

SPATIAL ANALYSIS USING GIS FOR OBTAINING OPTIMAL LOCATIONS FOR SOLAR FARMS, CASE STUDY: THE NORTHWEST OF THE REGION OF MURCIA

Sánchez Lozano, Juan Miguel¹; García Cascales, M^a del Socorro²;
Lamata Jiménez, M^a Teresa³; Roca González, José Luis¹; Meseguer-Valdenebro, J. L.¹

¹ Centro Universitario de la Defensa de San Javier, ² Universidad Politécnica Cartagena, ³ Universidad de Granada

One of the first decisions that must be made when hosting a photovoltaic solar farms to pour the energy generated to the network is to choose a proper location (towns, existing infrastructure, etc) but also the legislative framework that is applicable since, it is involved a large number of both restrictions (protected areas, distances to streams and watercourses, etc) that will give us the guidelines to eliminate those unsuitable areas and certain criteria (proximity to power lines, slope, solar radiation, etc) according to which it will be made an evaluation of the suitable areas that condition any facility and, it is precisely for these reasons why the management of spatial visualization tools such as Geographic Information Systems (GIS) are particularly useful.

The objective of this paper is to demonstrate how the aggregation of GIS to decision procedures in the field of renewable energy, can solve complex location problems. In the present case it will be appealed to the use of a GIS (called gvSIG) in order to obtain suitable locations to host photovoltaic solar farms in the Northwest of the Region of Murcia.

Keywords: *Geographic Information Systems (GIS); Photovoltaic solar farms; gvSIG; Thematic layers; Restrictions; Filter*

ANALISIS MEDIANTE SIG PARA SELECCIONAR EMPLAZAMIENTOS OPTIMOS DE HUERTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS, CASO DE ESTUDIO: NOROESTE DE LA REGIÓN DE MURCIA

Una de las primeras decisiones que se ha de tomar a la hora de implantar un huerto solar fotovoltaico para verter la energía generada a la red consiste en escoger una ubicación adecuada. Para ello, no sólo es necesario estudiar en profundidad el estado actual del territorio (núcleos de población, infraestructuras existentes, etc.) sino también el marco legislativo en vigor que le sea de aplicación ya que, intervienen un número elevado tanto de restricciones (zonas protegidas, distancias a cauces y ramblas, etc.) como de criterios (proximidad a redes de distribución, pendiente del terreno, radiación solar, etc.) que condicionan cualquier instalación y es, precisamente por estos motivos por los que el manejo de herramientas de visualización espacial tales como los Sistemas de Información Geográfica (GIS) son de especial utilidad.

El objetivo del presente artículo es demostrar cómo la agregación de los GIS a los procedimientos de toma de decisiones en el ámbito de las energías renovables, permite resolver problemas complejos de localización. En el caso planteado se recurrirá al uso de un GIS (denominado gvSIG) con la finalidad de obtener las localizaciones óptimas para albergar huertos solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia.

Palabras clave: *Sistemas de información geográfica; Huertos solares fotovoltaicos; gvSIG; Capas temáticas; Restricciones; Filtrado*

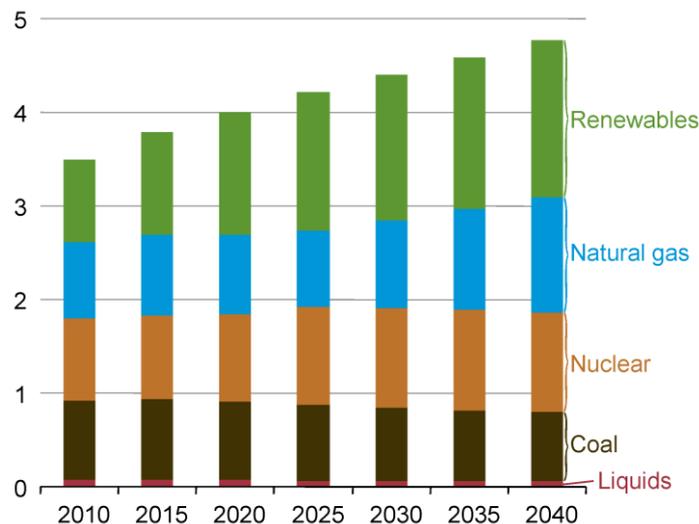
Correspondencia: [juanmi.sanchez@cud.upct.es](mailto:juanmi.sanchez@ cud.upct.es)

1. Introducción

Cada vez con mayor frecuencia, la Tierra nos avisa de los peligros que supone llevar a cabo un desarrollo industrial descontrolado y desproporcionado. Su respuesta se manifiesta en forma de un mayor número de incendios forestales, aumento del nivel de mares y océanos, mayores sequías, tormentas extremas así como frecuentes y constantes olas de calor. Estos son sólo algunos de los efectos más significativos que, está provocando el incremento de temperatura en nuestro planeta a consecuencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Arrhenius, 1896). Desde un punto de vista energético, al problema del calentamiento global se le añade además el continuo encarecimiento de los combustibles de origen fósil tales como el petróleo y el gas natural (U.S. Energy Information Administration, 2013) por lo que, el ser humano debe ser capaz de buscar alternativas que aprovechen la multitud de recursos disponibles y consigan mitigar estos importantes efectos negativos.

Ya en el siglo pasado se desarrollaron políticas de apoyo tanto a nivel mundial (Working Group I-II-III 1990; United Nations, 1992/1997) como europeo (European Commission, 1996, 1997) que, impulsaron estrategias de desarrollo sostenible (Dovi et al 2009) y fomentaron la implantación de instalaciones de energías renovables (EERR) con el objetivo de que tales tecnologías desempeñen un importante papel en la generación de energía eléctrica futura (Fig.1).

