



Decisiones estratégicas en el medio rural y la franja urbano - rural

Aplicaciones con Análisis Multicriterio Discreto

Jorge D. de Prada, Estela R. Cristeche y Diego Tello

(Comps.)

C*UyE
Colección Vinculación y Educación

ISBN 978-987-688-531-7
e-book

UniRío
editora

CAPÍTULO 2

Métodos multicriterio discretos para la selección de alternativas y evaluación de la sostenibilidad

Tello, D.³; Cisneros, J. M.⁴ y Cristeche E.R.⁵

Resumen

La ordenación del territorio para el desarrollo sustentable implica la construcción de una visión compartida del futuro por los actores del sistema socio-ambiental. El principio de equifinalidad de los sistemas abiertos nos dice que pueden lograrse objetivos similares, por diferentes caminos o alternativas de planificación. El desafío entonces es encontrar métodos que permitan comunicar, evaluar y ayudar a la toma de decisiones sobre diferentes alternativas para alcanzar dicha meta. La evaluación de la sostenibilidad, implica la resolución de problemas complejos con múltiples actores y en muchos casos, criterios ambientales, sociales, económicos en conflicto, y en este sentido requiere de métodos que permitan seleccionar las alternativas evaluadas. Los métodos multicriterio discretos constituyen una herramienta fundamental para la elección de alternativas de manejo sostenible que posiblemente resuelvan

3 Investigador Asistente ISTE CONICET-UNRC. Docente Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Río Cuarto. dtello@fce.unrc.edu.ar

4 Docente del Departamento de Ecología Agraria, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

5 Investigadora Centro de Investigación en Economía y Prospectiva, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Contacto: cristeche.estela@inta.gob.ar

este tipo de problemas de carácter socio-ambiental. Si bien no existe un método discreto que sea el mejor en todos los procesos de apoyo a las decisiones, la elección de uno u otro dependerá del caso de planificación que se trate, de la información disponible y de los criterios a tener en cuenta para evaluar las alternativas y las capacidades del equipo profesional. Este capítulo aborda una descripción sintética de los principales métodos multicriterio discretos y sugiere una serie de recomendaciones para su implementación.

Palabras clave: análisis multicriterio discreto; sostenibilidad; territorios rurales y periurbanos

Introducción

Las problemáticas socio-ambientales en territorios rurales en Argentina asociadas a prácticas agropecuarias posiblemente se agudicen en un futuro si se continúa con los mismos manejos productivos. Argentina posee una de las tasas de mayor deforestación, fragmentación y degradación de los bosques nativos y pérdida de otros hábitats naturales asociada a la producción agropecuaria (FAO, 2016), se encuentra entre los diez países con mayor cantidad de incendios forestales (FAO, 2010b), todo ello con la consecuente pérdida de diversidad biológica (Medan *et al.*, 2011). Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector agropecuario, representan un tercio de las principales emisiones totales nacionales (PNAAyCC, 2019). Argentina ocupa el tercer lugar en consumo mundial de plaguicidas con fuertes efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana (Sharma *et al.*, 2019). Dos terceras partes de la superficie con aptitud de uso agropecuario están afectadas por erosión hídrica y eólica, habiéndose duplicado en el término de los últimos 40 años (Casas y Albarracín, 2015).

En este sentido, a los fines de resolver estas problemáticas socio-ambientales en territorios rurales, Argentina ha asumido compromisos internacionales para introducir cambios en el Estado y consecuentemente en el comportamiento de los agentes involucrados, en particular, en los productores agropecuarios. Argentina ha ratificado compromisos internacionales de mitigación y adaptación al cambio climático (Ley 27270, 2015), de protección de los humedales (Ley 23919, 1991), de conservación de la diversidad biológica (Ley 24375, 1994), de lucha contra la desertificación y sequía (Ley 24701, 1996) y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Resolución ONU N° 70/1, 2015).

A pesar de esta multiplicidad de instrumentos de política, no se observa una visión consensuada entre productores, el Estado y la sociedad, sino más bien una profundización de conflictos sociales que retroalimentan el problema a futuro. La población urbana percibe negativamente estos efectos no deseados de la producción agropecuaria, señalando como los principales responsables al Estado (por falta de fiscalización) y a los productores agropecuarios (por falta de compromiso) (Cabrimi *et al.*, 2018; Cristeche *et al.*, 2011). Adicionalmente, la población urbana reclama por nuevas agendas como perspectiva de género (FAO, 2010a) y por la necesidad de generación de nuevos puestos de trabajo y desarrollo económico para sus territorios (Picciani y Bustamante, 2020). Por su parte, al interior del sector agropecuario, existe una disputa entre agricultores de subsistencia, productores agrícolas y ganaderos capitalizados, con diferencias significativas en la percepción sobre los efectos no deseados de la producción agropecuaria en el territorio rural (Cáceres *et al.*, 2015). En consecuencia, es

frecuente encontrar conflictos sociales en los territorios, p. ej. entre los productores capitalizados y las comunidades originarias, campesinas, y organizaciones de asambleas ambientales urbanas (Cáceres, 2015).

