

MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**PROPUESTA METODOLÓGICA DE
SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS VIABLES
PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA: LANZAROTE**

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Curso 2010/11

Alumna: Verónica Hung González

Tutora: Milagros Serrano Cambroner

Asignatura: Trabajo Fin de Máster

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), y en especial a Javier Domínguez y Ana Navarro por su apoyo técnico y su especial atención y dedicación a este trabajo.

Del mismo modo, agradecer la labor de Milagros Serrano, como tutora de este trabajo, por sus sabios consejos y por la exhaustiva atención prestada en la elaboración del mismo.

Índice

1.	Introducción	3
2.	Objetivos	5
3.	Antecedentes y Estado de la Cuestión	5
3.1.	Marco Teórico	7
3.2.	Algunos datos sobre Energías Renovables y ESF.....	8
4.	Metodología	10
5.	Desarrollo del Estudio	12
5.1.	Descripción de la zona de estudio.....	12
5.2.	Fuentes de Datos.....	13
5.2.1.	Análisis de fuentes del Recurso Solar.....	13
5.2.2.	Factores.....	18
5.2.3.	Datos de Irradiación Solar en Lanzarote y obtención de superficies de Irradiación Solar	27
5.3.	Restricciones y Zonas viables	44
5.3.1.	Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000	44
5.3.2.	Geología y Litología	44
5.3.3.	Usos del suelo.....	45
5.3.4.	Pendientes.....	46
5.3.5.	Orientación.....	47
5.3.6.	Radiación Solar	47
5.3.7.	Red Viaria	47
5.3.8.	Red Eléctrica de Alta Tensión	48
6.	Resultados	49
7.	Conclusiones.....	52
8.	Bibliografía	53
9.	Apéndices	54
9.1.	Listado de Imágenes.....	54
9.2.	Listado de Mapas	54
9.3.	Listado de Tablas.....	56
9.4.	Índice de Acrónimos.....	56

1. Introducción

Nos encontramos en una época en la que la humanidad ya tiene el conocimiento de la huella que genera en el medio con su actividad. **Cambio climático**, considerada como una “*prioridad mundial*”¹, pérdida de biodiversidad y desertización, son algunos de los ejemplos. En este sentido, son numerosos los esfuerzos realizados (Protocolo de Kyoto, Libros Rojos de Especies Amenazadas, etc.) para hacer que nuestra existencia sobre la Tierra sea lo más sostenible posible.

En cuanto al cambio climático se refiere, las emisiones de CO₂², su principal precursor, se deben sobre todo a la quema de combustibles fósiles en actividades tales como la producción de energía y calor. Estas emisiones, se intentan disminuir a través de las **Energías Renovables**³.

Una política energética basada en energías renovables, permite un suministro de energía sostenible, reduciendo así el consumo de combustibles fósiles. El empleo de un amplio rango de fuentes, favorece la seguridad del suministro energético debido al aumento de la diversidad energética por un lado y la disminución de la dependencia energética con el exterior por otro (Domínguez, 2002).

Entre las Renovables disponibles, se quiere hacer especial mención a la **Energía Solar Fotovoltaica** (ESF), ya que supone la producción de energía eléctrica directamente a partir de la radiación⁴ solar. Este hecho se produce gracias a las propiedades de los materiales semiconductores de que están hechas las células fotovoltaicas, ya que al incidir la luz del Sol sobre las mismas, consigue que se produzca un flujo de electrones en el semiconductor, al transmitirle la energía a sus electrones, generando una diferencia de potencial que es la que da lugar a la generación de electricidad. Existen dos grandes tipos de instalaciones de ESF, las de tipo aislado, ideales para hacer llegar la electricidad a lugares de difícil acceso o que se encuentran alejadas de las redes de distribución, y las conectadas a red. En ambos casos, se produce electricidad a partir de una fuente renovable (o inagotable) como es el Sol, proceso que se encuentra exento de emisiones de gases de efecto invernadero durante la producción de la energía.

Por el contrario, la ubicación de este tipo de instalaciones en lugares no apropiados, no se encuentra exenta de generar una disminución de la calidad paisajística del lugar, conflictos con los usos del suelo preexistentes y efectos negativos sobre el entorno, como pueden ser molestias a especies de gran interés o a lugares con un alto valor ecológico. En este sentido, un estudio apropiado de la **selección del emplazamiento** se vuelve indispensable.

¹ GEO 4: Cuarto informe de perspectivas del medio ambiente mundial. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). <http://www.pnuma.org/GEO4/>

² Supone el 77% del total de Gases de Efecto Invernadero, perteneciendo el 24,6% del total de las emisiones de este gas a la producción de energía y calor. PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

³ Se pretende llegar a una cuota del 20% de producción de energía a partir de renovables. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2004-2020

⁴ Se trata de la radiación emitida por el Sol en su conjunto. En muchas ocasiones se utiliza indistintamente con el significado de irradiancia

Como se ha comentado con anterioridad, la materia prima de este tipo de energía es la **irradiación⁵ solar**. La cantidad de este recurso en un lugar, depende de factores tales como la pendiente del terreno, pues influirá en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y el sombreado, que lo hará en las horas de exposición. Atendiendo a aspectos más globales, dos factores determinan su distribución sobre la superficie terrestre. En primer lugar, la localización geográfica y temporal: latitud, orientación y hora. Y en segundo lugar, las condiciones meteorológicas y climatológicas que determinan la radiación diaria recibida y su variabilidad estacional. La influencia de los primeros es fácilmente calculable, pero no lo es tanto en el segundo caso.

La **estimación del recurso**, es el paso previo dentro del dimensionado de instalaciones o sistemas que aprovechan algún tipo de fuente energética. En el caso de la energía solar, la información disponible para el lugar de aprovechamiento debe ser lo más fiable posible, debido a que un W/m^2 de diferencia influye directamente en la eficiencia de la instalación⁶. Esta estimación, se puede realizar con medidas en tierra, que siempre es lo deseable, aunque en la mayoría de las ocasiones no se cuenta con valores medidos en los puntos de interés. Se suele acudir, por tanto, a técnicas de interpolación, pero la red muchas veces no es lo suficientemente densa como para que sea viable. Así que, tanto en este caso, como cuando la ausencia de datos es total, la estimación a partir de imágenes de satélite se vuelve indispensable (Manrique, 2009). Una tercera opción que facilitaría la creación de una base de datos espacial de radiación y que es capaz de valorar la influencia del relieve, es el uso de los modelos de radiación integrados en los Sistemas de Información Geográfica (Pinedo, 2008).