Figura 1. Previsión generación de energía eléctrica por combustible en los países europeos pertenecientes a la OECD, (trillones kWh) (U.S. Energy Information Administration, 2013)



En España, el cumplimiento de los objetivos fijados por la Unión Europea fue el principal motivo por el que se elaboraron diversos planes energéticos (IDAE, 2005; IDAE, 2010). En el último de ellos se marcó como objetivo alcanzar al menos el 20% del consumo de energía final para el año 2020 mediante tecnologías renovables. A consecuencia de ese marco legislativo favorable, en España se extendió la implantación de este tipo de instalaciones, siendo la energía solar fotovoltaica una de las que experimentó un mayor crecimiento, éste fue tal que situó a España en el año 2009 como la segunda potencia fotovoltaica mundial (European Commission, 2010). En la actualidad, a pesar de que las posteriores políticas energéticas (Real Decreto Ley 14/2010; Real Decreto Ley 1/2012), han frenado su expansión, las economías de escala y su continuo desarrollo han permitido disminuir sus costes de producción y fomentar su implantación. Además, análisis recientes (Urbina, 2014) han demostrado que las tecnologías solares, y en particular la tecnología fotovoltaica tiene una curva de aprendizaje estable que le permite alcanzar rendimientos muy elevados en las regiones donde hay una alta radiación solar.

La Región de Murcia situada en el sureste de España, posee uno de los más altos niveles de radiación solar del país (Gómez-López et al, 2010). Por ello, se ha convertido en una de las zonas con mayor atractivo para implantar huertos solares fotovoltaicos. Sin embargo, en su territorio existen zonas del interior (noroeste de la región) que por diversos motivos (suelo menos capacitado para el desarrollo de la agricultura, precios de suelo bajos, menos nivel de ocupación urbanística y residencial, etc.) presentan mayor disposición que otros para implantar este tipo de instalaciones por lo que, realizar un análisis en profundidad del noroeste de la Región de Murcia que permita localizar las zonas óptimas para implantar huertos solares fotovoltaicos resulta de notable interés.

Para llevar a cabo estudios de esta naturaleza, es evidente que el manejo de herramientas informáticas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son de gran utilidad (Janke, 2010) ya que, son capaces de proporcionar extensas bases de datos, en forma de capas temáticas y tablas, que pueden ser muy útiles para resolver problemas complejos de localización (Uyan, 2013).

2. Metodología SIG en la obtención de superficies aptas para implantar instalaciones de EERR en el Noroeste de la Región de Murcia

Los SIG son herramientas informáticas que manejan información georreferenciada y permiten representar de forma digital el mundo real. La información (de carácter temático o espacial) proporciona una colección de datos referenciados que actúa como modelo de la realidad. Los datos espaciales a introducir en un SIG son un conjunto de mapas que representan una porción concreta de la superficie de forma que, cada uno de dichos mapas está definido por una variable temática y ésta al ser introducida en un SIG recibe el nombre de capa temática.

2.1. El software gvSIG

Aunque los SIG comerciales comúnmente denominados software propietarios están ampliamente extendidos en la actualidad (ArcGIS, IDRISI, etc.), en el presente artículo se utilizará un SIG de código abierto denominado gvSIG (www.gvSIG.org); éste fue desarrollado en el año 2004 por la Consejería de Infraestructuras y Transporte de la Comunidad Valenciana y está disponible a cualquier usuario para su uso y desarrollo.

En el estudio planteado, se introducirán en gvSIG las capas temáticas que representen y definan por un lado la superficie que abarca la zona de estudio y por otro, las restricciones es decir, las zonas en las que resulta imposible implantar huertos solares fotovoltaicos ya sea, porque el estado actual del terreno lo impida o porque el marco legislativo en vigor lo prohíba. Mediante las operaciones de edición de gvSIG será posible reducir la superficie inicial de la zona de estudio teniendo en cuenta las restricciones que le afectan hasta obtener las localizaciones que son viables para implantar este tipo de instalaciones.

2.2. Etapa 1: Búsqueda de localizaciones viables

La primera etapa consistirá en seleccionar y acotar la zona de estudio. En el problema propuesto dicha zona corresponderá con el noroeste de la Región de Murcia, está compuesto por 5 municipios (Moratalla, Caravaca de la Cruz, Bullas, Calasparra y Cehegín) y tiene una extensión de 2.379,62 km² (Fig. 2). Conocida la zona de estudio, se procederá a describir las restricciones es decir, las zonas en las que a causa del estado actual del territorio por un lado (carreteras, ferrocarril, núcleos de población, etc.) y la legislación vigente por otro (normativas europea, nacional y regional) no resulta posible implantar huertos solares fotovoltaicos.

Cada restricción (tabla 1) estará definida en función del marco legislativo que le sea de aplicación de forma que, según la normativa actual (Decreto legislativo 1/2005 of 10 June, Decreto 102/2006 del 8 de junio, Ley 42/2007 del 13 de diciembre, Ley 4/92 del 30 de julio, Ley 4/2009 del 14 de mayo), no se podrá implantar huertos solares fotovoltaicos en suelos urbanos de cualquier tipo ni en suelos aptos para urbanizar (restricción 1). Según la Ley 42/2007 y la Ley 3/1995 del 23 de marzo, las áreas de alto valor paisajístico y las infraestructuras destinadas al suministro de agua, zonas militares y vías pecuarias (restricción 2) son también zonas protegidas. Tanto en los cauces y ramblas (restricción 3) como en sus bandas de amortiguamiento tampoco se puede implantar ninguna instalación (Decreto 102/2006). Además, tanto la Ley 16/1985 del 25 de junio, como el Decreto Legislativo 1/2005, establecen medidas de conservación de las zonas catalogadas como patrimonios arqueológicos, paleontológicos y culturales (restricción 4). Las redes viarias y ferroviarias (restricción 5) también están protegidas por la normativa en vigor (Ley 25/1988 del 29 julio), así como los Lugares de Interés Comunitario-LICs (restricción 6) y las áreas de especial protección para las aves-ZEPAs (restricción 7) los cuales son espacios protegidos a través de la Directiva 92/43/EEC del 21 de mayo (European Parliament, 2009).