Para enfrentar este tipo de problemas socio-ambientales se hace necesario asistir en la construcción de contratos sociales, y la planificación u ordenamiento territorial, puede aportar a ello. La planificación territorial brinda un marco conceptual que permite integrar las políticas agropecuarias, ambientales, de urbanización con efectos espaciales que se originan en el territorio (Gómez Orea, 2008). Si bien existen diferentes procedimientos para construir estos instrumentos, todos consideran como elemento fundamental construir una visión de largo plazo compartida, obtenida a través de procesos participativos. La elección de la visión ayuda a precisar la transición hacia ella, y orienta el marco de actuación del Estado en sus respectivos niveles jurisdiccionales, y permite alinear expectativas y el liderazgo colaborativo de los diferentes actores sociales involucrados.

De esta forma, para la construcción de la visión compartida se sugiere usar los métodos de apoyo a la decisión. Estos métodos ayudan a identificar y precisar los problemas estructurales y estructurantes del territorio, formular las posibles visiones y alternativas para lograrlas y asistir al gobierno y los otros actores del territorio, a priorizar aquello que crea conveniente incluir en su agenda política (de Prada *et al.*, 2018), y derivar la estrategia a seguir hacia la construcción del futuro deseado.

En general, existen dos tipos de método de apoyo a la decisión: monocriteriales y multicriteriales (Falconi y Burbano, 2004). En el primer método, el Análisis Beneficio Costo (ABC) es probablemente el más difundido (Boardman *et al.*, 2006). El ABC tiene como principal característica la transformación de los efectos de las alternativas, en valores o unidades monetarias (Pearce *et al.*, 2006). La regla de decisión en este caso es un indicador de rentabilidad que permite elegir la alternativa que mayor beneficio neto de costos genera a un grupo de interés determinado (evaluación privada) o a la sociedad en su conjunto (evaluación social). Las ventajas de este enfoque son: i) la regla de decisión es simple y fácil de interpretar, y ii) los valores monetarios obtenidos permiten la comparación con otros proyectos o alternativas (Penna *et al.*, 2011).

Sin embargo, para la construcción de la visión compartida este método monocriterial presenta limitaciones. El ABC asume que el tomador de decisión es racional (y optimizador), que la eficiencia económica es el principal propósito del sistema social, y que la información es completa. Sin embargo, Simon (1979) demuestra que las decisiones reales suelen estar orientadas por múltiples objetivos, generalmente en conflicto, y que el diseño de alternativas y la información en los procesos de toma de decisiones son generalmente incompletos y/o están limitados. En este sentido, hay problemas en los que no hay una solución que optimice al mismo tiempo todos los criterios, por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre los distintos valores e intereses, es decir, una solución que satisfice múltiples criterios.

A partir de estos aportes se desarrolla una metodología alternativa denominada análisis multicriterio. Los métodos multicriterio constituyen herramientas de la teoría de la decisión, para el análisis de diferentes alternativas representadas por variables de decisión, que son evaluadas a través del cumplimiento de objetivos, y valorados por criterios o atributos cualitativos y cuantitativos. La ventaja de aplicar métodos multicriterio en la resolución de problemas socio-ambientales complejos y de largo plazo en territorios rurales y periurbanos, no es encontrar una solución óptima sino su capacidad para explorar soluciones, generar y

evaluar alternativas y ganar en la percepción del problema, incluyendo otras dimensiones (con métricas más apropiadas a la naturaleza del problema).

En particular, en las últimas décadas se ha desarrollado un crecimiento significativo en las aplicaciones de resoluciones a este tipo de problemas mediante métodos multicriterio discretos. La construcción de una visión compartida se desarrolla en un contexto de múltiples alternativas, información inexacta, criterios en conflicto y con múltiples actores. En este sentido, uno de los enfoques multicriterio más desarrollados para este tipo de problemas es el que brindan los métodos multicriterios discretos (Huang *et al.*, 2011). El análisis multicriterio discreto permite ordenar y seleccionar una alternativa entre un conjunto limitado y competitivo de las mismas (Kangas *et al.*, 2015).

Las etapas de diagnóstico, análisis de escenarios, elaboración y valoración de las alternativas para diferentes criterios, da como resultado operativo la construcción de una matriz, denominada matriz principal o matriz decisional con los elementos R_{ij} , $i = 1 \dots m$ alternativas y $j = 1 \dots n$ criterios o atributos (Figura 2.1). R_{ij} toma los valores de las alternativas en cada criterio, conocidos también, como coeficientes técnicos de la matriz. La variable ponderación es una medida de la importancia que los decisores le asignan a cada uno de los criterios. Para clarificar la terminología se utilizarán como sinónimos los términos criterio y atributo, ponderación o peso.

