

05-037

SELECTION OF OPTIMAL LOCATIONS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE NORTHWEST OF THE REGION OF MURCIA THROUGH SIG AND ELECTRE-TRI

Sánchez Lozano, Juan Miguel ¹; Garcia Cascales, M. Socorro ²; Lamata, M. Teresa ³;
Roca Gonzalez, Jose Luis ¹; Conesa Pastor, Julian ⁴

¹ Centro Universitario de la Defensa. Academia General del Aire. Universidad Politécnica de Cartagena, ² Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos. Universidad Politécnica de Cartagena, ³ Departamento de C

The initial step that any promoter of solar photovoltaic systems must face consists of choosing a suitable location for the installation. To do this, it will be necessary to discard those areas (restrictions) where as a result of the current legislative framework it is not possible to implement this type of technologies. However, when choosing the best site among the suitable locations, an exhaustive analysis of the current state of the territory should be carried out, since each one of the criteria that influence the decision (area, slope, distance to grids, solar radiation, etc.) should be taken into account. Therefore, it will be necessary to solve a multicriteria decision problem consisting in evaluating a large number of alternatives according to a set of criteria. In order to solve this problem, in this paper the combination of a spatial visualization tool such as Geographic Information Systems (GIS), with the decision methodology ELECTRE-TRI is proposed. In this way, it would be possible to classify the optimal locations through predefined categories. The territory chosen to carry out this study will be the northwest of the Region of Murcia.

Keywords: *Geographic Information Systems (GIS); ELECTRE-TRI; photovoltaic solar systems; restrictions; criteria; categories*

SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS ÓPTIMOS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN EL NOROESTE DE LA REGIÓN DE MURCIA MEDIANTE SIG Y ELECTRE-TRI

La etapa inicial que debe afrontar cualquier promotor de sistemas solares fotovoltaicos diseñados para verter la energía generada a la red, consistirá en elegir un adecuado emplazamiento. Para ello, será necesario descartar inicialmente aquellas zonas (restricciones) en las que como consecuencia del correspondiente marco legislativo en vigor no sea posible implantar este tipo de tecnologías. Sin embargo, a la hora de seleccionar cual es el mejor emplazamiento entre todos aquellos disponibles, habrá que efectuar un profundo análisis del estado actual del territorio ya que, se deberán tener en cuenta todos aquellos criterios que influirán en la decisión (área, pendiente del terreno, distancia a redes eléctricas, radiación solar, etc.). Por tanto será preciso resolver un problema decisión multicriterio compuesto por un número elevado de alternativas a evaluar en función de una serie definida de criterios. Para resolver este problema, en este artículo se propone combinar una herramienta de representación y análisis espacial tipo SIG (Sistemas de Información Geográfica), con la metodología de decisión ampliamente conocida en la actualidad ELECTRE-TRI, de esta manera se pretende clasificar los emplazamientos óptimos por categorías. La zona de estudio escogida para abordar este análisis será el Noroeste de la Región de Murcia.

Palabras clave: *Sistemas de Información Geográfica; ELECTRE-TRI; sistemas solares fotovoltaicos; restricciones; criterios; categorías*

Correspondencia: Juan Miguel Sánchez Lozano juanmi.sanchez@tud.upct.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la DGICYT mediante el proyecto TIN2014-55024-P

1. Introducción

A finales del siglo XIX comenzó a sospecharse que se habían producido cambios naturales en las condiciones climáticas del planeta Tierra y se identificó por primera vez el efecto invernadero (Arrhenius, S., 1896). La comunidad científica alertó a la población sobre la amenaza que planteaba dicho descubrimiento y los efectos que podía provocar en el clima. La recogida de datos medioambientales efectuada a mediados del siglo XX permitió demostrar que las concentraciones de dióxido de carbono (principal causante del aumento del efecto invernadero) en la atmósfera estaban creciendo con mucha rapidez.

En 1990, a través del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático, creado mediante el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, se demostró la veracidad del calentamiento atmosférico y al mismo tiempo se solicitó a la comunidad internacional la adopción de medidas con el objetivo de mitigarlo (Working Group I/II/III, 1990). Como medida de respuesta, la Organización de Naciones Unidas marcó como objetivo principal en 1992 lograr la estabilidad de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impidiera interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Sin embargo no fue hasta el año 1997 cuando en la cumbre de Kioto (United Nations, 1997), se indicó la limitación de emisiones netas de efecto invernadero para los principales países desarrollados y con economías en transición.