Figura 2. Noroeste de la Región de Murcia

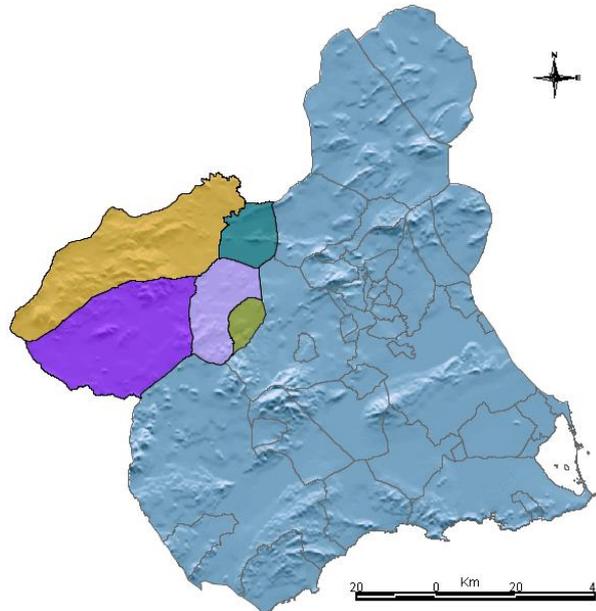


Tabla 1. Restricciones legales

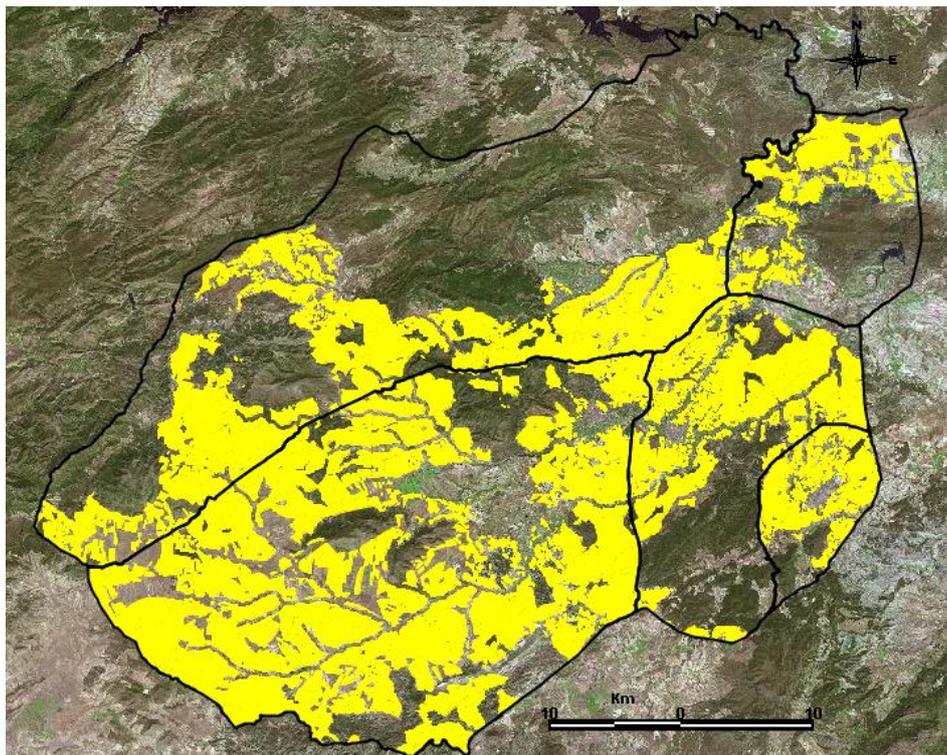
Nº	Denominación de restricciones
1	Suelos urbanos y aptos para urbanizar
2	Áreas de valor paisajístico, infraestructuras de agua, militares y vías pecuarias
3	Cauces y ramblas
4	Patrimonio arqueológico, paleontológico y cultural
5	Red viaria y ferroviaria
6	Lugares de importancia comunitaria (LICs)
7	Zonas de especial protección para las aves (ZEPAs)

Además de las restricciones anteriores, habrá que considerar dos condicionantes más ya que, aquellas zonas que tengan alguna construcción o instalación de importancia en su interior (pantano, construcción agrícola, etc.), o que su superficie sea inferior a la que los expertos consideran mínima para poder implantar este tipo de instalaciones (superficie inferior a 1000 m²) habrá que descartarlas.

Cada una de las restricciones serán introducidas en el software gvSIG en forma de capas temáticas, éstas fueron proporcionadas por la Administración Regional (Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio, Dirección General del Catastro, etc.). Inicialmente se introducirá en gvSIG la capa temática del Noroeste de la Región de Murcia (Fig. 2), dicha capa no sólo servirá para delimitar la zona de estudio sino también para clasificarla por municipios (los cuales a su vez dividirán su territorio en polígonos, parcelas y subparcelas catastrales).

Posteriormente se añadirán las capas temáticas de restricciones de forma que, con los comandos propios de gvSIG (área de influencia, diferencia, filtro, etc.) se irán descontando de la superficie inicial del área de estudio, la superficie que ocupan las restricciones hasta obtener una nueva capa temática que contendrá las localizaciones aptas o viables del noroeste de la Región de Murcia para implantar huertos solares fotovoltaicos (Fig. 3). Dicha superficie ocupa una extensión de 1.036,11 km² de forma que, un 43,54 % de la superficie total del noroeste (2.379,62 km²) será adecuada para implantar huertos solares fotovoltaicos.