	CRITERIOS (ATRIBUTOS)					
		C_1	C_2	C_j	...	C_n
ALTERNATIVAS	A_1	R_{11}	R_{12}	R_{1j}	...	R_{1n}
	A_2	R_{21}	R_{22}	R_{2j}	...	R_{2n}
	A_i	R_{i1}	R_{i2}	R_{ij}	...	R_{in}

	A_m	R_{m1}	R_{m2}	R_{mj}	...	R_{mn}
PONDERACION (PESO)		P_1	P_2	P_j	...	P_n

Figura 2.1: Esquema de la matriz principal utilizada en los métodos multicriterio discretos. Fuente: Elaborada en base a Romero (1993)

Los diferentes métodos multicriterio discretos varían en sus procedimientos para evaluar esta matriz de decisión, y ayudar a encontrar la alternativa mejor posicionada o preferida, frente a la complejidad del problema o los conflictos y considerando, las dimensiones económica, social y ambiental de la sostenibilidad.

El objetivo de este capítulo es realizar una introducción a las principales familias de análisis multicriterio discreto: 1) de medición de valor o utilidad multiatributo (también conocidos como métodos basados en *ranking*), 2) de sobreclasificación, 3) de nivel de preferencias o distancias.

Métodos de valor o utilidad multiatributo

Los métodos de utilidad multiatributo han sido desarrollados por autores de Estados Unidos, también conocidos como métodos de decisión multicriterios de la escuela americana. La característica principal de estos métodos de medición de valor o *ranking* es que produce puntajes para cada alternativa a partir de la asignación *a priori* de los pesos de cada criterio y la modelización de las preferencias a través de una función de valor (Palacios Saldaña y Pacheco Bonrostro, 2016). De manera que a cada atributo se le asigna un peso que representa su contribución parcial a una función de utilidad múltiple atributo, y permite asignar a cada alternativa un valor numérico (puntaje) para poder determinar el orden de preferencia (Palacios Saldaña y Pacheco Bonrostro, 2016). Por su naturaleza esta familia de métodos obtiene puntajes de manera aditiva y admite las compensaciones entre criterios para finalmente establecer un *ranking* de alternativas.

Método de las Jerarquías Analíticas (AHP)

Este método fue desarrollado por Saaty (1977), también conocido como AHP (*Analytical Hierarchy Process*, AHP, por sus siglas en inglés). AHP es un método de medición de alternativas a partir de criterios cualitativos o intangibles que utiliza comparaciones por pares junto con juicios de expertos (Filgueira *et al.*, 2005). El mismo descompone un problema complejo a través de una jerarquización determinando qué variables tienen mayor prioridad para la resolución de dicho problema. Se modeliza la solución al problema mediante un árbol de jerarquías, compara de a pares las alternativas a partir de la construcción de matrices que reflejan la importancia relativa de cada variable asignada por el decisor de acuerdo a la información relevada por el técnico, y finalmente se define el *ranking* de prioridad de las alternativas. El método cuenta con una escala de nueve grados (entre +9 cuando una opción es extremadamente preferida, 0 cuando es indiferente y -9 cuando es extremadamente no preferida) para describir una ventaja de una alternativa sobre otra. Los valores de las matrices de comparación en pares se multiplican por los vectores de preferencia criterial (que se calculan como la media aritmética de la valoración de cada criterio en la matriz de comparación de a pares), y posteriormente el vector de resultados obtenido permite establecer una clasificación de las alternativas en un *ranking* de mejor a peor. Para más detalles del desarrollo metodológico de AHP (Saaty, 1977)

Para una aplicación del método AHP ver estudio de caso de ordenamiento de una cuenca en el sur de Córdoba con 12 alternativas y 13 criterios (Cisneros, 2010, Antón *et al.*, 2016) o en la planificación de usos múltiples de los recursos forestales en los bosques de gestión privada de Finlandia (Kangas, 1991).

Método de la suma ponderal simple

El método evalúa alternativas respecto a criterios individuales que se normalizan (es decir toman valores entre 0 y 1) proporcionalmente a la evaluación más alta con respecto a cada

uno de los criterios. Según Wątróbski *et al.* (2019) la agregación de preferencias se reduce a determinar un producto de pesos de un criterio y a la evaluación de una variante con respecto a este criterio. Requiere hacer evaluaciones cuantitativas de los criterios y los pesos. El orden de las alternativas se obtiene de la suma producto del valor de cada alternativa con respecto a cada criterio, y normalizada por su correspondiente peso. A continuación, se suman todos estos productos para una alternativa determinada, y la que obtiene el mayor puntaje es la preferida. Para una aplicación del método ver estudio de caso de evaluación integrada de los servicios de los ecosistemas del viñedo que rodean al Parque Nacional de Doñana, España (Langemeyer *et al.*, 2018).