Se desprende de todo ello, una importante componente territorial, geográfica, en relación con las Energías Renovables en la que pueden entrar a jugar un importante papel los **Sistemas de Información Geográfica**, sobre todo, si tenemos en cuenta su gran aptitud para el análisis espacial. Los SIG permiten tareas de superposición de información, como por ejemplo de irradiación solar sobre el territorio, análisis de vecindad, como el cálculo de distancias, o cálculo de pendientes y orientación a partir del modelo digital del terreno, esenciales para la selección de ubicaciones viables para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.

Por lo tanto, centraremos este estudio en la búsqueda y cálculo de mapas de irradiación solar y en la selección de potenciales emplazamientos, por su idoneidad, para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.

Finalmente, comentar que para enfocar este trabajo en un lugar concreto del territorio, se ha centrado en una zona de España, que goza de unas condiciones inmejorables, en cuanto a situación se refiere, para poseer unos buenos valores de irradiación global horizontal, y de horas de sol, como es Canarias. En concreto, se va a realizar en una de las islas más áridas y cercanas al continente africano, **Lanzarote**.

La principal herramienta utilizada para el desarrollo del presente estudio, ha sido un **Sistema de Información Geográfica** debido a las grandes cualidades que presenta en cuanto al análisis, tanto espacial como estadístico, de los datos con base territorial.

⁵ Es la radiación que llega finalmente a la Tierra desde el Sol, medida en unidades de energía, tiempo y área.

⁶ W/m^2 : Watio por metro cuadrado

2. Objetivos

La **intención principal** de este trabajo es la delimitación de áreas que pudieran ser objeto de ubicaciones potenciales de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, conectadas a red, en la Isla de Lanzarote.

Para la consecución de este objetivo principal se persiguen los siguientes **subobjetivos**:

- Conocimiento de los factores que afectan a la ubicación de las instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica conectada a red
- Conocimiento de las restricciones que afectan a los factores
- Obtención de bases de datos del recurso solar, a nivel local, de la zona de estudio, debido a su importancia para el funcionamiento de este tipo de instalaciones

3. Antecedentes y Estado de la Cuestión

Ya desde antaño, en **Lanzarote** se realizaba un uso del gran recurso solar que este territorio posee. La irradiación procedente del **Sol** se utilizaba para obtener **sal marina**. Primeramente se realizaba esta actividad en cocederos⁷ naturales sobre roca. Posteriormente, con el aumento de la industria de las salazones, alrededor de 1530, se aprovechó el auténtico efecto de un cocedero natural, elevadas temperaturas y constante viento, y la ventaja de no tener que elevar las aguas hasta las maretas. Se construyó entonces, la primera salina artificial de Canarias a los pies del Risco de Famara, cercana al estrecho de mar que une Lanzarote y La Graciosa, conocido como El Río, nombre que se transfirió a las salinas allí construidas. Se sabe que su actividad duró hasta los primeros años del siglo XIX.

Actualmente siguen en funcionamiento dos salinas en Lanzarote, las de Janubio en el Sur de la Isla, y la de la costa del pueblo de Guatiza. Las salinas de El Río siguen existiendo, pero no son explotadas. Han existido muchas otras, sobre todo en Arrecife, aunque el cambio en la dinámica social y económica de este territorio ha provocado que se haya abandonado la actividad.

Hoy en día, a parte de las Salinas, el uso que se realiza del recurso solar es de tipo energético. Existen instalaciones tanto de Energía Solar Térmica, como de Energía Solar Fotovoltaica. El presente estudio está centrado en esta segunda clase, aunque ambas necesitan, como paso previo, de una cuantificación del recurso solar.

⁷ En Canarias, "la importancia de la sal en las sociedades preindustriales ha sido reiteradamente puesta de relieve por la historiografía económica; constituía en algunos casos el segundo renglón de comercio, después de los cereales, y dado el carácter inelástico de su demanda, señores y monarcas intervinieron de manera activa en su producción y mercado, convirtiendo ambos procesos o el segundo en monopolio de la hacienda señorial o realenga" (Macías, 1989).



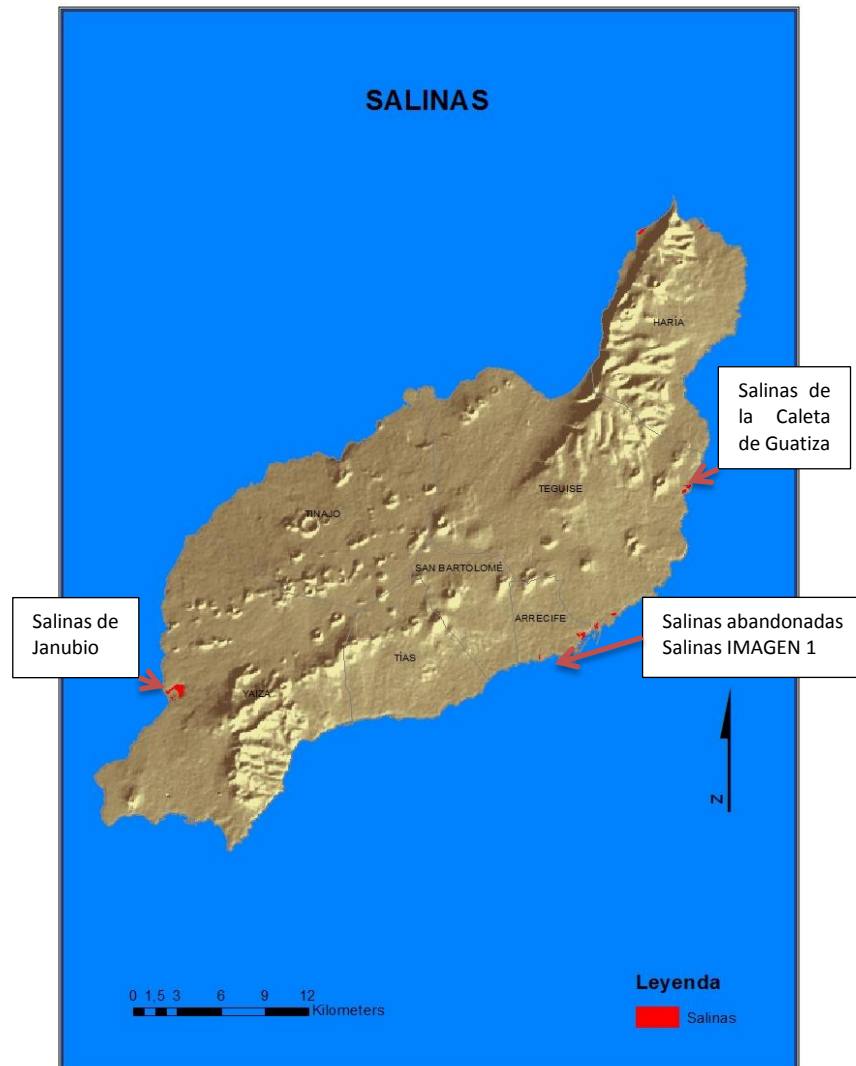
IMAGEN 1. Salinas abandonadas cerca de Arrecife. Fuente: Elaboración propia