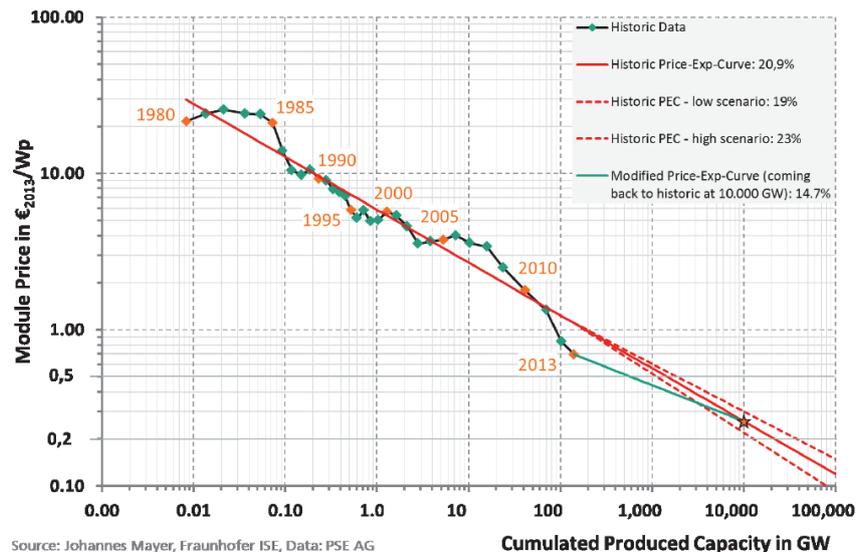
A nivel europeo también se reconoció a través del Libro Verde (European Commission, 1996) y el Libro Blanco (European Commission, 1997) la necesidad de realizar una gestión eficaz de todos los recursos disponibles mediante una combinación de combustibles equilibrada, en la que cada una de las fuentes de energía desempeñase su papel con el objetivo de apoyar un crecimiento económico sostenible. Hoy en día, a pesar de la crisis financiera y económica que está afectando a un elevado número de estados miembros, aún se mantiene en vigor esta apuesta reflejada en la Directiva 2009/28/CE (European Parliament, 2009) en la que se establecen como objetivos obligatorios nacionales, alcanzar una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía y, una cuota del 10 % de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de combustibles para el transporte en la Comunidad Europea para el año 2020.

Motivada por satisfacer los requerimientos de la Unión Europea, España, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), elaboró dos Planes de Acción Nacional de Energías Renovables que abarcaban los periodos 2005-2010 (IDAE, 2005) y 2011-2020 (IDAE, 2010). Sin embargo, en la primavera de 2012, el gobierno español suspendió cualquier incentivo económico para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (España. Real Decreto Ley 1/2012). No obstante, a pesar del freno que causó este nuevo marco legislativo desfavorable, las instalaciones de energías renovables como la energía solar fotovoltaica han alcanzado su madurez tecnológica por lo que, las economías de escala y su continuo desarrollo han permitido disminuir sus costes de producción (Fig. 1) y fomentar su implantación. Además, gracias a poseer una curva de aprendizaje estable, en zonas donde existe una alta radiación solar, los rendimientos que alcanzan este tipo de instalaciones son muy elevados (Urbina, 2014).

Gracias a poseer uno de los más altos niveles de radiación solar de España, la Región de Murcia situada en el sureste español (Gómez-López, García-Cascales, & Ruiz-Delgado, 2010) se ha convertido en una de las zonas con mayor atractivo para implantar sistemas solares fotovoltaicos. En dicha región habría que distinguir dos zonas claramente diferenciadas, por un lado la zona costera la cual posee un elevado desarrollo urbanístico estrechamente ligado al turismo asociado con la cercanía de la costa. Y por otro la zona del

interior (noroeste) donde, a pesar de que el nivel de ocupación urbanística es mucho menor, existen grandes extensiones montañosas con pendientes escarpadas que dificultan no sólo el desarrollo de la agricultura, sino también la implantación de cualquier infraestructura. Por tales motivos, es de notable interés llevar a cabo labores de búsqueda y evaluación de emplazamientos óptimos en el Noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 1: Precio del módulo fotovoltaico (€/Wp) en función de la Capacidad Producida Acumulada (GW) (UNEF & Salas, 2014)



Es obvio que herramientas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten facilitar la tarea de selección de emplazamientos (Janke, 2010), identificando las zonas aptas en las que es posible implantar este tipo de instalaciones. No obstante su principal habilidad es la facilidad para combinarlos con herramientas de decisión multicriterio con el objetivo de resolver problemas complejos de decisión. Se han utilizado Métodos de Decisión Multicriterio tales como el método TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981) para evaluar emplazamientos óptimos de energía solar fotovoltaica en la comarca del Campo de Cartagena (Sánchez-Lozano et al, 2013), el Proceso Analítico Jerárquico o método AHP (Saaty, 1980) para evaluar emplazamientos de sistemas solares en Turquía (Uyan, 2013) o el método ELECTRE-TRI (Roy & Bouyssou, 1991; Yu, 1992a/b) para seleccionar los mejores emplazamientos de parques eólicos en la costa de la Región de Murcia (Sánchez-Lozano, García-Cascales & Lamata, 2014).

En este artículo se tomará como punto de partida la base de datos obtenida en el estudio realizado por (Sánchez-Lozano et al, 2014), en el que se utilizó un software SIG para buscar las localizaciones viables para implantar sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia (Fig. 2) y de esta manera, obtener una matriz de decisión constituida por 17.740 alternativas (parcelas catastrales) que debían ser evaluadas en función de 9 criterios (Fig. 3). En dicho análisis se realizó un proceso de selección de alternativas mediante un Orden Lexicográfico aplicando una sucesión de filtrados a través del SIG. En este caso, se pretende aplicar uno de los principales métodos de decisión multicriterio de la familia de métodos ELECTRE (concretamente la versión TRI) para evaluar y clasificar las potenciales alternativas (parcelas) por categorías y de esta forma, conocer cuáles son las mejores localizaciones del noroeste de la Región de Murcia para implantar esta tecnología renovable.