Una variante a este procedimiento lo constituye el Método MAUT (Método de utilidad multiatributo). Este método determina una clasificación de alternativas con el uso de la función de utilidad en forma aditiva. Según Wątróbski *et al.* (2019) se ponderan los criterios, y se agregan las utilidades derivadas de los criterios individuales con el fin de obtener una utilidad para cada alternativa. Se ordenan las alternativas de mayor a menor utilidad. Para una aplicación del método ver estudio de caso de gestión de los sedimentos contaminados para el puerto de Nueva York / Nueva Jersey, EEUU (Kiker, Bridges y Kim, 2008).

Métodos de decisión multicriterio discreto basados en sobreclasificación

También conocida como escuela europea, esta familia de métodos se caracteriza por establecer relaciones binarias (de a pares) entre las diferentes alternativas por umbrales de preferencia, es decir la mínima diferencia entre alternativas que hace que una sea mejor que otra (Palacios Saldaña y Pacheco Bonrostro, 2016). Se elaboran dos indicadores. Uno de fortaleza cuando una alternativa supera a las otras en algún criterio, y el otro indicador de debilidad cuando ésta es superada por las otras alternativas (Roy, 1991). Este tipo de métodos promueve un proceso deliberativo entre los actores involucrados ya que los tomadores de decisiones juegan un rol importante en la aplicación, asignando la importancia de cada criterio, definiendo la dirección de los objetivos, los umbrales de preferencia e indiferencia en el valor de los criterios (pseudocriterios), y reconsiderando los valores definidos previamente una vez conocidos los resultados preliminares el modelo a partir de los resultados preliminares, hasta encontrar una solución satisfactoria (Brans y De Smet, 2016).

Método ELECTRE⁶ (Método de eliminación y elección traduciendo la realidad)

El método ELECTRE permite evaluar ventajas y desventajas entre las alternativas en cada criterio y jerarquizarlas en orden de preferencia, de mejor a peor. Existen 6 métodos ELECTRE: I, II, III, IV, IS y TRI. Este método fue desarrollado por Roy (1985), y permite la selección de alternativas según relaciones de concordancia (A es mejor que B para un criterio dado) y discordancia (A es indiferente a B para un determinado criterio), en donde cada criterio lleva asociado un cierto peso asignado por el/los decisor/es. Ambas relaciones son luego integradas a partir de la aplicación de un algoritmo matemático por etapas que resulta en una matriz de dominancia agregada que permite determinar las alternativas que dominan (sobreclasifican) y que no son dominadas, a partir de la cual se produce una agregación de resultados que se traduce en un grafo semejante al del ejemplo de la Figura 2.3

⁶ ELECTRE (Elimination et choix traduisant la réalité)

que permite establecer un ordenamiento de alternativas de la más a la menos preferida. Para una descripción de la aplicación paso a paso de los métodos ELECTRE I, II, III y IV, consultar Roy (1991). Este método ha sido utilizado en evaluación de alternativas de ordenamiento de cuencas (Cisneros, 2010, Figura 2.3) y en problemas de localización de infraestructuras (Hokkanen y Salminen, 1997), entre otros.

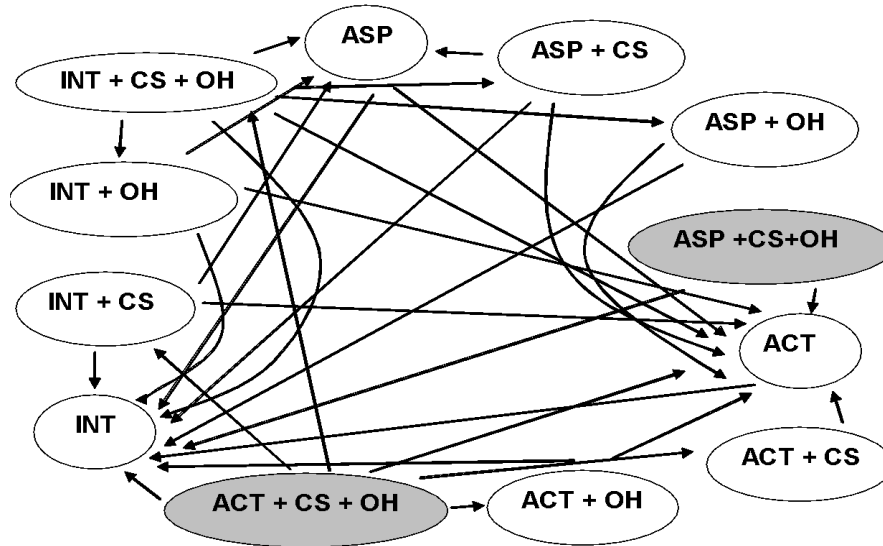


Figura 2.3: Grafo de ELECTRE donde se indican las relaciones de dominación (flechas que salen) de las alternativas ACT+CS+OH y ASP+CS+OH hacia el resto de las alternativas. Se concluye que estas alternativas son las preferidas por este procedimiento multicriterio (Detalles en Cisneros, 2010)

Método PROMETHEE (Método de organización de un ranking de preferencias para enriquecer la evaluación)