IMAGEN 2. Detalle de las Salinas de Janubio. Fuente: Elaboración propia



IMAGEN 3. Detalle de las salinas de la Caleta de Guatiza. Fuente. Elaboración propia



MAPA 1. Ubicación de Salinas activas en Lanzarote. Fuente: Grafcan y USGS. Elaboración propia

3.1. Marco Teórico

Conviene citar las obras en relación, tanto a la cuantificación del recurso solar, como a la selección de ubicaciones óptimas para instalaciones de Energías Renovables, haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica, que han sido consultadas durante el desarrollo del presente estudio.

En cuanto al análisis del recurso solar, existe un artículo en el que se compara la estimación del recurso teniendo en cuenta el Modelo Digital del Terreno de una zona, a partir de medidas piranométricas (en tierra) por un lado y de imágenes de satélite (METEOSAT) por otro. Battles, (2006). En Canarias, se ha realizado la estimación de mapas de irradiación solar, mediante SIG, a partir de datos de irradiación medidos en tierra, entre otros datos. Finalmente, a partir de estos mapas se han calculado mapas de potencial fotovoltaico, disponibles mediante conexión wms⁸ en la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias (IDECAN). (Monedero, 2007).

⁸ Web Map Service

Existe también un estudio en el que se analizan los diferentes métodos de interpolación de datos de recurso solar disponibles en un Sistema de Información Geográfica, así como los distintos modelos teóricos que estos software poseen y finalmente muestra la integración del recurso solar a los SIG para llevar a cabo análisis de distinta índole. I. Pinedo, (2008).

Del mismo modo, se encuentra disponible un informe técnico en el que se realiza un análisis sobre las fuentes de datos que sobre el recurso solar existen, creando mapas de dicho recurso a partir de los mismos con la ayuda de los SIG. P. A. Manrique (2009). Finalmente, para Canarias, existe un artículo en el que se analizan distintas fuentes de datos de irradiación. Sus autores ponen de relieve, la falta de exactitud de los datos aportados por las fuentes consultadas, debido a que normalmente se aportan valores referidos a cada capital de provincia, obviando la complejidad del relieve y clima de las distintas islas. A. Pulido, (2010)

En cuanto a la selección de emplazamientos de instalaciones de Energías Renovables mediante SIG, existen trabajos como el de J. Domínguez, (2002) en el que recoge desde una perspectiva tecnológica, ambiental, social y geográfica, el papel que pueden jugar los sistemas de información geográfica en la integración de las energías renovables, con especial atención a los aspectos relacionados con la producción descentralizada de electricidad a partir de las mismas. Otro autor, E. Orellana, (2009), propone como solución a los problemas energéticos y ambientales, la Energía Termosolar. Para ello, centrándose en el desierto de Atacama, utiliza una serie de factores a los que aplica restricciones. Finalmente, superpone cada resultado para obtener las áreas con potencial para la ubicación de este tipo de instalaciones.

M. Rodríguez, (2010), por su parte, integra elementos energéticos y ambientales, en un Sistema de Información Geográfica y a su vez, propone su uso a través de un Geoportal para la isla de Cuba. Facilita así, la información previa en el proceso de toma de decisiones en el desarrollo energético y en el programa de electrificación rural y agrupa las aplicaciones de las energías renovables en combinación armónica con las energías convencionales. Tiene en cuenta el potencial renovable, las regiones exactas donde está ubicado, la demanda de los asentamientos no electrificados y el coste de los sistemas.

Finalmente, R. Quijano, (2011), desarrolla un modelo de planeación del sistema de energía, de forma sostenible, que determina las necesidades energéticas de una zona geográfica determinada y potencializa nuevos recursos energéticos que puedan ser incluidos en una matriz energética sostenible. Este modelo evalúa las tecnologías energéticas involucrando las externalidades generadas en el desarrollo de los proyectos. Todo ello centrado en Colombia.

3.2. Algunos datos sobre Energías Renovables y ESF

En el Plan Energético de Canarias, se persigue para el horizonte de 2015 que la participación del conjunto de fuentes renovables sea del 30% en la generación eléctrica. En cuanto a la Energía Solar Fotovoltaica se pretende alcanzar una cifra de 160 MW instalados.

En la actualidad, la única información disponible acerca de las instalaciones de ESF presentes en Lanzarote, es que existen más de 70 instalaciones con una potencia instalada de 4 MW a

fecha de octubre de 2010⁹. Añadir que existe el Avance del **Plan Territorial Especial de Ordenación de Infraestructuras Energéticas de Lanzarote**¹⁰, que como su propio nombre indica, pretende ordenar este tipo de elementos en el espacio, proponiendo distintas alternativas. De este documento se desprende la ubicación y la potencia asociada de algunas de las instalaciones de ESF existentes en Lanzarote, que en el momento de redacción del documento (2007), se encontraban pendientes del permiso de volcado a red:

- La Florida: 20 KW
- Tinajo: 20 KW
- Colegio de Tahiche 2,5 KW
- San Bartolomé 2,5 kW
- Oficinas administrativas. Parque Nacional de Timanfaya 1,25 kW

La ubicación aproximada de las mismas se puede observar en el siguiente mapa.