Figura 2: Localizaciones viables (color amarillo) para implantar sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

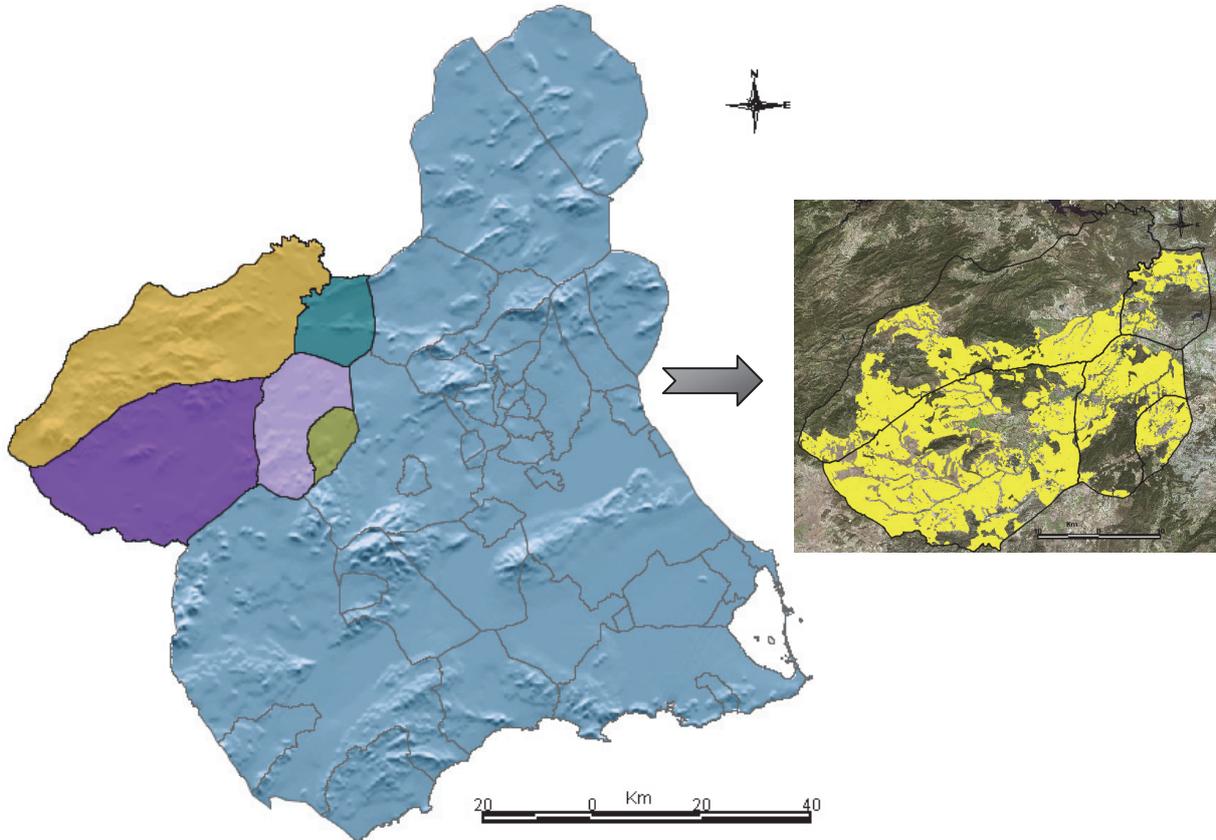


Figura 3: Árbol de criterios para la selección de sistemas solares



2. El método ELECTRE-TRI

La metodología ELECTRE ha sido ampliamente utilizada por investigadores y profesionales alcanzando especial relevancia. Está basada en el concepto de superación, que indica el grado de dominación de una alternativa sobre otra. Desde su aparición, el desarrollo de esta metodología ha provocado la creación de diversas versiones ELECTRE I (Roy, B., 1968), ELECTRE II (Roy & Bertier, 1971, 1973), ELECTRE III (Roy, B., 1978), ELECTRE IV (Roy & Hugonnard, 1982 a y b), ELECTRE IS (Roy & Skalka, 1985), ELECTRE TRI (Roy & Bouyssou, 1991) (Yu, 1992 a y b), resultando esta última la más utilizada en la actualidad.

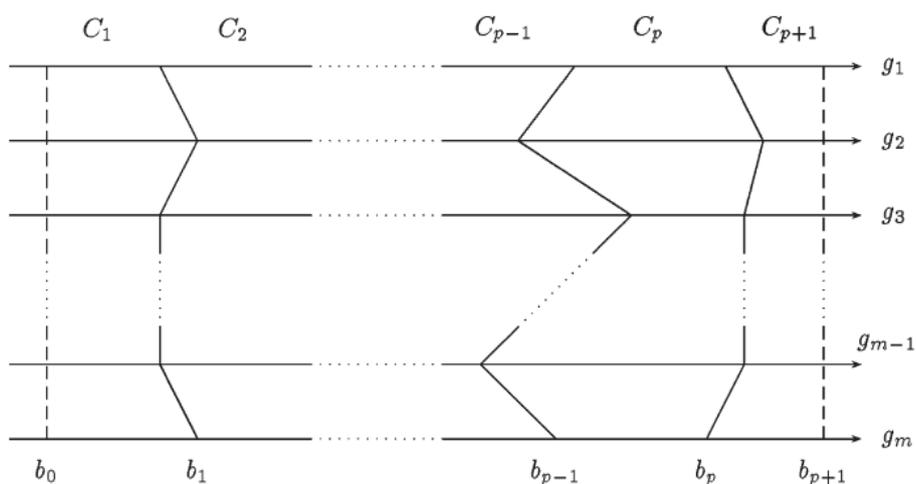
2.1. Principio y desarrollo del método

ELECTRE-TRI (Roy & Bouyssou, 1991; Yu, 1992 a/b), es un método que asigna categorías previamente definidas a un grupo de alternativas. La asignación de una alternativa a en una categoría u o otra se obtiene a través de comparar dicha alternativa con los límites de las categorías predefinidas.