Este método fue desarrollado por Brans y Vincke (1985). Este método clasifica las alternativas en dominantes, dominadas o incomparables. Ordena las alternativas en base a diferentes procedimientos de asignación de valor a las diferencias entre criterios. Los criterios para los cuales la alternativa A es mejor que la B producen un cierto valor (fortaleza), y viceversa (debilidad), siendo la opción preferida aquella que muestra en el agregado las mayores fortalezas (expresadas por un valor con signo positivo) y menor debilidad (signo negativo), es decir el mayor valor neto. Todos los casos de estudio compilados en este libro aplican dicho método y en el capítulo 3 se presenta una guía de aplicación paso a paso del mismo al caso de expansión urbana de la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Métodos de nivel de preferencias o distancias

Este grupo de métodos tiene su origen en el método de “Programación Compromiso” y se basan en una función de agregación que representa la “cercanía al ideal” (Palacios Saldaña y Pacheco Bonrostro, 2016). La alternativa ideal se entiende como aquella que supera al resto en todos los criterios. En la aplicación de estos métodos la alternativa preferida es la más próxima a la ideal. A diferencia de los métodos de sobreclasificación en este tipo de métodos el único proceso de participación de parte del decisor es en la asignación de pesos a los criterios.

Método TOPSIS (Técnica para la preferencia del orden por similitud a la solución ideal)

Este método fue desarrollado por Yoon y Hwang (1985). Representa todas las alternativas como puntos en un espacio euclidiano y ordena las mismas en función de las distancias relativas a una solución ideal y a una solución anti-ideal (Opricovic y Tzeng, 2004). En este método se modela el problema, posteriormente define la matriz de decisión (conjunto de alternativas y criterios y el peso de cada criterio establecidos por el decisor), normaliza la matriz de decisión y construye la matriz de decisión normalizada ponderada (divide cada componente de la matriz por la norma del vector columna que integra), determina la alternativa ideal positiva (alternativa de mejor valor de la matriz normalizada ponderada) y la alternativa anti-ideal (alternativa de peor valor de la matriz normalizada ponderada), se calculan las medidas de distancia de cada alternativa a las alternativas de solución ideal y anti-ideal para determinar un ratio de proximidad relativa que se utilizará para ordenar las preferencias (Wańtróbski *et al.*, 2019). Para consultar el desarrollo paso a paso del método TOPSIS consultar Yoon y Hwang (1985). Este método ha sido utilizado para analizar la evaluación de alternativas productivas sostenibles de producción agraria en una cuenca del centro-sur de Córdoba, Argentina (Degioanni, Camarasa-Belmonte y Moreno Sanz, 2010) (Figura 2.3).

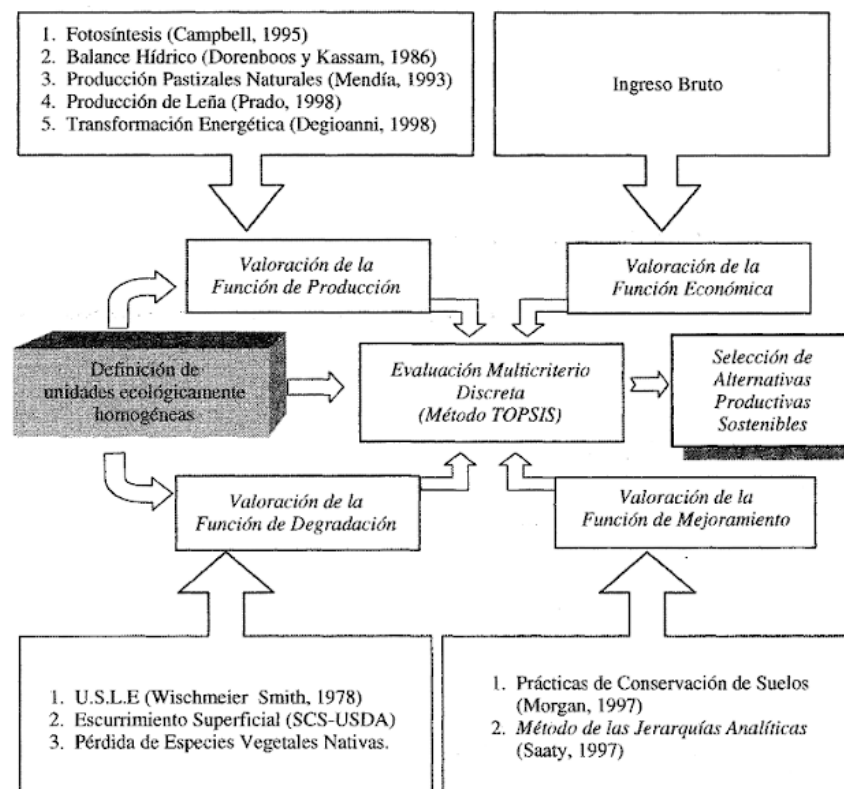


Figura 2.4: Esquema metodológico de aplicación de TOPSIS donde se indica el procedimiento para la evaluación de alternativas productivas sostenibles de producción agraria en un territorio rural (Detalles en Degioanni, Camarasa-Belmonte y Moreno Sanz, 2010)

VIKOR (Solución por compromiso para optimización multicriterio).