MAPA 2. Ubicación de instalaciones de ESF en Lanzarote. Fuente: Idecan¹¹ y Grafcan¹². Elaboración propia

⁹ Fuente: Excmo. Cabildo de Lanzarote. Consejería de Industria, Comercio, Consumo y Energía

¹⁰ Disponible en <http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/20080429155901908Completo.pdf>

¹¹ Ortofoto aérea: <http://idecan1.grafcan.es/ServicioWMS/OrtoUrb?>

Mapa

Topográfico:

<http://idecan2.grafcan.es/ServicioWMS/MT1?>

¹² Cartográfica de Canarias S.A.

4. Metodología

Para el funcionamiento de las instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica (ESF), es imprescindible conocer el valor de la irradiación solar, en toda la superficie de estudio. Sobre todo, si, como en el caso que nos ocupa, se pretende realizar un análisis territorial de la zona.

La estimación del recurso solar, a partir de mediciones o estimaciones, normalmente se obtiene mediante datos de mediciones en tierra que posteriormente se interpolan para la obtención de bases de datos continuas en el espacio. También se pueden realizar estimaciones a partir de imágenes de satélite que permiten la obtención de datos de toda la zona de interés, aunque al ser también de carácter puntual, del mismo modo, como paso final se realiza su interpolación. Asimismo, se puede realizar una combinación de ambas, para los casos de insuficiencia de datos de las mediciones en tierra o se tiene la posibilidad de hacer un uso exclusivo de las mismas cuando la ausencia de los datos del recurso es total siempre que las imágenes estén disponibles.

Dado que para la isla de Lanzarote, el dato real disponible de medición en tierra era únicamente uno, se han tomado estimaciones puntuales de satélite que se han interpolado haciendo las funciones de datos medidos en tierra.

Para el desarrollo del Estudio, en primer lugar, se ha procedido al **análisis de las distintas fuentes disponibles con información de irradiación solar** como son: SWERA (*Solar and Wind Resource Assessment*), SSE-NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), Código Técnico de la Edificación, *Iacceda*, PV-GIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), SoDa (*Solar Radiation Data*) y el modelo teórico de cálculo de irradiación solar que el SIG utilizado en el estudio posee. Con el resultado de la búsqueda de datos sobre recurso solar y su posterior procesamiento, se han obtenido valores de **suma anual de irradiancia global horizontal**, válidos para conocer la aptitud de una zona del territorio para ser objeto de instalaciones de ESF.

Para establecer qué zonas serían las más apropiadas para la ubicación de instalaciones de energía solar fotovoltaica, **se buscarán los distintos factores a tener en cuenta**, y se les **aplicarán ciertas restricciones**. Ambos elementos son descritos por Domínguez, J. (2002), Orellana, E. (2009), Rodríguez, M. (2010) y Quijano, R. (2011). Estos autores utilizan los **SIG** como herramienta de **análisis** imprescindible en el estudio de ubicación de instalaciones de energías renovables y, entre ellas, las relacionadas con el recurso solar. Los factores que se desprenden de los trabajos de los anteriores autores son los siguientes:

- Pendientes: factor interesante a tener en cuenta, más desde el punto de vista de impacto visual que como requisito técnico, ya que según la consulta a los expertos, las celdas fotovoltaicas son bastantes ligeras y ampliamente distribuibles en cuanto a inclinación se refiere
- Orientación: factor enfocado a un mayor rendimiento de la celda fotovoltaica, a mayor horas de sol, mayor producción de energía eléctrica
- Litología (formaciones de interés y materiales a evitar, puntos de interés), Espacios Naturales Protegidos, Usos del suelo (residencial, hidrológico). Todos ellos factores de

un gran interés de protección por su valor asociado, debido a la afección que las instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica y sus actividad asociada pueden generar sobre los mismos

- Vías de Comunicación y Red Eléctrica: factores imprescindibles desde el punto de vista de la eficiencia de las infraestructuras. Es decir, se busca utilizar la infraestructura eléctrica y viaria ya existente para disminuir los costes de las instalaciones
- Irradiación Solar: Factor de suma importancia, si los valores que muestra no son adecuados, no es procedente la instalación de celdas fotovoltaicas

Seguidamente, se ha procedido a la interpolación, a través del método **kriging simple**, de los datos obtenidos de Irradiación Solar de SoDa y PV-GIS. Se ha utilizado esta técnica geostatística debido a que es la que presenta una mejor bondad de ajuste (Pinedo, 2008). Se ha realizado a continuación, el cálculo de una superficie de irradiación solar para la zona de estudio, calculada a partir de un **modelo teórico**. Ambos procesos se han realizado a partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Como siguiente paso, se aplican **restricciones**, a los factores, una vez han sido obtenidos, obteniéndose así **capas Booleanas**¹³, que expresarán las **zonas viables** para cada factor. Es sumamente importante tener presente los valores ambientales y de protección a la población de un lugar, pero también lo es, realizar un uso eficiente de las infraestructuras ya existentes como pueden ser la red eléctrica y las vías de comunicación.

Finalmente, **superpondremos las zonas viables de cada factor**, teniéndose como resultado, una base de datos con las zonas potencialmente viables para las instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica (ESF). A continuación, **superpondremos los mapas de radiación solar** de los que disponemos. De esta forma, sabremos las áreas disponibles y el valor de irradiación asociado en cada punto.

Para llevar a cabo este análisis nos vamos a valer del gran potencial analítico, con base territorial, que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) poseen.

