, M. Ripollés, editors, *Los Rankings Universitarios: Mitos y Realidades*, pages 49-60. Tecnos (ANAYA), Madrid.
- OECD (2012). *Assessment of Higher Education Learning Outcomes. Feasibility Study Report. Volume 1-Design and Implementation. Technical report*, OECD, Paris.
- Ruiz, F., Cabello, J. M., Luque, M. (2011). An application of reference point techniques to the calculation of synthetic sustainability indicators. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 189-197.
- Ruiz, F., El Gibari, S., Cabello, J. M., and Gómez, T. (2020). *MRP-WSCI: Multiple reference point based weak and strong composite indicators. Omega*, 95, 102060.
- Sanz-Casado, E. and De-Filippo, D. (2011). Observatorio IUNE: Una nueva herramienta para el seguimiento de la actividad investigadora del sistema universitario español. *Bordón* 63 (2), 2011, 101-115, ISSN: 0210-5934.101.
- Tarabusi, E. C., Guarini, G. (2013). An Unbalance Adjustment Method for Development Indicators. *Social Indicators Research*, 112, 19-45.

- Wierzbicki, A. P. (1980). The use of reference objectives in multiobjective optimization. In G. Fandel and T. Gal, editors, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 177, pages 468-486, Berlin. Springer-Verlag.
- Wierzbicki, A. P., Makowski, M., and Wessels, J., editors (2000). Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Ordinal treatment of ordered qualitative scales: analysis, methods and applications

Raquel González del Pozo
Universidad de Valladolid

Los procedimientos de toma de decisiones juegan un papel fundamental en la vida de los seres humanos y organizaciones. En multitud de ocasiones los individuos manifiestan sus opiniones y preferencias sobre un conjunto de alternativas respecto a uno o varios criterios con el fin de determinar una decisión colectiva: procesos de control de calidad, encuestas de satisfacción y calidad de vida, análisis de sistemas de evaluación de desempeño, elección de representantes políticos, evaluación de la actividad docente, etc.

En los numerosos procedimientos de toma de decisiones en los que las opiniones y valoraciones de los individuos no pueden ser evaluadas mediante valores numéricos precisos, es más apropiado adoptar un enfoque lingüístico. Por ejemplo, cuando se evalúan determinados aspectos sensoriales y subjetivos como la salud autopercebida, sentimientos personales o gustos y preferencias. En casos como los anteriores es frecuente manejar información de tipo cualitativo la cual puede venir expresada mediante palabras, términos lingüísticos u oraciones. Las palabras son el medio ms utilizado por los individuos para dar a conocer sus opiniones y preferencias y además son el principal competidor de la probabilidad a la hora de representar la incertidumbre. Por otra parte, la mejor comprensión de la información verbal y la dificultad para representar mediante valores numéricos exactos las opiniones de los individuos en situaciones de vaguedad e imprecisión, son algunas de las razones por las que las expresiones verbales son preferidas a las numéricas.

Debido a esta preferencia de los seres humanos por las palabras y a que en ocasiones es necesario manejar información que no puede ser valorada cuantitativamente, es frecuente el uso de escalas cualitativas formadas por un determinado número de etiquetas o términos lingüísticos.

Estas escalas cualitativas pueden dividirse en dos tipos: nominales y ordinales. Las nominales son aquellas que clasifican los elementos en categorías mutuamente excluyentes y exhaustivas. Así, la actividad profesional se puede modelizar a través de una escala nominal como la siguiente: {"profesor", "abogado", "médico", "cocinero"}. Por el contrario, las escalas cualitativas ordinales organizan los elementos siguiendo determinados criterios de orden o posición. Por ejemplo: las medallas de una prueba deportiva: {"bronce", "plata", "oro"} o el nivel de estudios de una población: {"sin estudios", "estudios primarios", "estudios secundarios", "estudios superiores"}.

Las escalas cualitativas formadas por términos lingüísticos son una de las herramientas más utilizadas en la investigación cualitativa. No obstante, algunas de las ventajas de estas escalas se ven contrarrestadas por el delicado análisis estadístico y matemático que precisan, puesto que no hay criterios definidos acerca de qué técnicas o procedimientos deben emplearse.