De forma abreviada se podría indicar que el método ELECTRE-TRI asigna las alternativas objeto de análisis a las distintas categorías siguiendo dos procedimientos consecutivos: 1) la construcción de una relación de superación o sobreclasificación S (comúnmente denominada relación "outranking") que permite establecer una comparación entre las alternativas y los límites que definen las categorías; y 2) la explotación (mediante procedimientos de asignación) de la relación S con el fin de asignar cada alternativa a una categoría específica.

Sea F la serie de criterios g_1, g_2, \dots, g_m ($F=1, 2, \dots, m$) y B la serie de límites de los perfiles que definen $p+1$ categorías ($B=\{1, 2, \dots, p\}$). siendo b_h el límite superior de la categoría C_h y el límite inferior de la categoría C_{h+1} , con $h=1, 2, \dots, p$. Resulta posible representar los límites de las distintas categorías (Fig. 4) donde los límites b_0 y b_{p+1} corresponden a las alternativas anti-ideal e ideal respectivamente.

Figura 4: Definición de las categorías mediante límites de perfiles



ELECTRE-TRI construye una relación de superación S es decir, valida o invalida la afirmación aSb_h (y b_hSa) cuyo significado es "la alternativa a es al menos tan buena como b_h "

2.1.1. Definición de acciones de referencia

Existen diversas formas de definir las acciones de referencia en función de la problemática a resolver es decir, del planteamiento del problema de decisión y, llevar a cabo la asignación de alternativas a categorías predefinidas se corresponde precisamente con el fundamento de la metodología ELECTRE-TRI. Para ello, se definen las acciones de referencia como los límites de las distintas categorías que permiten clasificar las acciones potenciales (las alternativas a evaluar en cualquier problema de decisión).

Los umbrales que determinan la importancia de cada criterio se definen a través de pseudo-criterios (Roy & Vincke, 1984). Los umbrales de preferencia $p_j(b_h)$ e indiferencia $q_j(b_h)$ constituyen la información preferencial entre criterios de forma que $q_j(b_h)$ representa la mayor diferencia $g_j(a)-g_j(b_h)$ que mantiene la indiferencia entre a y b_h para el criterio g_j y, $p_j(b_h)$ representa la menor diferencia $g_j(a)-g_j(b_h)$ compatible con una preferencia de a en función del criterio g_j . Siendo para ambos umbrales $g_j(a)$ el valor del criterio j para la alternativa a y $g_j(b_h)$ el valor de dicho criterio en el límite superior de la categoría C_h .

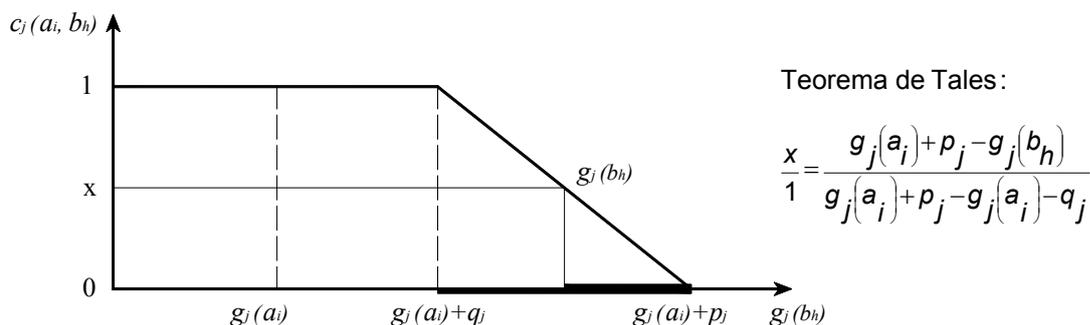
El resto de parámetros a definir para aplicar el método corresponden a los pesos de los criterios es decir, los coeficientes de importancia de cada criterio (k_1, k_2, \dots, k_m) y, los umbrales de veto $v_j(b_h)$ los cuales representan la menor diferencia $g_j(b_h)-g_j(a)$ incompatible con la afirmación aSb_h . Una vez definidos la totalidad de parámetros se está en disposición de aplicar el método ELECTRE TRI.

2.1.2. Índices de concordancia

2.1.2.1. Índices de concordancia por criterio

Representa un indicador que muestra como la alternativa o acción a_i es al menos tan buena como b_h , para el criterio c_j . (Fig. 5).

Figura 5: Construcción de un índice de concordancia (Maystre, Pictec, & Simos, 1994)



El índice de concordancia para un criterio dado $c_j(a_i, b_h)$, está definido de la siguiente forma:

$$c_j(a_i, b_h) = 0 \Leftrightarrow p_j < g_j(b_h) - g_j(a_i) \text{ (según el Teorema de Tales } p_j = g_j(b_h) - g_j(a_i))$$

$$0 < c_j(a_i, b_h) < 1 \Leftrightarrow q_j < g_j(b_h) - g_j(a_i) \leq p_j \Rightarrow c_j(a_i, b_h) = \frac{g_j(a_i) + p_j - g_j(b_h)}{p_j - q_j} \quad (1)$$

$$c_j(a_i, b_h) = 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - g_j(a_i) \leq q_j \text{ (según el Teorema de Tales } g_j(b_h) - g_j(a_i) = q_j)$$