El diagrama seguido para la elaboración del presente estudio, se muestra a continuación:

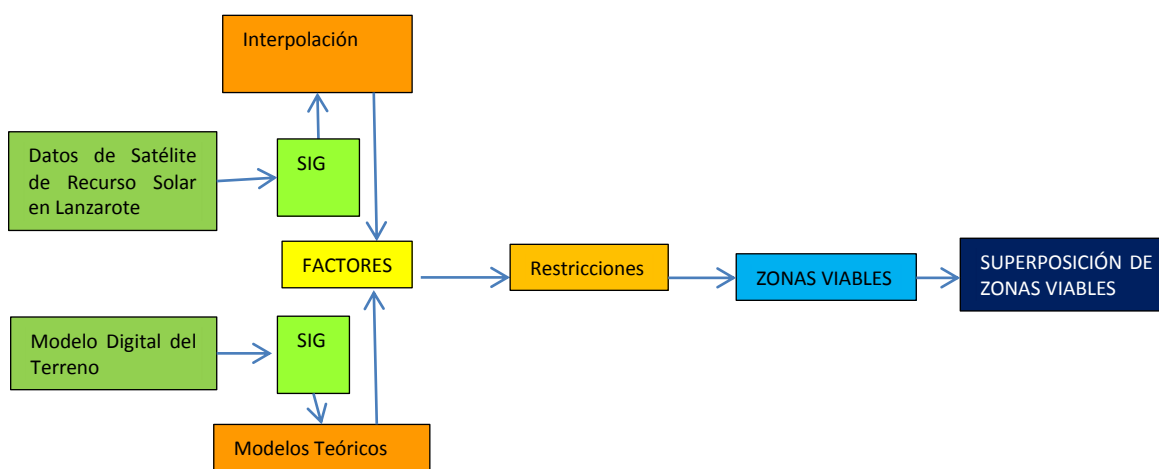


IMAGEN 4. Diagrama de flujo del estudio. Elaboración propia

¹³ Con valores de 0, no cumple la restricción, 1 sí la cumple

5. Desarrollo del Estudio

5.1. Descripción de la zona de estudio

Las **islas Canarias** se hallan ubicadas en el Océano Atlántico, fuera de la plataforma continental, al Noroeste del continente Africano, entre las latitudes 27° 37' y 29° 25' N y las longitudes 13° 20' y 18° 10' W.

Lanzarote es la isla más oriental, y por tanto la más cercana al continente Africano. Cuenta con una **superficie** de 845, 94 km², incluyendo la de los islotes que forman parte del Archipiélago Chinijo: La Graciosa (29,05 km²), Montaña Clara (1,48 km²), Alegranza (10,30 km²), y los Roques del Este y del Oeste¹⁴. Posee una **altitud** máxima de 671 m que se corresponde con las Peñas del Chache, situada al Norte de la isla (Macizo de Famara). Esta discreta máxima se debe a que Lanzarote es una de las islas más antigua del Archipiélago (14,5 millones de años) y por ello se encuentra más erosionada.

Tiene un **clima** de tipo desértico-cálido, con veranos secos. Hay que añadir a este dato que el archipiélago, en su totalidad, se halla bajo la influencia de una alta presión subtropical, el anticiclón de las Azores, de cual parten los **Vientos Alisios**, que en Canarias tienen una dirección NE-SO. En Lanzarote, cuando estos vientos se elevan debido a las barreras montañosas, se enfrían y chocan con los del Noroeste dando lugar, únicamente en verano y en el **Macizo de Famara**, a una capa de nubes más o menos persistentes (mar de nubes) con su precipitación horizontal asociada. (Pulido, 2010)

Los datos descriptivos de este particular clima son: una precipitación anual media de 110 mm¹⁵, y una temperatura media anual de 20,4°C, siendo el mes más fresco el de febrero, con una temperatura media diaria que raramente se encuentra por debajo de los 18°C. En verano, la media se encuentra entre 20° y 26°C.

Caben destacar las **2944** horas anuales de sol como media y los más de **5 kWh/m²/día**¹⁶ de irradiación solar que el Código Técnico de la Edificación tiene asignado para Canarias, entre otras zonas del territorio español. Estos datos deben ser puestos de relieve, ya que caracterizan a la zona de estudio como potencialmente apta para la ubicación de instalaciones de ESF.

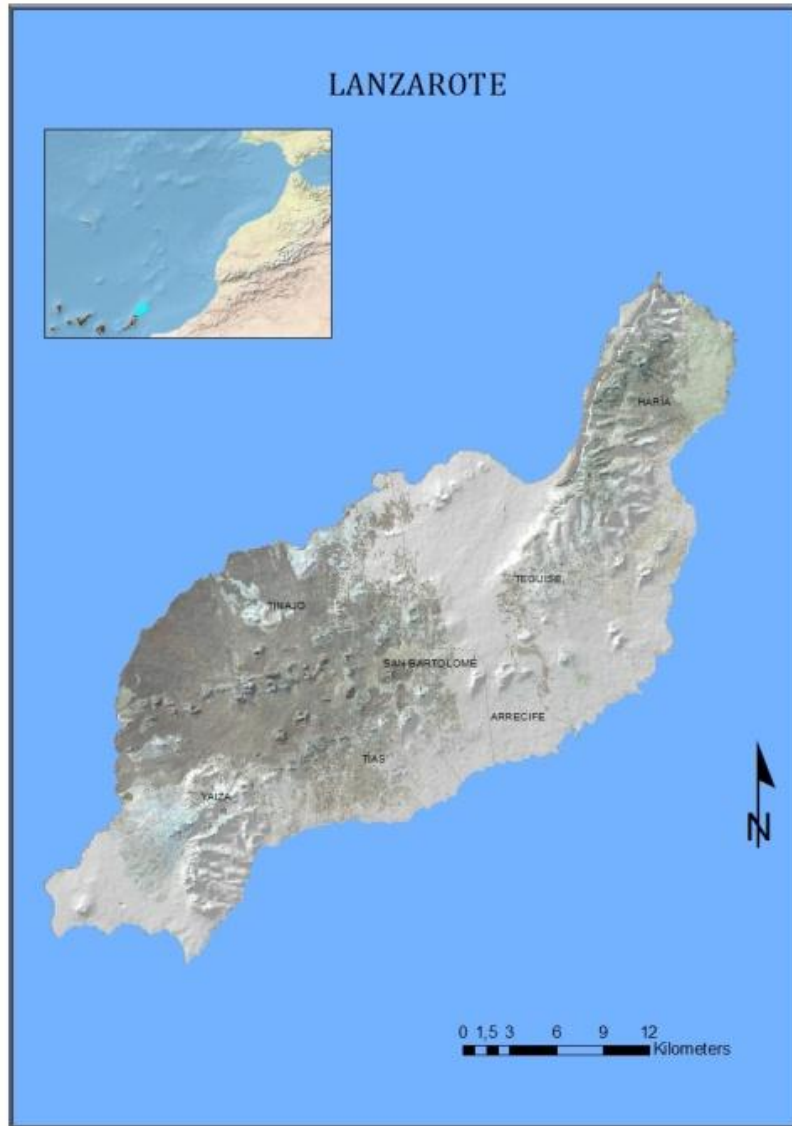
Hay que tener presente que casi la mitad de la Isla se encuentra bajo alguna categoría de protección ya sea autonómica, estatal o europea, lo que suponen 400,41 km², un 49,66%¹⁷ del total de la superficie. Asimismo, toda la isla ha sido declarada como **Reserva de la Biosfera** en 1993 por la UNESCO. Todo ello, repercutirá fuertemente en el resultado final, pues Espacios Naturales Protegidos, es uno de los factores a tener en cuenta.