Algunos de los métodos propuestos para resolver este problema son: la asignación de valores numéricos o puntuaciones a cada uno de los términos lingüísticos de las escalas, el uso de

herramientas enmarcadas dentro de la lógica difusa como los modelos basados en números difusos (*fuzzy numbers*) y funciones de pertenencia o los modelos de representación lingüística. La asignación de valores numéricos o puntuaciones a los términos lingüísticos de las escalas es el método más empleado para analizar información procedente de escalas cualitativas. Sin embargo, la principal crítica que puede hacerse a este método es la subjetividad que aporta al utilizar valores numéricos para representar información cualitativa. Por otra parte, el uso de valores numéricos puede dar a entender que existe algún tipo de relación de proporcionalidad entre las categorías de respuesta. Sin embargo, esta relación no es cierta, puesto que en las escalas ordinales las diferencias entre los valores numéricos no miden ninguna magnitud que tenga sentido.

Otro factor que puede influir a la hora de analizar y manejar datos cualitativos es la forma en la que los individuos perciben este tipo de escalas. Habitualmente, las escalas cualitativas ordenadas son consideradas como uniformes, es decir, existe la misma proximidad entre todos los términos lingüísticos consecutivos que las componen los cuales se distribuyen de forma simétrica alrededor de un término o categoría de respuesta central. No obstante, en ocasiones, el sentido común, el valor semántico de las palabras, las diferencias culturales o incluso la propia personalidad de los individuos pueden hacer que las escalas cualitativas sean percibidas como no uniformes

Una escala cualitativa ordenada puede ser considerada no uniforme cuando los individuos aprecian proximidades psicológicas distintas entre los términos lingüísticos consecutivos de la misma. Así, por ejemplo, la escala cualitativa de cuatro términos que utiliza el CIS: {"nada", "poco", "bastante", "mucho"}, podría ser considerada como no uniforme si los individuos perciben que el término lingüístico "bastante" está más próximo a "mucho" que a "poco", o si el término "poco" está más próximo a "nada" que a "bastante".

En el contexto de las escalas cualitativas no uniformes, no es apropiado asignar valores numéricos o puntuaciones a los términos lingüísticos, ya que estos pueden no reflejar adecuadamente la percepción que tienen los individuos acerca de las proximidades entre los términos de las escalas.

En esta tesis, para manejar las escalas cualitativas no uniformes de una forma puramente ordinal, se utiliza el concepto de medida de proximidad ordinal introducido por García-Lapresta y Pérez-Román [4]. Dichas medidas de proximidad ordinal recogen a través de un conjunto de grados de proximidad la información sobre cómo perciben los individuos las proximidades entre los términos de las escalas.

Los principales objetivos de esta tesis son analizar, extender y aplicar las medidas de proximidad ordinal a diferentes contextos y disciplinas. Para ello, se han diseñado diversos procedimientos para generar y agregar medidas de proximidad ordinal, y se han propuesto nuevos modelos de toma de decisiones multi-criterio en los que se utilizan estas medidas.

Dichos objetivos son abordados a lo largo de los cuatro capítulos que conforman esta tesis doctoral. 3

En el **capítulo 1** se analizan los procedimientos de generación y agregación de medidas de proximidad ordinal. En él se introduce el concepto de medida de proximidad ordinal metrizable: medidas de proximidad ordinal en las que las comparaciones ordinales entre los términos lingüísticos pueden representarse a través de una métrica lineal sobre la escala cualitativa. Asimismo, en este capítulo se presenta un algoritmo que evita problemas e inconsistencias a la hora de generar medidas de proximidad ordinal metrizable en escalas cualitativas de cuatro términos. Este algoritmo permite obtener para cada experto su medida de proximidad ordinal metrizable a través de una secuencia apropiada de preguntas sobre las proximidades entre los términos de la escala.

Para evitar problemas e inconsistencias al agregar las opiniones de los expertos, se propone también en este capítulo un procedimiento de agregación basado en métricas ponderadas. Este procedimiento considera que la medida de proximidad ordinal metrizable colectiva es aquella que minimiza la suma de distancias (o suma de distancias al cuadrado) a las medidas de proximidad ordinal metrizable de los expertos.

En el **capítulo 2** se presenta una aplicación del sistema de votación introducido por García-Lapresta y Pérez-Román [5] a un conjunto de datos tomados del Barómetro del CIS.