2.1.2.2. Índice de concordancia global

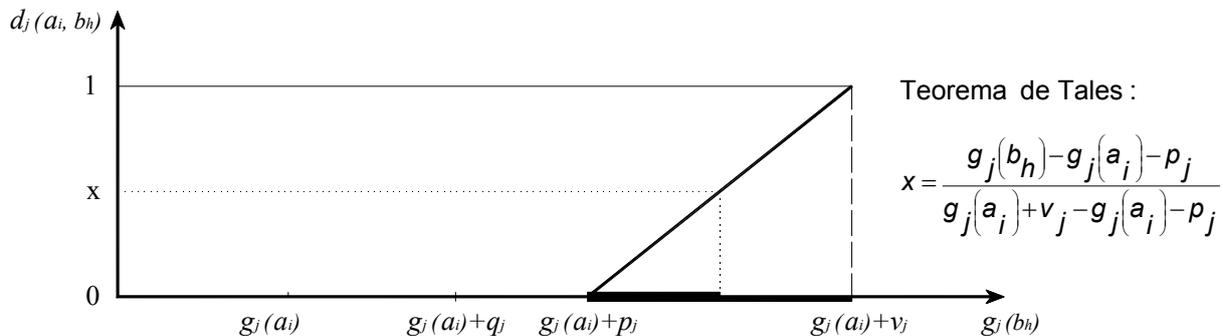
Es un indicador que expresa hasta qué punto las evaluaciones de a y b_h en todos los criterios concuerdan con la afirmación de que “ a es al menos tan buena como b_h ” (o b_h es al menos tan bueno como a). Se calcula a partir de los índices de concordancia para cada uno de los criterios, en el caso de analizar en qué medida todos los criterios concuerdan con la afirmación “ a supera b_h ”, el índice de concordancia global estaría definido por la expresión siguiente

$$C(a_i, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} k_j \cdot c_j(a_i, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j} \quad (2)$$

2.1.3. Índices de discordancia por criterio

Es un indicador que expresa en qué medida el criterio g_j se opone a la afirmación de que “ a es al menos tan buena como b_h ” (i.e. a supera a b_h) o a la inversa. Un criterio es discordante con la afirmación de “ a supera a b_h ” cuando para dicho criterio la alternativa b_h es preferida a la alternativa a es decir, cuando $c_j(b_h, a) = 1$ y $c_j(a, b_h) = 0$. En el caso de que la preferencia sea creciente, el criterio g_j se opone cuando la diferencia $g_j(b_h) - g_j(a)$ excede el umbral de veto v_j . (Fig. 6).

Figura 6: Construcción de un índice de discordancia (Maystre, Pictet, & Simos, 1994)



Los índices de discordancia se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$d_j(a_i, b_h) = 0 \Leftrightarrow g_j(a_i) > g_j(b_h) - p_j$$

$$0 < d_j(a_i, b_h) < 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - v_j < g_j(a_i) \leq g_j(b_h) - p_j \Rightarrow d_j(a_i, b_h) = \frac{g_j(b_h) - g_j(a_i) - p_j}{v_j - p_j} \quad (3)$$

$$d_j(a_i, b_h) = 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - v_j(b_h) \geq g_j(a_i)$$

2.1.4. Grado de credibilidad

Es un indicador que considera de forma conjunta los índices de concordancia globales $C(a_i, b_h)$ y los índices de discordancia $d_j(a_i, b_h)$ por lo que expresa en qué grado “a supera a b_h ” y “ b_h supera a a”. Por tanto, los índices de credibilidad $\sigma_s(a_i, b_h)$ y $\sigma_s(b_h, a_i)$ proporcionan dos relaciones de superación evaluadas entre la acción a y la acción de referencia b_h . El grado de credibilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

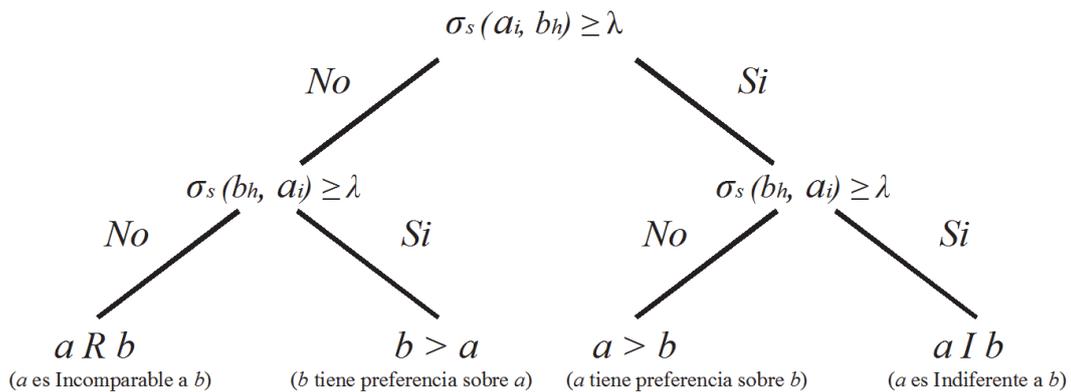
$$\sigma_s(a_i, b_h) = C(a_i, b_h) \cdot \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a_i, b_h)}{1 - C(a_i, b_h)} \quad (4)$$

$$\text{donde } \bar{F} = \{j \in F \mid d_j(a_i, b_h) > C(a_i, b_h)\}$$

2.1.5. Relación de superación o sobreclasificación

La relación de superación (Fig. 7) entre una acción potencial a y una acción de referencia b_h se establece a partir de los grados de credibilidad y de un umbral de corte constante λ que corresponde con el menor valor del grado de credibilidad a partir del cual la afirmación “a supera a b_h ” es válida, es decir, se corrobora tal afirmación (aSb_h) cuando $\sigma_s(a_i, b_h) \geq \lambda$.