¹⁴ Instituto Canario de Estadística

¹⁵ Agencia Estatal de Meteorología. Valores Climatológicos Normales. Aeropuerto de Lanzarote. 1972-2000

¹⁶ Kilovatio por hora por metro cuadrado diario

¹⁷ Elaboración propia a partir de cálculos de geometría y estadística con ArcGIS



MAPA 3. Ubicación de la zona de estudio y división administrativa. No incluye los islotes. Fuentes: Universidad de Maryland (Imagen de Satélite) y USGS (Modelo Digital del Terreno). Elaboración propia

5.2. Fuentes de Datos

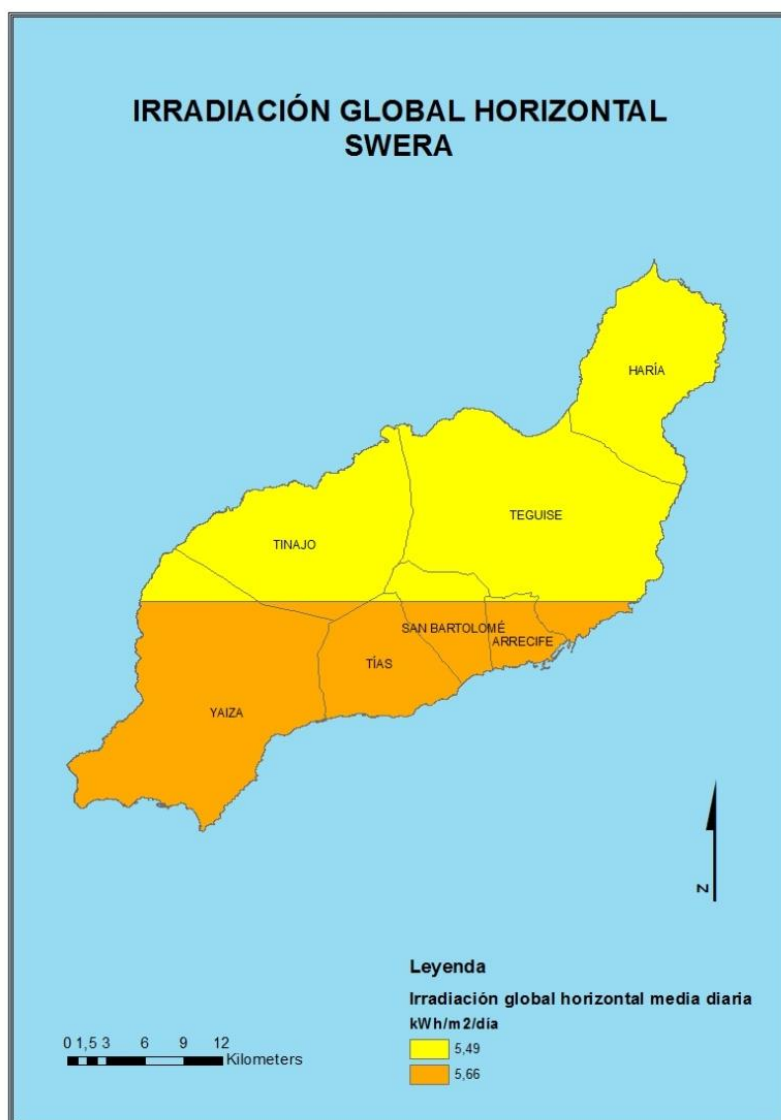
Se muestran en los próximos apartados las fuentes de datos consultadas; tanto aquellas para el recurso solar, como aquellas necesarias para la creación de los factores a los que se les aplicarán las restricciones.

5.2.1. Análisis de fuentes del Recurso Solar

Para conocer este dato, se han revisado, como así se comentaba en el apartado de Metodología, las distintas fuentes de información que se detallan a continuación. En el apartado de Datos de Irradiación Solar en Lanzarote y obtención de superficies de Irradiación Solar se tratarán los datos de las fuentes finalmente seleccionadas como válidas para el presente estudio.

5.2.1.1. SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)¹⁸

Se trata de un proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) cofinanciado por el *Global Environment Facility* (GEF), creado para proveer información y herramientas de alta calidad para el aprovechamiento de recursos energéticos renovables. Tiene carácter mundial y pretende facilitar decisiones políticas y de inversión para el aprovechamiento tanto del recurso solar como del eólico. La información proporcionada, ha sido obtenida a partir de datos tomados durante 22 años, valiéndose de imágenes de satélite, medidas en tierra, modelos numéricos, y métodos de mapeo, tanto empíricos como analíticos. El proyecto se inició en 2001 y los datos se proporcionan en mapas en formato compatible con los Sistemas de Información Geográfica, aunque con celdas de 40 km. De ahí su enfoque más global que local.