En este capítulo se discute la metodología de agrupación de varias categorías de respuesta que realiza el CIS y otros organismos nacionales e internacionales como el Pew Research Center. Dicha práctica consiste en agrupar los resultados de determinadas categorías de respuesta (por ejemplo "mucho" y "bastante" o "very good" y "somewhat good"), descartándose el resto de categorías. La aplicación de esta metodología está asignando implícitamente un mismo valor numérico a las categorías de respuesta agrupadas y una puntuación nula a las categorías omitidas, por lo que se está produciendo una pérdida importante de la información cualitativa de las escalas.

A fin de evitar esta pérdida de información y considerar todas las categorías de respuesta de las escalas cualitativas, se ha ordenado un conjunto de alternativas procedentes del Barómetro del CIS a través del sistema de votación propuesto por García-Lapresta y Pérez-Román [5][5]. Dicho procedimiento está basado en la noción de medida de proximidad ordinal antes mencionado.

En el **capítulo 3** se introduce un procedimiento ordinal de toma de decisiones multi-criterio. Este sistema es una extensión del procedimiento propuesto por García-Lapresta y González del Pozo [3][1] y del sistema de votación introducido por García-Lapresta y Pérez-Román [5]. En concreto, el procedimiento propuesto ordena un conjunto de alternativas valoradas por un grupo de agentes respecto a múltiples criterios. Para realizar las valoraciones, los agentes pueden utilizar una escala cualitativa no necesariamente uniforme.

El procedimiento introducido en este capítulo también incorpora la posibilidad de duda, permitiendo a los agentes valorar las alternativas a través de uno o dos términos lingüísticos consecutivos cuando no estén seguros de qué término asignar. Para ello se introduce una extensión de las medidas de proximidad ordinal.

En el **capítulo 4** se propone un procedimiento de toma de decisiones multi-criterio que maneja información procedente de diferentes escalas cualitativas. Dicho procedimiento 4 pospone en todo lo posible el uso de valores numéricos con el fin de preservar y respetar la información ordinal de las escalas. El procedimiento propuesto permite a los agentes evaluar cada criterio a través de una escala cualitativa específica. Estas escalas cualitativas ordenadas pueden ser consideradas como no uniformes y estar formadas por un número distinto de términos lingüísticos.

Siguiendo los enfoques de la regla de Copeland y del método de decisión multi-criterio PROMETHEE II (véanse Copeland [1] y Brans y De Smet [2], entre otros), el procedimiento propuesto genera un ranking de alternativas basado en un principio intuitivo de compensación entre las ventajas y desventajas de cada alternativa con relación a sus oponentes.

Finalmente, en este capítulo también se incluye una comparación del procedimiento propuesto con los métodos SMAA-O (véase Lahdelma [6]) y ZAPROS III (véase Larichev [7]).

Referencias:

1. Copeland, A.H.: *A "Reasonable" Social Welfare Function*. Mimeo. University of Michigan Seminar on Applications of Mathematics to the Social Sciences. University of Michigan, USA, 1951.

2. Brans, J.P., De Smet, Y.: PROMETHEE methods. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (eds. S. Greco, M. Ehrgott, J. Figueira). International Series in Operations Research & Management Science 233. Springer, pp. 187-219, 2016.
3. García-Lapresta, J.L., González del Pozo, R.: An ordinal multi-criteria decision-making procedure in the context of uniform qualitative scales. In: *Soft Computing Applications for Group Decision-making and Consensus Modeling* (eds. M. Collan, J. Kacprzyk). Studies in Fuzziness and Soft Computing 357. Springer, pp. 297-304, 2018.
4. García-Lapresta, J.L., Pérez-Román, D.: Ordinal proximity measures in the context of unbalanced qualitative scales and some applications to consensus and clustering. *Applied Soft Computing* 35, pp. 864-872, 2015.
5. García-Lapresta, J.L., Pérez-Román, D.: Aggregating opinions in non-uniform ordered qualitative scales. *Applied Soft Computing* 67, pp. 652-657, 2018.
6. Lahdelma, R., Miettinen, K., Salminen, P.: Ordinal criteria in stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *European Journal of Operational Research* 147, pp. 117-127, 2003.
7. Larichev, O.I.: Ranking multicriteria alternatives: The method ZAPROS III. *European Journal of Operational Research* 131, pp. 550-558, 2001.