El método fue desarrollado por Opricovic (1998). El método VIKOR obtiene una solución de compromiso en función de una solución ideal de referencia. En primer lugar, se modela la solución al problema, definiendo las alternativas y los criterios para evaluarlas. Luego, se determinan la mejor y peor evaluación de cada criterio seleccionado. A diferencia del método TOPSIS usa una normalización lineal y los valores normalizados no dependen de la unidad de evaluación de un criterio. Posteriormente, se calculan medidas de utilidad y medidas de arrepentimiento para cada alternativa con respecto a cada criterio. A continuación, los valores mínimos y máximos de cada alternativa, cuya agregación en un índice denominado Q permite determinar la posición de una alternativa en la clasificación (Wątróbski *et al.*, 2019). El método VIKOR no suele ser empleado de manera independiente, en general se usa de manera complementaria junto con métodos como AHP, ELECTRE o PROMETHEE, que desarrollan y trabajan las alternativas, los criterios y sus pesos, para finalmente aplicar VIKOR en la fase final. Para una descripción detallada paso a paso del desarrollo del método consultar Opricovic y Tzeng (2007). Para una aplicación de VIKOR en combinación con AHP (para asignar los pesos de importancia relativa de los atributos) ver estudio de caso de selección de un proyecto de Energía Renovable en España (San Cristóbal, 2011).

Métodos híbridos: el caso del método de Modelización Interactiva Secuencial para Sistemas Urbanos (SIMUS)

Adicionalmente se describe un método desarrollado recientemente, que incorpora el apoyo a la toma de decisiones de problemas complejos a partir de un sistema híbrido de combinaciones de métodos de categorías anteriores. Este método se denomina Modelización Interactiva Secuencial para Sistemas Urbanos (SIMUS) y fue desarrollado por Munier (2011) y combina programación lineal, métodos de suma ponderada y de superación (outranking).

Munier, Hontoria y Jiménez-Sáez (2019) señalan que este método emplea el algoritmo de programación lineal Simplex para producir una matriz eficiente de Pareto y así obtener una solución óptima (puntuaciones) para cada objetivo. Posteriormente, a partir de la matriz obtenida, se analiza verticalmente y se usa para ponderar las sumas de puntajes, para encontrar el puntaje total para cada alternativa. Finalmente, examina la matriz horizontalmente mediante el concepto de superación (outranking), lo que también produce un puntaje para cada alternativa. Sin embargo, aun cuando los puntajes sean diferentes para los dos procedimientos, la selección de la mejor alternativa y la clasificación correspondiente son siempre iguales para ambos; esto es equivalente a resolver el mismo problema a través de dos métodos diferentes y obtener el mismo resultado. Entre las principales limitaciones los autores reconocen que algunos problemas reales no pueden ser abordados por programación lineal, ya que en esa etapa del procedimiento se trabaja con un único criterio objetivo y cuantitativo por vez.

Algunas recomendaciones para la selección del método

En primer lugar, es necesario señalar que no existe un método que, *a priori*, sea el mejor en todos los procesos de apoyo a las decisiones. Se recomienda, para la elección del método multicriterio discreto, tener en cuenta, el análisis de los siguientes cinco factores:

- *Nivel de planificación*: para propósitos de planificación de tipo estratégica y regional, normalmente con situaciones con un número finito y pequeño de alternativas discretas y un número grande de criterios y de tomadores de decisión, pueden aplicarse los métodos de sobreclasificación (Kangas *et al.*, 2001). Para propósitos de planificación táctica y predial, normalmente con un gran número de alternativas de programas de producción, se necesitan procedimientos de optimización más eficientes y se recomienda aplicar los métodos MAUT o bien métodos multicriterios continuos (Kangas *et al.*, 2001). No obstante, Cisneros (2010) analiza la variabilidad en la elección de alternativas por diferentes métodos discretos y concluye que muestran alta consistencia para elegir alternativas similares, en contextos de planificación a escala regional de cuencas.
- *Información disponible*: los métodos AHP o MAUT en general se recomiendan en los casos en que se disponga de información cardinal (Laukkanen *et al.*, 2002). Los métodos de sobreclasificación se han recomendado por su capacidad de tratar con información ordinal y sobre las alternativas a evaluar con alto grado de incertidumbre sobre los valores de los criterios (Kangas *et al.*, 2001).
- *Evaluación de las alternativas*: los métodos de sobreclasificación son usados para clasificar alternativas con un orden de preferencia ordinal, en tanto los métodos MAUT dan una medida de prioridades relativas a las alternativas (Laukkanen *et al.*, 2002).
- *Compensaciones*: los métodos basados en *ranking* se basan en un modelo de utilidad lineal aditivo y, por lo tanto, son totalmente compensatorios; los métodos de sobreclasificación tienen elementos compensatorios y no compensatorios; y los métodos de nivel de preferencias o distancias eligen una solución de compromiso y son no compensatorios (Laukkanen *et al.*, 2002).
- *Facilidad de comunicación*: En este sentido el método PROMETHEE y el de la suma ponderal, aparecen como más intuitivos y fáciles en su comprensión por parte del público, trabajan con un *ranking* lineal (suma ponderal) o con criterios de fortalezas y debilidades, que son fácilmente asimilables. Por el contrario, ELECTRE y AHP y los *métodos de nivel de preferencias o distancias* debido a la complejidad de los algoritmos de cálculo son más difíciles de comunicar.