Figura 3. Localizaciones viables para implantar huertos solares fotovoltaicos



Dicha superficie está compuesta por 17.740 parcelas catastrales según la Dirección General del Catastro y éstas, constituyen las alternativas objeto de análisis en las etapas posteriores.

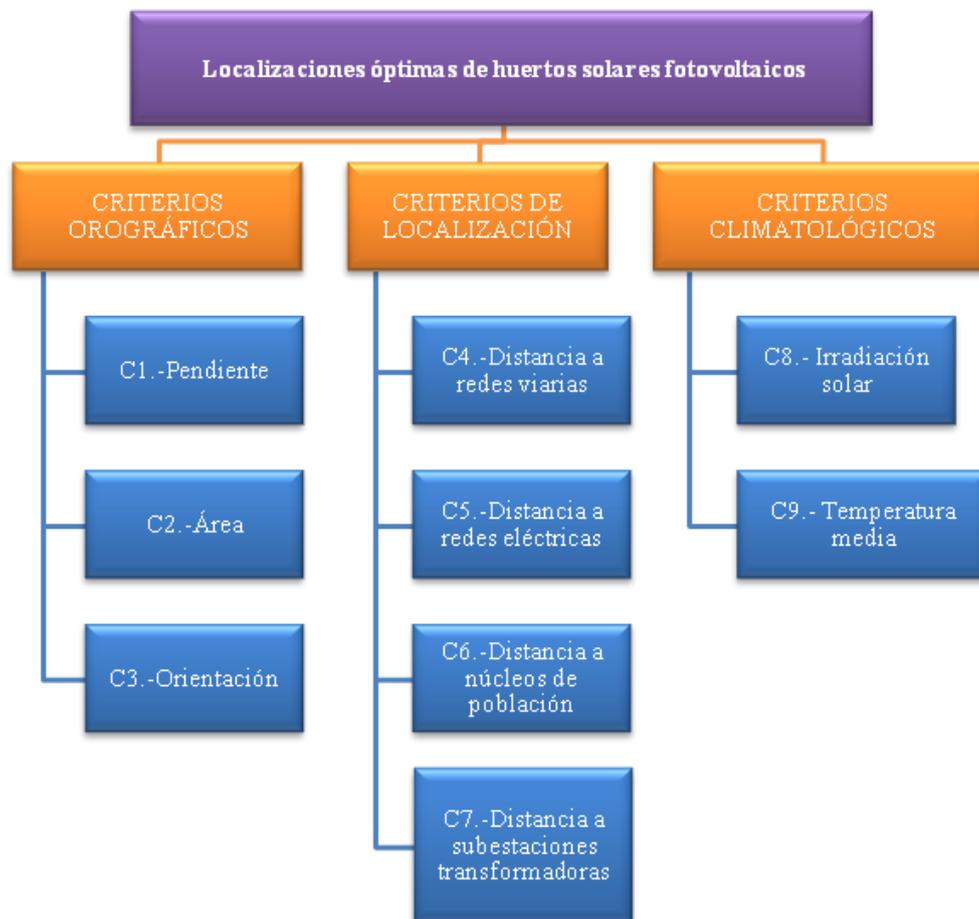
Las siguientes etapas consistirán en seleccionar, de entre las mencionadas alternativas, cuales son las mejores para implantar este tipo de instalaciones en función de una serie de criterios.

2.2. Etapa 2: Análisis de emplazamientos óptimos

A. Criterios:

A la hora de implantar instalaciones de energías renovables, no sólo hay que tener en cuenta que la zona analizada no esté afectada por alguna restricción de índole legal, sino que además hay que contar con una serie de criterios que influirán en la selección. Aunque se han llevado a cabo investigaciones y estudios que definen las características que deben contener dichos criterios (Janke, 2010; Uyan, 2013), la elección de estos criterios dependerá principalmente de la zona de estudio. Por ello, siguiendo las directrices indicadas en Aran Carrión et al (2008), para el caso particular objeto de análisis, se definirán tres grupos de criterios generales (Localización, Orográficos y Climatológicos) que, se descompondrán en un número determinado de criterios específicos los cuales constituirán el conjunto de criterios que influirán en la localización, es decir, aquellos que permitirán decantarse por un emplazamiento en lugar de por otro (fig. 4).

Figura 4. Árbol de criterios para la selección de huertos solares



A continuación se describen brevemente cada uno de los criterios específicos mencionados:

- C1: Pendiente (%): Inclinação del terreno, cuanto mayor porcentaje de inclinación tenga una superficie, peor aptitud tendrá para albergar un huerto solar.