Figura 7: Relación de sobreclasificación (relación “outranking”)



2.1.6. Procedimientos de asignación

Una vez que una alternativa a_i ha sido comparada con las acciones o perfiles de referencia b_h , en ELECTRE TRI existen dos procedimientos para asignar una alternativa a_i a una de las categorías previamente definidas:

- Procedimiento pesimista (o conjuntivo): Consiste en comparar la alternativa a_i sucesivamente con los diferentes perfiles o acciones de referencia $b_{i/(i=p, p-1, \dots, 0)}$, comenzando por los perfiles más altos hasta encontrar el perfil b_h para el cual aSb_h y una vez encontrado se asigna la alternativa a_i a la categoría C_{h+1} .
- Procedimiento optimista (o disyuntivo): Consiste en comparar la alternativa a_i sucesivamente con los diferentes perfiles o acciones de referencia $b_{i/(i=0, 1, 2, \dots, p)}$, comenzando por los perfiles más bajos hasta encontrar el perfil b_h para el cual b_hSa y una vez encontrado se asigna la alternativa a_i a la categoría C_h .

3. Caso de estudio: Selección de emplazamientos óptimos de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

Para aplicar la metodología ELECTRE-TRI, se recurrirá a la base de datos generada en (Sánchez-Lozano et al, 2014). En dicho estudio se creó una matriz de decisión compuesta por 17.740 alternativas (las parcelas catastrales objeto de análisis) y los 9 criterios, descritos en la fig 3, que habrá que tener en cuenta a la hora de efectuar la evaluación.

3.1. Introducción de parámetros

La base de datos creada con el SIG permite obtener los valores numéricos de todos los criterios para cada una de las alternativas. Estos valores serán utilizados para aplicar la metodología ELECTRE-TRI y clasificar por categorías las potenciales localizaciones. Para ello, se recurrirá a un grupo de expertos en energía solar fotovoltaica que indicarán, no sólo el número de categorías en las que se deberían clasificar las alternativas en función de los 9 criterios, sino que además establecerán los límites de dichas categorías para cada uno de los criterios y los parámetros de ELECTRE-TRI (umbrales de preferencia, indiferencia y veto). Según dichos expertos, resulta posible clasificar las alternativas en cuatro categorías (Categoría 1, Categoría 2, Categoría 3, Categoría 4) en función a la aptitud o capacidad para albergar un sistema solar (mala, buena, muy buena y excelente capacidad respectivamente) y, establecer el resto de parámetros necesarios para aplicar la metodología descrita (tabla 1). Los coeficientes de importancia o pesos de los criterios se han obtenido de forma similar al proceso realizado en (Sánchez-Lozano, García-Cascales & Lamata, 2013) y, se aplicará la metodología descrita utilizando el procedimiento de asignación optimista y, un valor de corte muy próximo a la unidad ($\lambda=0.90$) con el objetivo de ser restrictivos en la asignación de categorías.

Tabla 1: Límites de categorías y parámetros de ELECTRE-TRI

	g_1 (%)	g_2 (m ²)	g_3 (Clases)	g_4 (m)	g_5 (m)	g_6 (m)	g_7 (m)	g_8 (KJ/m ² -día)	g_9 (°C)
b_1	-30	1500	5	-10000	-10000	100	-15000	1200	12
b_2	-20	3500	8	-5000	-3000	500	-10000	1700	15
b_3	-10	10000	10	-100	-100	1000	-7500	2000	17
K_j	0.063	0.132	0.056	0.054	0.150	0.190	0.173	0.124	0.058
$q_j(b)$	5	3	4	100	100	100	150	0	16.5
$p_j(b)$	15	1000	7	200	300	300	3000	1500	17
$v_j(b)$	40	25000	9	650	500	800	10000	2050	17.5