MAPA 4. Irradiación Solar para Lanzarote de SWERA y división administrativa en la Isla. Fuente: SWERA y Grafcan. Elaboración propia

¹⁸ http://swera.unep.net/index.php?id=userinfo&file=NASAGHI_278.zip

5.2.1.2. *Surface Meteorology and Solar Energy Dataset: SSE-NASA*¹⁹

Se trata, al igual que en el caso anterior, de una base de datos de libre acceso disponible en la web, en la que la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) a través del *Earth Science Enterprise Program*, proporciona datos para el estudio del clima y la radiación solar. La información ofrecida se basa en mediciones realizadas durante más de 22 años sobre diferentes regiones del planeta a partir de una red de satélites geostacionarios. Entre los diferentes datos que se aportan, se encuentra la Irradiación Global Horizontal (media diaria). Una vez revisados los resultados, al menos para Lanzarote, se puede observar que coinciden con los proporcionados por SWERA.

En la imagen siguiente, se puede ver cómo la información es aportada con una resolución de $1 \times 1^\circ$, con lo que, de nuevo, queda patente la escala global de los datos.

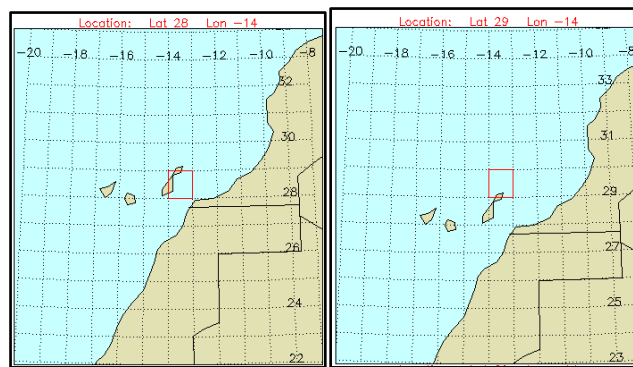


IMAGEN 5. Ilustración de la situación de la zona de estudio en la base de datos SSE-NASA. Fuente: SSE-NASA.

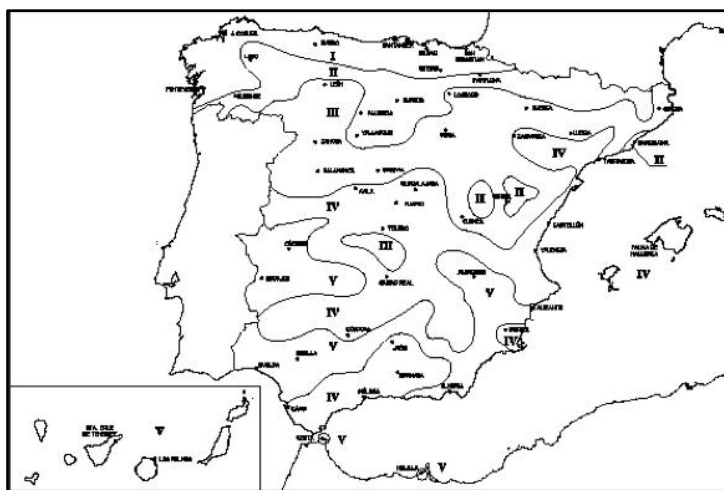
5.2.1.3. *Código técnico de la Edificación (CTE)*

En el actual CTE, debido a la obligatoriedad de algunas construcciones para la implantación de instalaciones tanto de Energía Solar Térmica como Fotovoltaica, se establecen zonas climáticas, teniendo en cuenta la Irradiación Solar Global Horizontal media diaria anual, tomando los intervalos que se relacionan a continuación para cada una de las zonas. A la vista de la tabla y el mapa, se observa que los valores para la zona de estudio, se encuentran por encima de $5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Dado que se da el mismo valor para toda la comunidad autónoma, hay que destacar el carácter global de los datos presentados.

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Tabla 1. Tabla explicativa de las zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE

¹⁹ <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?>



MAPA 5. Mapa del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE²⁰

Aunque de la información presentada hasta ahora sólo desprenden datos globales, no aplicables para nuestro ámbito de estudio, son útiles para hacernos una idea general de la cuantificación del recurso. Dado que se superan los **5 kWh/m²/día** o lo que es lo mismo **1825 kWh/m²/año**, la implementación de la tecnología es totalmente factible en todo el territorio y en cualquier época del año (Rodríguez, 2010). Se puede también añadir que el área objeto de estudio tiene **2944** horas de sol al año como media. Se trata de un dato bastante favorable, según cita Orellana, E. (2009), en su trabajo a Daniels (1964), autor que dice que las mejores zonas para el aprovechamiento solar son aquellas que tienen alrededor de 3000.

5.2.1.4. Iacceda. Mapa Solar de Canarias²¹

Portal web del Instituto Tecnológico de Canarias, con información sobre Recursos Energéticos Renovables en Canarias, que describe, entre otros, el Recurso Solar (dentro del proyecto Mapa Solar) mediante mapas de color interactivos. Se basan principalmente, en datos medidos con radiómetros, complementados con imágenes de satélite y simulaciones obtenidas a través de medidas de predicción meteorológica (MM5).

Debido al formato en el que se ofrece la información, tampoco ha podido ser utilizada como fuente de datos para este estudio, a pesar de su escala local. No obstante, una muestra del valor de los datos que se puede obtener, se observa en la siguiente tabla, en la que hay que resaltar que todos se encuentran por encima de 1825 kWh/m²/año.

	Coordenadas							
	Long	Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long	Lat
	-13,475	29.103	-13.658	29.052	-13.835	28.889	-13.601	28.953
Suma Anual de la Irradiación Global Horizontal kWh/m²/año	1967,069		1930,529		1939,904		1902,988	

Tabla 2. Datos de Irradiación de Iacceda para la isla de Lanzarote. Fuente: Iacceda. Elaboración propia

²⁰ <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbhe/he5/>

²¹ <http://meteodata.itccanarias.org/>

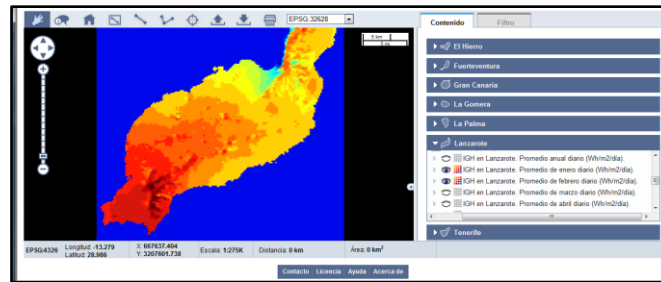


IMAGEN 6. Mapa con el valor promedio diario para el mes de Enero. Fuente: ITC

5.2.1.5. SoDa, Solar Radiation Data²²

Es el resultado de un proyecto europeo, que contiene diferentes servicios o recursos sobre radiación solar. Se va a utilizar la base de datos de Helioclim 3-v2, que únicamente tiene datos para 2005. Las cuadrículas son de 4 km², y los valores de irradiancia se han obtenido por el método Heliosat-2²³.