- C2: Área (m²): superficie comprendida dentro de un perímetro de terreno que puede albergar una instalación de EERR, cuanto más grande sea un territorio mayor atractivo tendrá para albergar este tipo de instalaciones.
- C3: Orientación (°): Posición o dirección de un terreno respecto a un punto cardinal, cuanto más orientado esté un terreno hacia el sur geográfico (270°) mejor aptitud tendrá para implantar huertos solares fotovoltaicos.
- C4: Distancia a redes viarias (m): Espacio o intervalo entre la red viaria (carretera) más próxima y los diferentes posibles emplazamientos. Para disminuir los costes de transporte durante el montaje y el posterior mantenimiento de cualquier instalación de energías renovables convendrá que, la distancia a las principales carreteras se corta.
- C5: Distancia a redes eléctricas (m): Espacio o intervalo entre la red eléctrica más próxima y los diferentes posibles emplazamientos. Es conveniente que la distancia a redes eléctricas sea la mínima posible ya que, de esta manera disminuyen los gastos iniciales destinados al vertido de la energía generada.
- C6: Distancia a núcleos de población (m): Espacio o intervalo entre los núcleos de población (ciudades o pueblos) y los diferentes posibles emplazamientos. Aunque se cumplan las condiciones indicadas en los marcos legislativos vigentes para cualquier territorio, será conveniente no implantar ningún huerto solar próximo a núcleos de población en previsión de expansiones futuras.
- C7: Distancia a subestaciones transformadoras (m): Espacio o intervalo entre las subestaciones de transformación de la energía eléctrica y los diferentes posibles emplazamientos. De forma similar a lo indicado en el criterio distancia a redes eléctricas, es preferible que la distancia a subestaciones transformadores sea corta.
- C8: Irradiación solar (kJ/m²·día): Valor de la irradiación diaria procedente del sol que recibe un terreno por unidad de superficie (m²). Aunque estos valores suelen ser elevados en la Región de Murcia, desde el punto de vista de huertos solares convendrá escoger terrenos con una elevada irradiación solar.
- C9: Temperatura media (°C): Corresponde con la temperatura media anual en los diferentes posibles emplazamientos. Convendrá escoger territorios cuya temperatura sea elevada con el objetivo de obtener el máximo aprovechamiento solar.

B. Base de datos

Con el objetivo de crear una base de datos con la totalidad de alternativas y criterios, se procederá con los criterios de forma similar al proceso seguido en la definición de las restricciones, es decir, éstos deberán introducirse en el SIG en forma de capas temáticas. Por ello, se solicitó tanto a las correspondientes administraciones públicas regionales como a entidades privadas las capas temáticas de los criterios que influyen en la selección de este tipo de instalaciones. Introduciendo en el SIG la información temática de cada uno de los criterios en la capa de localizaciones viables obtenida previamente, se creará una nueva capa temática que, aunque a simple vista es idéntica a la Fig.3. Representará las 17.740 alternativas objeto de análisis, que llevará enlazada una tabla de atributos que mostrará la información temática representada en filas y columnas de forma que, las filas constituirán los objetos geográficos que en este caso serán las alternativas a seleccionar (parcelas) y, las columnas definirán los denominados atributos o variables temáticas (información catastral y criterios) constituyendo una matriz con los datos relativos a cada parcela para cada uno de los 9 criterios mencionados.

Dicha tabla de atributos constituye la base de datos que será utilizada en la tercera etapa. En ella, se seleccionarán los emplazamientos óptimos mediante un proceso de filtrado utilizando los comandos propios del software gvSIG.

2.3. Etapa 3: Selección de emplazamientos óptimos

La base de datos creada con gvSIG permite obtener los valores numéricos de todos los criterios para cada una de las alternativas. Estos valores serán utilizados para efectuar un proceso de filtrado según una clasificación de alternativas por categorías. Para ello, se recurrirá a un experto en energía solar fotovoltaica que indicará, no sólo el número de categorías en las que se deberían clasificar las alternativas en función de los 9 criterios, sino que además establecerá los límites de dichas categorías para cada uno de los criterios. Según dicho experto, 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 huerto solar (regular, buena, muy buena y excelente capacidad respectivamente) y, establecer los límites (tabla 2) de dichas categorías en función de los dominios de los criterios que influyen en la decisión.

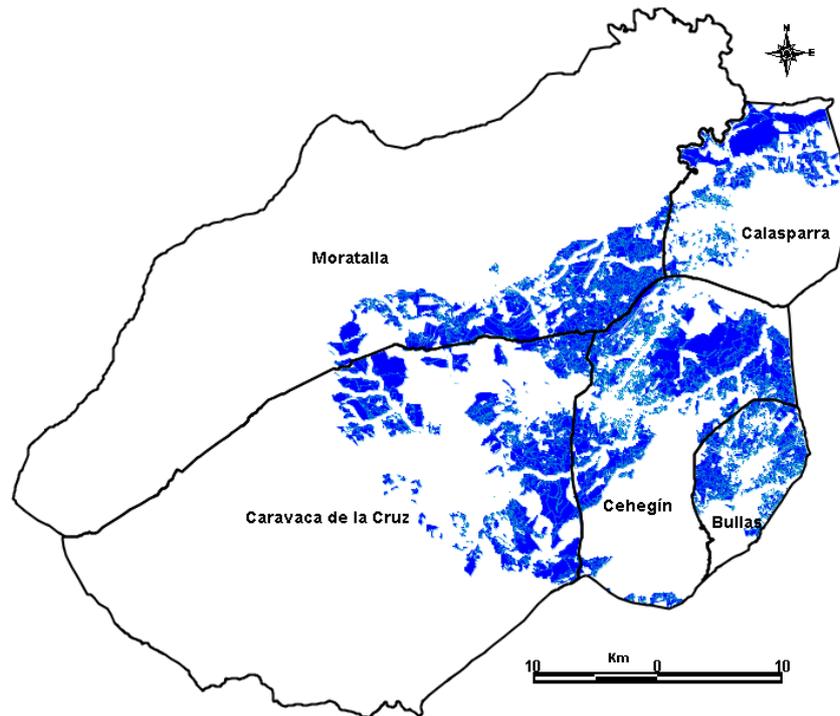
En un principio, el experto considera que la peor clasificación debe ser únicamente regular (categoría 1) porque, al descartarse en la etapa 1 aquellas zonas en las que no puede implantarse un huerto solar, no hay ninguna alternativa que pueda denominarse como mala. De igual modo debería haber una categoría definida como excelente (categoría 4) con el objetivo de ser restrictivos a la hora de efectuar el proceso de selección.