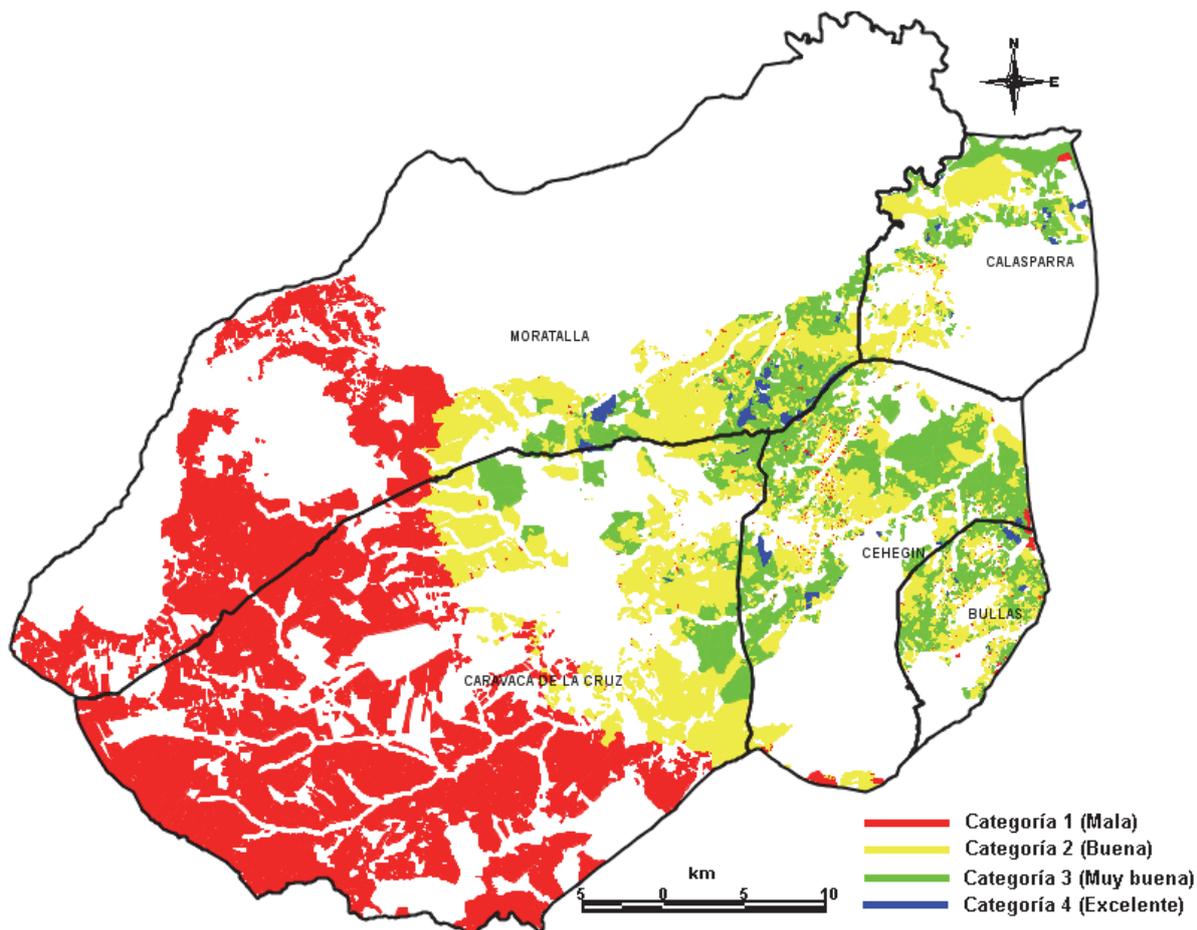
3.2. Aplicación de la metodología ELECTRE-TRI

A partir de la matriz de decisión proporcionada por el SIG y con los parámetros definidos en la tabla 1, resulta posible realizar cada una de las etapas de la metodología ELECTRE-TRI mediante una hoja de cálculo Excel. Los resultados obtenidos proporcionan una clasificación de las potenciales alternativas (parcelas catastrales) por categorías. Vinculando tales resultados en el SIG a través de un código de colores (excelente: azul, muy buena: verde, buena: amarillo y mala: rojo), se obtendrá un mapa (Figura 8) que muestra la capacidad de acogida para albergar instalaciones solares fotovoltaicas en el noroeste de la Región de Murcia. Las zonas en blanco indicadas en dicho mapa están descartadas por no cumplir los requisitos legales para la implantación de las granjas.

En dicho mapa se observa como el municipio de Moratalla es el que posee mayor número de alternativas situadas en la mejor categoría. También es de destacar que aunque el municipio de Caravaca de la Cruz presenta un alto porcentaje de superficie disponible para

implantar este tipo de instalaciones, más de la mitad de dichas localizaciones tienen mala capacidad para acoger sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 8: Mapa de capacidad de acogida de sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

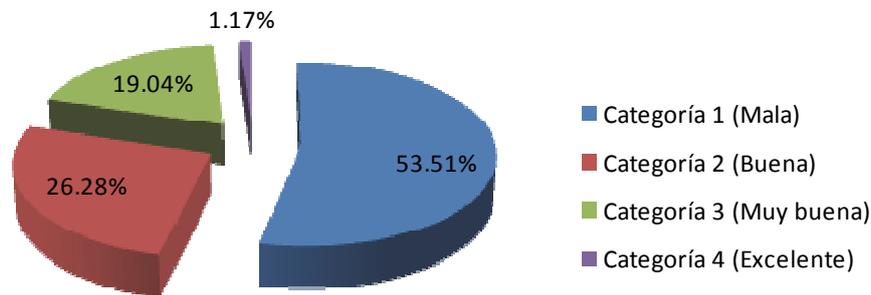


Según las categorías definidas por los expertos y analizando las potenciales alternativas para albergar sistemas solares fotovoltaicos mostradas en la figura anterior se observa que:

- El 1,17 % de la superficie disponible resulta excelente para implantar sistemas solares fotovoltaicos.
- El 19,04 % de la superficie disponible presenta muy buena capacidad de acogida para albergar este tipo de instalaciones.
- El 26,28 % de la superficie disponible presenta buena capacidad de acogida.
- El 53,51 % de la superficie disponible tiene mala capacidad de acogida.

En la figura 9. se muestran, los porcentajes de capacidad de acogida del total de la superficie óptima del noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 9: Distribución de la capacidad de acogida en la superficie disponible del Noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos



4. Conclusiones

Tras el estudio realizado se ha comprobado que la combinación SIG con metodologías de decisión multicriterio tales como el método ELECTRE-TRI, permite resolver problemas complejos de localización como el propuesto en el presente artículo. Mientras que el SIG proporciona la base de datos en forma de matriz de decisión de alternativas y criterios, los métodos multicriterio permiten evaluar o clasificar (como en el problema planteado) las potenciales alternativas (localizaciones definidas a través de su referencia catastral).

En el caso particular propuesto se han alcanzado diferentes conclusiones. En relación a los porcentajes de superficie disponible es de destacar que aunque existe un elevado número de potenciales alternativas para implantar sistemas solares fotovoltaicos, más de la mitad de la superficie disponible (concretamente el 53.51 %) está situado en la peor categoría es decir, presenta mala capacidad para albergar este tipo de instalaciones. La justificación a dicho porcentaje se podría encontrar en la gran cantidad de zonas abruptas con pendientes escarpadas que hay en gran parte del territorio objeto de estudio.