Referencias bibliográficas

- Antón, J.M., J. B. Grau, J. M. Cisneros, A. M. Tarquis, F. V. Laguna, J. J. Cantero, D. Andina, E. Sánchez. (2016). Discrete multi-criteria methods for lands use and conservation planning on La Colacha in Arroyos Menores (Río Cuarto, Province of Córdoba, Argentina). *Annals Operations Research*, 245, 315–336 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1606-6>
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2006). *Cost-benefit analysis: concepts and practice* (3rd Edition (ed.)). Prentice Hall.
- Brans, & De Smet. (2016). PROMETHEE Methods. En S. Greco, M. Ehrgott, & J. R. Figueira (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 187-219). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_6
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method. *Management Science*, 31(6), 647-656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>

- Cabrini, S., Cristeche, E., de Prada, J., Dupleich, J., Engler, P., Espósito, M., Manchado, J. C., Mathey, D. ., Natinzon, P., Schutz, P., Tello, D., & Vicente, G. (2018). Percepción sobre el Impacto Ambiental de la Producción Agropecuaria de la Región Pampeana Argentina. En 1o Congreso Latinoamericano sobre Conflictos Ambientales: Oportunidades para una Gestión Sustentable del Territorio. Universidad Nacional de General Sarmiento. <http://www.ungs.edu.ar/colca2014/wp-content/uploads/2014/08/Libro-Resumenes-COLCA.pdf>
- Cáceres, D. M. (2015). Accumulation by Dispossession and Socio-Environmental Conflicts Caused by the Expansion of Agribusiness in Argentina. *Journal of Agrarian Change*, 15(1), 116-147. <https://doi.org/10.1111/joac.12057>
- Cáceres, D. M., Tapella, E., Quétier, F., & Díaz, S. (2015). The social value of biodiversity and ecosystem services from the perspectives of different social actors. *Ecology and Society*, 20(1). <https://doi.org/10.5751/es-07297-200162>
- Casas, R., & Albarracín, G. (2015). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. PROSA. Centro Para la Promoción de la Conservación del Suelo y el Agua.
- Cisneros, J.M. (2010). Bases para el ordenamiento territorial del sur de Córdoba (Argentina). El caso de la Cuenca de los Arroyos Menores. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/66178/1/JOSE_MANUEL_CISNEROS_IRAOLA.pdf
- Cristeche, E., Mathey, D., Tello, D. ., & de Prada, J. . (2011). Percepción y conocimiento de los efectos ambientales de la producción agropecuaria en el sur de la provincia de Córdoba, Argentina. . En J. I. de E. A. y Agroindustriales (Ed.), VII Jornadas interdisciplinarias de estudios agrarios y agroindustriales. CIEA, UBA. Buenos Aires. AR. 2011. 20 p. ISBN: 978-987-657-602-4.
- Degioanni, A. J., Camarasa-Belmonte A.M., Moreno Sanz, F. (2010). Evaluación de los recursos naturales para un uso y gestión sostenible de la producción agraria en una cuenca del centro-sur de Córdoba (Argentina). *Estudios Geográficos* 62(243). [DOI:10.3989/eggeogr.2001.i243.284](https://doi.org/10.3989/eggeogr.2001.i243.284)
- de Prada, J.D., Degioanni, A.J., Cisneros, J.M., Cantero Gutiérrez, A., Gil, H., Tello, D., Pereyra, C. & Giayetto.O. (2018). Planificación territorial: elección multicriterio interactiva del patrón de urbanización. Estudio de caso: Río Cuarto, Córdoba, Argentina//Territorial Planning: Interactive Multi-Criteria Decision for Urban Patterns. Case Study: Río Cuarto, Córdoba, Argen. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 26, 25-51. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2630>
- Falconi, F., & Burbano, R. (2004). Economic tools for environmental management: mono-criteria vs. multi-criteria decisions. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, 11-20.
- Figueira, J., Greco, S. y Ehr Gott, M. (Eds.). (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. Springer.
- FAO. (2010a). El Estado Mundial de la agricultura y la alimentación. Las mujeres en la agricultura: cerrar la brecha de género en aras del desarrollo (FAO (ed.)). <http://www.fao.org/publications/sofa/2010-11/es/>
- FAO. (2010b). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>
- FAO. (2016). Evaluación de los recursos forestales 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/6547e46e-3e6f-4c47-8dcb-8c5c19a18e00/>