Tabla 2. Límites de categorías de las alternativas A_i para cada criterio

Criterios	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
C_1 : Pendiente (%)	$A_i > 30$	$30 \geq A_i > 20$	$20 \geq A_i > 10$	$A_i \leq 10$
C_2 : Área (m^2)	$A_i < 1500$	$1500 \leq A_i < 3500$	$3500 \leq A_i < 10000$	$A_i \geq 10000$
C_3 : Orientación ($^\circ$)	$45 \leq A_i < 135$	$135 \leq A_i < 225$	$0 \leq A_i < 45$	$225 \leq A_i < 360$
C_4 : D. Redes viarias (m)	$A_i > 10000$	$10000 \geq A_i > 5000$	$5000 \geq A_i > 100$	$A_i \leq 100$
C_5 : D. Redes eléctricas (m)	$A_i > 10000$	$10000 \geq A_i > 3000$	$3000 \geq A_i > 100$	$A_i \leq 100$
C_6 : D. Núcleos población (m)	$A_i < 100$	$100 \leq A_i < 500$	$500 \leq A_i < 1000$	$A_i \geq 1000$
C_7 : D. Subestaciones (m)	$A_i > 15000$	$15000 \geq A_i > 1000$ 0	$10000 \geq A_i > 7500$	$A_i \leq 7500$
C_8 : Irradiación solar ($kJ/m^2/día$)	$A_i < 1200$	$1200 \leq A_i < 1700$	$1700 \leq A_i < 2000$	$A_i \geq 2000$
C_9 : Temperatura media ($^\circ C$)	$A_i < 12$	$12 \leq A_i < 15$	$15 \leq A_i < 17$	$A_i \geq 17$

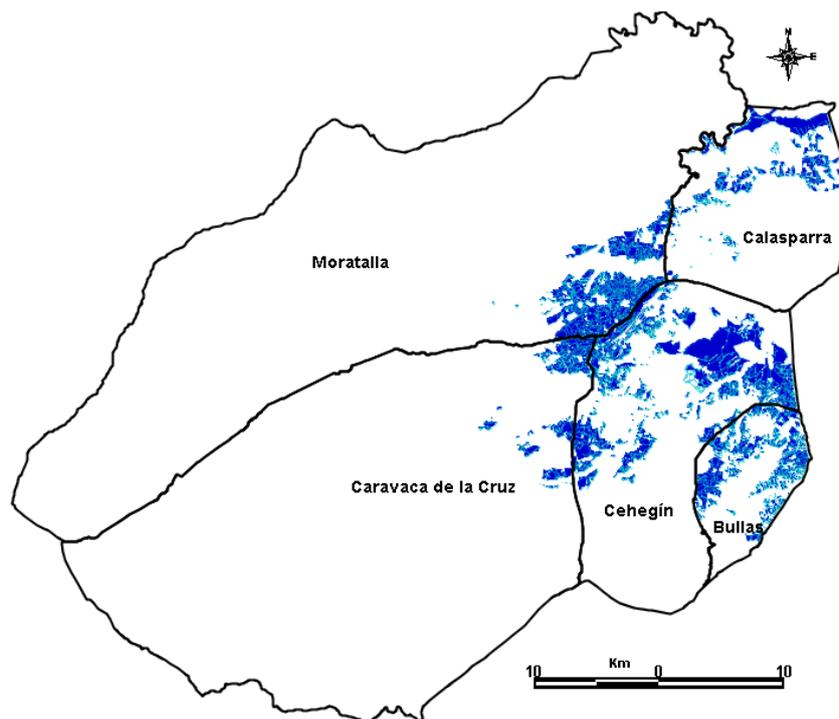
El proceso de selección consistirá en eliminar de forma progresiva, mediante técnicas de filtrado, aquellas alternativas que estén situadas en las categorías más bajas con el objetivo de obtener los emplazamientos situados en las mejores categorías. Por ello, el primer paso consistirá en eliminar, aquellas alternativas que presenten valores en alguno de sus criterios situados en la categoría 1 con la finalidad de, reducir el número de alternativas a aquellas que tengan capacidades de acogida buenas, muy buenas o excelentes (categorías 2, 3 y 4 respectivamente). Una vez realizado este primer filtrado, se habrá generado una nueva capa temática (Fig. 5) en la cual habrá disminuido el número de alternativas de forma que, las 17.740 posibles localizaciones iniciales habrán quedado reducidas a 8.961 estando éstas situadas en las categorías 2, 3 y 4.

Figura 5. Alternativas tras eliminar aquellas con criterios en categoría 1 (Filtrado nº1)



Continuando con el proceso de selección, se tomará como punto de partida la capa temática anterior (Fig. 5) y se llevará a cabo un nuevo filtrado en el que se eliminarán aquellas alternativas que presenten valores en alguno de sus criterios situados en la categoría 2. Procediendo de esta forma, se reducirán las 8.961 a 3.496 alternativas (Fig. 6), estando éstas situadas en las categorías 3 y 4.

Figura 6. Alternativas tras eliminar aquellas con criterios en categoría 2 (Filtrado nº2)



Una vez realizado este segundo filtrado, se procederá de forma análoga realizando un tercer filtrado con el objetivo de obtener las mejores alternativas es decir, aquellas que tengan todos sus criterios situados en la mejor categoría (Categoría 4), aplicado de nuevo el comando filtro de gvSIG se reducirán las 3.496 alternativas obtenidas en el segundo filtrado a únicamente siete alternativas (Fig. 7). La ubicación e identificación de dichas alternativas se muestran en la tabla 3.