Respecto a la metodología aplicada es destacable mencionar que, llevando a cabo la extracción del conocimiento a partir de un grupo de expertos en instalaciones de energías renovables, ha sido posible aplicar una herramienta de decisión cuyo uso está ampliamente extendido en la actualidad con la finalidad de realizar una clasificación por categorías de las alternativas objeto de análisis.

Entre las debilidades que presenta este estudio las cuales podrían englobarse dentro de posibles estudios futuros, cabría mencionar el aplicar otras herramientas de decisión multicriterio tales como el método TOPSIS, PROMETHEE, etc. con la finalidad de llevar a cabo una comparativa de los resultados obtenidos. Además, siempre y cuando se pudiera disponer de la información cartográfica, se podría aumentar la zona de estudio abarcando la totalidad de la Región de Murcia.

Referencias

- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5 (41), 237-276.
- España. Real Decreto-Ley 1/2012, del 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de enero de 2012, núm. 24, pp. 8068.

- European Commission. (1996). *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy - Green Paper for a Community Strategy*, Brussels.
- European Commission. (1997). *Energy for the future: renewable sources of energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*. Brussels.
- European Parliament, 2009. Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Union*. Brussels.
- Gómez-López, M.D., García-Cascales, M.S., & Ruiz-Delgado, E. (2010). Situations and problems of renewable energy in the Region of Murcia, Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1253–1262.
- Hwang, C.L., & Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision Methods and Applications*, Springer, Berlin, Heidelberg ed.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. (2005). *Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. (2010). *Plan de Energías Renovables (PANER) 2011 – 2020*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.
- Janke, J.R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35, 2228-2234.
- Maystre, L.Y., Pictet, J. & Simos, J., (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE. Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Paris. Ed. Lausanne..
- Roy, B., & Bouyssou, D. (1991). *Aide à la décision fondée sur une PAMC de type ELECTRE*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 69. 118 p.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la method ELECTRE), *Revue informatique et recherche opérationnelle*, 8, 57-75.
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples, *Cahiers du CERO*, 20 (1), 3-24.
- Roy, B., & Bertier, P. (1971). La méthode ELECTRE II: une méthode de classement en présence de critères multiples, *SEMA (Metra International)*, 142. Paris. 25 p.
- Roy, B., & Bertier, P. (1973). La méthode ELECTRE II: une application au media-planning. Ross M. (ed.) *Operational Research*. North-Holland Publishing Company. pp. 291-302.
- Roy, B., & Bouyssou, D. (1991). *Aide à la décision fondée sur une PAMC de type ELECTRE*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 69. 118 p.
- Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982a). Classement des prolongements de lignes de metro en banlieue parisienn (presentation d'une method multicritère originale), *Cahier du CERO*, 24. 2-3-4. pp. 153-171.
- Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982b). Le plan d'extension du metro en banlieue parisienn, un cas type de l'analyse multicritère, *Les Cahiers scientifiques de la revue Transports*. 6, pp. 77-108.
- Roy, B., & Skalka, J.M. (1985). *ELECTRE IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. Université Paris-Dauphine. Paris. Document du LAMSADE, 30. 125 p.
- Roy, B., & Vincke, Ph. (1984). Relational systems of preferences with one or more pseudo-criteria: some new concepts and results. *Management Science*, 30, 11, 1323-34.
- Saaty, T.L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Sánchez-Lozano, J.M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L., & García-Cascales, M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544–556.

- Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2013). Chapter 4: Decision criteria for optimal location of solar plants: photovoltaic and thermoelectric. F. Cavallaro (Ed.), *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems, Green Energy and Technology*, 129, (pp. 79-91). London, Springer-Verlag.
- Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2014). Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain. *Energy*, 73, 311-324.
- Sánchez-Lozano, J.M., García Cascales, M.S., Lamata, M.T., Roca-González, J.L., & Meseguer-Valdenebro, J.L. (2014). Spatial analysis using GIS for obtaining optimal locations for solar farms, case study: the northwest of the Region of Murcia. 18th International Congress on Project Management and Engineering (ISBN: 978-84-617-1275-5).
- UNEP & Salas, V. (2014). National Survey Report of PV Power Applications in Spain 2013. Photovoltaic Power Systems Programme. International Energy Agency (IEA). [consultado 05 Abril 2015]. Disponible en: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93>.
- United Nations. (1997). Framework convention on climatic change: Report of the conference of the parties on its third session. *Adoption of the Kyoto Protocol*, Kyoto
- Urbina, A. (2014). Solar electricity in a changing environment: The case of Spain. *Renewable Energy*, 68, 264-269.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17.
- Working Group I. (1990). Climate Change. *The IPCC Scientific Assessment*. Ed. J.T., Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums, Cambridge University Press, Cambridge.
- Working Group II. (1990). Climate Change. *The IPCC Impacts Assessment*, Ed. W.J. McG. Tegart, G.W. Sheldon and D.C. Griffiths, Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Working Group III. (1990). Climate Change. *The IPCC Response Strategies*. World Meteorological Organization/United Nations Environment Program. Island Press.
- Yu, W., (1992a). Aide multicritère à la decision dans le cadre de la problématique du tri concepts, méthodes et applications, These de doctorat, UER Sciences de l'organisation, Université Paris-Dauphine. 201 p.
- Yu, W., (1992b). ELECTRE TRI. *Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 74. 80 p.