- Gómez Orea, D. (2008). Ordenación Territorial. 2da. Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
- Hokkanen, J. and P. Salminen. (1997). Electre III and IV decision aids in an environmental problem. *J. Multi-crit. Decis. Anal.* 6: 215-226.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578-3594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>
- Kangas, A., Kangas, J., & Pykäläinen, J. (2001). Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. *Silva Fennica*, 35(2). <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532531/outranking.pdf;sequence=1>
- Kangas, A., Kurttila, M., Hujala, T., Eyvindson, K., & Kangas, J. (2015). Multi-criteria Decision Problems. En *Decision Support for Forest Management. Second Edition (Vol. 30)*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23522-6_4
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., & Kim, J. (2008). Integrating comparative risk assessment with multi-criteria decision analysis to manage contaminated sediments: an example for the New York/New Jersey harbor. *Human and Ecological Risk Assessment*, 14(3), 495-511.
- Langemeyer, J., Palomo, I., Baraibar, S., & Gómez-Baggethun, E. (2018). Participatory multi-criteria decision aid: operationalizing an integrated assessment of ecosystem services. *Ecosystem services*, 30, 49-60.
- Laukkanen, S., Kangas, A., & Kangas, J. (2002). Applying voting theory in natural resource management: A case of multiple-criteria group decision support. *Journal of Environmental Management*, 64(2), 127-137. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0511>
- Medan, D., Torretta, J. P., Hodara, K., de la Fuente, E. B., & Montaldo, N. H. (2011). Effects of agriculture expansion and intensification on the vertebrate and invertebrate diversity in the Pampas of Argentina. *Biodiversity and Conservation*, 20(13), 3077-3100. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0118-9>
- Munier, N. (2011). Procedimiento fundamentado en la programación lineal para la selección de alternativas en proyectos de naturaleza compleja y con objetivos. Tesis Doctoral presentada por Nolberto Munier en la Universitat Politècnica de València: "Programa de Doctorado en Diseño, Fabricación y Gestión de Proyectos Industriales".
- Munier, N., Hontoria, E., & Jiménez-Sáez, F. (2019). Strategic approach in multi-criteria decision making (Vol. 275). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. Faculty of Civil Engineering, Belgrade. [http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Opricovic,+S.+\(1998\).+&btnG=&clr=#3](http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Opricovic,+S.+(1998).+&btnG=&clr=#3)
- Opricovic, Serafim, & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2), 514-529.
- Palacios Saldaña, R., & Pacheco Bonrostro, J. (2016). Los métodos de decisión multicriterio discretos. Un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones. *Anáhuac Journal*, 16(1), 47-78. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=126288689&lang=es&site=eds-live>

- Pearce, Atkinson, & Mourato. (2006). Cost-benefit analysis and the environment: recent developments. Organisation for Economic Cooperation and Development. http://www.lne.be/themas/beleid/milieueconomie/downloadbare-bestanden/ME11_cost-benefit_analysis_and_the_environment_oeso.pdf
- Penna, J. A., de Prada, J., & Cristeche, E. (2011). Valoración económica de los servicios ambientales: teoría, métodos y aplicaciones. Capítulo 4. En INTA (Ed.), Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. INTA. http://ced.agro.uba.ar/ubatic/sites/default/files/files/libro_serv_ecosist/pdf/Capitulo_04.pdf
- Picciani, A. L., & Bustamante, M. (2020). ¿Ciudad del campo o en el campo? dinámica e incorporación de núcleos poblacionales del sur de Córdoba a la modernización agropecuaria. el caso de la localidad de la Cautiva. Revista Americana de Emprendedorismo e Inovação, 2(1), 288-301.
- PNAAyCC. (2019). Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático. Versión 1-2019. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/agro>
- Romero, C. (1993). Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza Editorial. ISBN: 978-842-068-144-3
- Roy. (1985). Méthodologie multicritère d" aide à la décision. Economica.
- Roy. (1991). The outranking approach and the foundations of electre methods. Theory and Decision, 31(1), 49-73. <http://www.lamsade.dauphine.fr/~mousseau/pmwiki-2.1.5/uploads/Research/Roy91.pdf>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- San Cristóbal, J. R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method. Renewable energy, 36(2), 498-502.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Ramakrishnan, M., Kumar, S., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. SN Applied Sciences, 1(11), 1446. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>
- Simon, H. A. (1979). Rational decision making in business organizations. The American Economic Review, 69(4), 493-513. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34020338/Simon_1979_Rational_Decision_Making_1.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1502291860&Signature=IU2OO%2FfUfFA3nQHUXxlKnhJM02Y%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DRational
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. Omega (United Kingdom), 86, 107-124. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
- Yoon, K., & Hwang, C. L. (1985). Manufacturing plant location analysis by multiple attribute decision making: Part isingle plant strategy. International Journal of Production Research, 23(2), 345-359. <https://doi.org/10.1080/00207548508904712>