Figura 7. Alternativas tras eliminar aquellas con criterios en categoría 3 (Filtrado nº3)

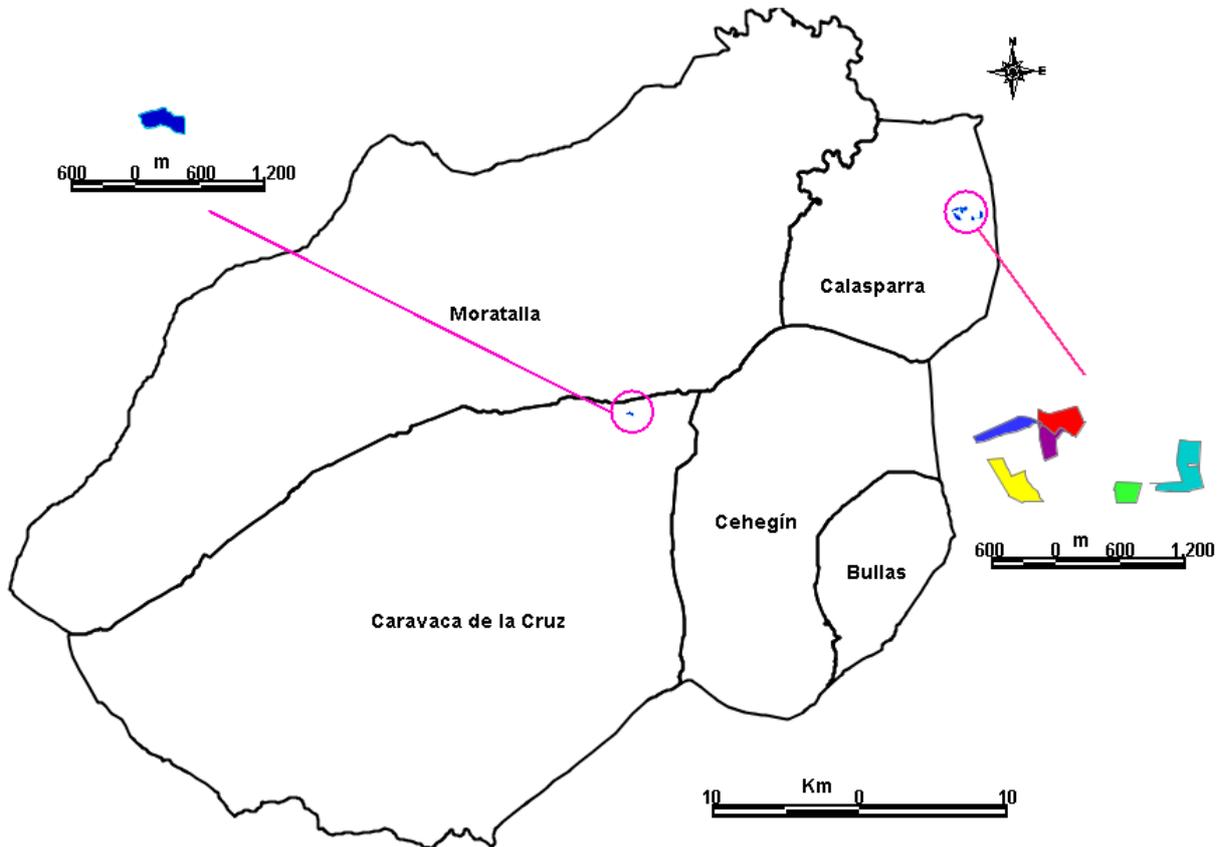


Tabla 3. Alternativas resultantes tras realizar filtrado nº 3

Alternativa	Municipio	Polígono	Parcela	Subparcela	Coord. X	Coord. Y
A ₁	Caravaca de la Cruz	018	00003	a	599672.94	4221392.73
Á ₂	Calasparra	007	00085	c	621729.28	4235281.37
A ₃	Calasparra	007	00090	a	621869.65	4234738.19
A ₄	Calasparra	007	00173	d	622136.26	4235179.12
A ₅	Calasparra	007	00173	b	622304.53	4235383.42
A ₆	Calasparra	007	00163	a	622852.49	4234561.85
A ₇	Calasparra	007	00158	a	623424.44	4234898.64

Observando la fig. 7 y tabla 3 se aprecia que no hay ninguna alternativa óptima situada en los municipios de Moratalla, Cehegin y Bullas. La mayor parte de dichas alternativas están situadas en el municipio de Calasparra (concretamente seis de las siete mejores alternativas

se sitúan en él) y la alternativa óptima restante está localizada en el municipio de Caravaca de la Cruz.

Analizando los valores de los criterios (tabla 4) para tales alternativas óptimas se observa que dichas alternativas son colindantes con redes viarias (criterio C₄) y la mayoría disponen de una red eléctrica en su interior (criterio C₅), ese es el motivo por el que presentan la mayor parte un valor cero o próximo a cero. También se aprecia que ciertos criterios tales como la pendiente (criterio C₁), orientación (criterio C₃), irradiación solar (criterio C₈) y temperatura media (criterio C₉) tienen valores muy próximos por lo que tales valores no son influyentes en la decisión. En cambio los criterios tales como el área de la parcela (criterio C₂), la distancia a núcleos de población (criterio C₆) y la distancia a subestaciones transformadoras (criterio C₇) presentan valores dispares, por tanto, la elección del mejor emplazamiento vendrá determinado por el peso o coeficiente de importancia de estos últimos criterios.

Tabla 4. Valores de criterios en las alternativas óptimas

Alternativas	Criterios								
	C ₁ (%)	C ₂ (m ²)	C ₃ (°)	C ₄ (m)	C ₅ (m)	C ₆ (m)	C ₇ (m)	C ₈ (kJ/m ² día)	C ₉ (°C)
	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.	Min.	Max.	Max.
A ₁	0,26	89298,37	360,00	0,00	93,53	6028,68	5793,66	2086	17,1
A ₂	0,34	43903,39	360,00	0,00	0,00	6400,45	6192,66	2081	17,1
A ₃	0,25	76262,28	360,00	0,00	80,53	6376,42	6174,85	2081	17,0
A ₄	0,29	44092,23	360,00	0,00	0,00	7225,17	6989,63	2062	17,1
A ₅	0,48	106290,92	360,00	0,00	0,00	7547,42	7319,09	2070	17,1
A ₆	0,77	61831,30	359,57	0,00	0,00	1120,08	2002,35	2031	17,0
A ₇	0,30	54748,54	360,00	0,00	0,00	5847,85	5624,50	2084	17,0

3. Conclusiones

Tras el estudio realizado se ha comprobado que los software SIG no sólo son excelentes herramientas capaces de resolver y visualizar problemas complejos de localización, sino que además permiten generar importantes bases de datos que constituyen un punto de partida idóneo para afrontar cualquier problema de naturaleza territorial.

En el caso particular propuesto se han alcanzado diferentes conclusiones. En relación a la obtención de superficies aptas para albergar huertos solares fotovoltaicos (Fig. 3), se ha llegado a la conclusión de que el noroeste de la Región de Murcia es una zona óptima para implantar este tipo de instalaciones ya que, una vez que se ha considerado la totalidad de restricciones, se ha obtenido un porcentaje elevado de superficie apta disponible (43,54 %).

Con las herramientas propias del software SIG mediante la información proporcionada por expertos, ha sido posible efectuar una búsqueda y selección de los mejores emplazamientos para albergar este tipo de instalaciones logrando reducir las alternativas iniciales a únicamente un número muy reducido y manejable de alternativas (Fig. 7).

Entre las limitaciones que presenta este estudio las cuales podrían englobarse dentro de posibles trabajos futuros, cabría mencionar tanto aumentar el número de expertos a la hora de definir las categorías y la selección de alternativas, como hacer extensible el caso de estudio a la totalidad del territorio nacional o a otras zonas en las que se desee implantar huertos solares. Incluso cabría la posibilidad de aumentar el número de tecnologías

renovables a implantar (eólica, solar termoeléctrica, biomasa, biogás, etc.). También sería interesante combinar los SIG con otras herramientas de ayuda a la decisión como por ejemplo métodos de decisión multicriterio con el objetivo de, por un lado obtener los pesos o coeficientes de importancia de los criterios y por otro, evaluar o clasificar las diferentes alternativas y de esta manera, poder establecer una comparativa de metodologías de evaluación de las diferentes localizaciones disponibles.

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por fondos FEDER, la DGICYT y Junta de Andalucía en los proyectos TIN2011-27696-C02-01 y P11-TIC-8001, respectivamente.

4. Referencias

- Arán-Carrión, J., Espín-Estrella, A., Aznar-Dols, F., Zamorano-Toro, M., Rodríguez, M., & Ramos-Ridao, A. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12, 2358-2380.
- 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.
- Consejería de Infraestructuras y Transporte de la Comunidad Valenciana, Asociación gvSIG, accesible desde: <https://gvsig.org/web/catalog>.
- Dovì, V.G., Friedler, F., Huisingh, D., & Klemes, J.J. (2009). Cleaner energy for sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 17, 889-895.
- España. Decreto Legislativo 1/2005 del 10 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Suelo de la Región de Murcia. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 9 de diciembre de 2005, núm. 282. pp. 26683.
- España. Decreto 102/2006 del 8 de junio, por el que se aprueban las «Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Suelo Industrial de la Región de Murcia». *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 16 de junio de 2006, núm. 137. pp. 18591
- España. Ley 42/2007 del 13 de diciembre, complementaria de la Ley para el desarrollo sostenible del medio rural. *Boletín Oficial del Estado*, 14 de diciembre de 2007, núm. 299, pp. 51275.
- España. Ley 16/1985 del 25 de junio del Patrimonio Histórico Español. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de junio de 1985, núm. 155, pp. 20342.
- España. Ley 22/1988 del 28 de julio de costas. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de julio de 1988, núm. 181, pp. 23386.
- España. Ley 25/1988 del 29 de julio, de carreteras. *Boletín Oficial del Estado*, 30 de julio de 1988, núm. 182, pp. 23514.
- España. Ley 4/92 del 30 de julio, de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 14 de agosto de 1992, núm. 189. pp. 5998.
- España. Ley 3/1995, del 23 de marzo, de Vías Pecuarias. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de marzo de 1995, núm. 71, pp. 9206.
- España. Ley 4/2009 del 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 22 de mayo de 2009, núm. 116. pp. 23420.
- España. Real Decreto-Ley 14/2010, del 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de diciembre de 2010, núm. 312, pp. 106386.
- 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.
- European Commission. (2010). *PV Status Report 2010: Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaics*. DG Joint Research Centre. Institute for Energy, Renewable Energy Unit, ISBN 978-92-79-15657-1, doi:10.2788/87966, EUR 24344 EN – 2010. Italy.
- 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.
- 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.
- United States. Energy Information Administration. (2013). *International Energy Outlook 2013. With Projections to 2040*. Office of Energy Analysis U.S. Department of Energy Washington, DC 20585. pp. 1-312.
- United Nations. (1992). Report of the United Nations. Conference on environment and development. *Rio Declaration on Environment and Development*. Rio de Janeiro
- 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, Camberra.
- Working Group III. (1990). Climate Change. *The IPCC Response Strategies*. World Meteorological Organization/United Nations Environment Program. Island Press.