5.2.1.6. PV- GIS²⁴: Photovoltaic Geographical Information System

Los datos que ofrece PV GIS²⁵, han sido obtenidos de imágenes del satélite Meteosat utilizando el método Heliosat 2. A partir de esta base de datos, la irradianción global horizontal, ha sido obtenida para el periodo comprendido entre 1985 y 2004. “Utilizando el método PV-GIS, basado en un modelo de cielos despejados, interpolación del índice de cielo despejado, y en el sombreado del terreno, la resolución espacial original de Helioclim-1 a 15’, ha sido mejorada a 2 km”. (Huld, 2005).

5.2.1.7. Area Solar Radiation

Se trata de una herramienta que se utiliza para el cálculo de la radiación solar basada en modelos teóricos. “Asume condiciones de cielo claro y utiliza el MDE²⁶, la fracción de radiación difusa²⁷ y la transmitancia²⁸ atmosférica como datos de entrada para calcular las componentes directa, difusa y la radiación total...En una etapa de preprocesado calcula el horizonte local del punto a partir del MDT para posteriormente superponerlo a lo que denomina el sunmap y el skymap. Ambos “mapas” constituyen representaciones discretas del cielo visible desde el punto, y mientras el sunmap representa el movimiento aparente del sol en diferentes días del año y a diferentes horas, y por tanto está orientado al cálculo de la componente directa, el

²² http://www.soda-is.com/eng/services/services_radiation_free_eng.php

²³ Tanto Helioclim como Helioclim3, se basan en la estimación de la *Surface Solar Radiation* de las imágenes de segunda generación. Este método que utiliza la SSR se conoce como Helioclim-2. Fue propuesto y diseñado por el *Center for Energy and Processes*. Representa una alternativa a la interpolación basada en las estaciones meteorológicas, y permite una mejor cobertura espacial y temporal.

²⁴ Ofrece un mapa basado en el recurso **solar** entre otros, en Europa, África, and Suroeste de Asia. Forma parte de la acción europea de **SOLAREC** que pretende contribuir a la implementación de las energías renovables en la Unión Europea.

²⁵ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

²⁶ Modelo Digital del Terreno

²⁷ Una de las componentes de la radiación global; aquella que se desvía de su dirección original debido a las moléculas presentes en la atmósfera

²⁸ Cantidad de radiación solar que atraviesa la atmósfera

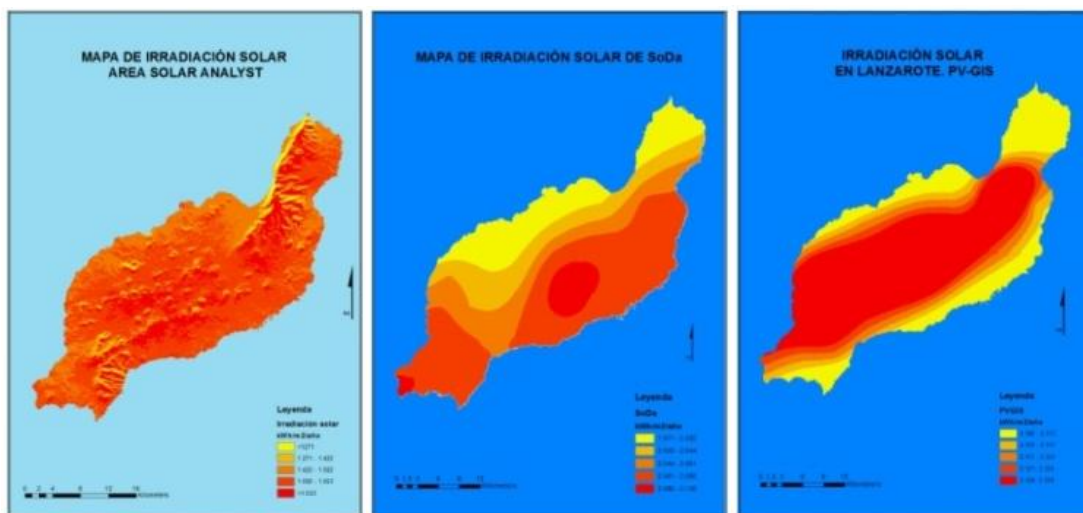
skymap calcula la componente difusa en función de los ángulos azimutal y cenital". (Pinedo, 2008)

5.2.2. Factores

A continuación, se van a mostrar los factores necesarios para realizar el análisis de emplazamientos potenciales de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Distintos autores (Domínguez, 2002), (Orellana, 2009), (Rodríguez, 2010), (Quijano, 2011), apuntan como factores imprescindibles, los siguientes: pendientes, hidrología, áreas urbanas, espacios naturales protegidos, irradiación solar, red vial y red eléctrica. No obstante, se considera que en mapas como el geológico o usos del suelo, se pueden detectar puntos o áreas sensibles que merecen una especial atención. Como así ocurre con el mapa de orientación del terreno ya que influye junto, con la altitud y la pendiente, en la generación de microclimas y de una distribución más o menos homogénea de la radiación. (Batlles, 2006) & (Pinedo, 2008)

5.2.2.1. Radiación solar

La obtención de las bases de datos territorial sobre irradiación solar, será explicada en el apartado Datos de Radiación Solar en Lanzarote y obtención de superficies de Irradiación Solar.



MAPA 6. Mapas de Irradiación Solar obtenidos a partir de distintas fuentes de datos. Fuente: USGS²⁹, SoDa y PV-GIS.

Elaboración propia

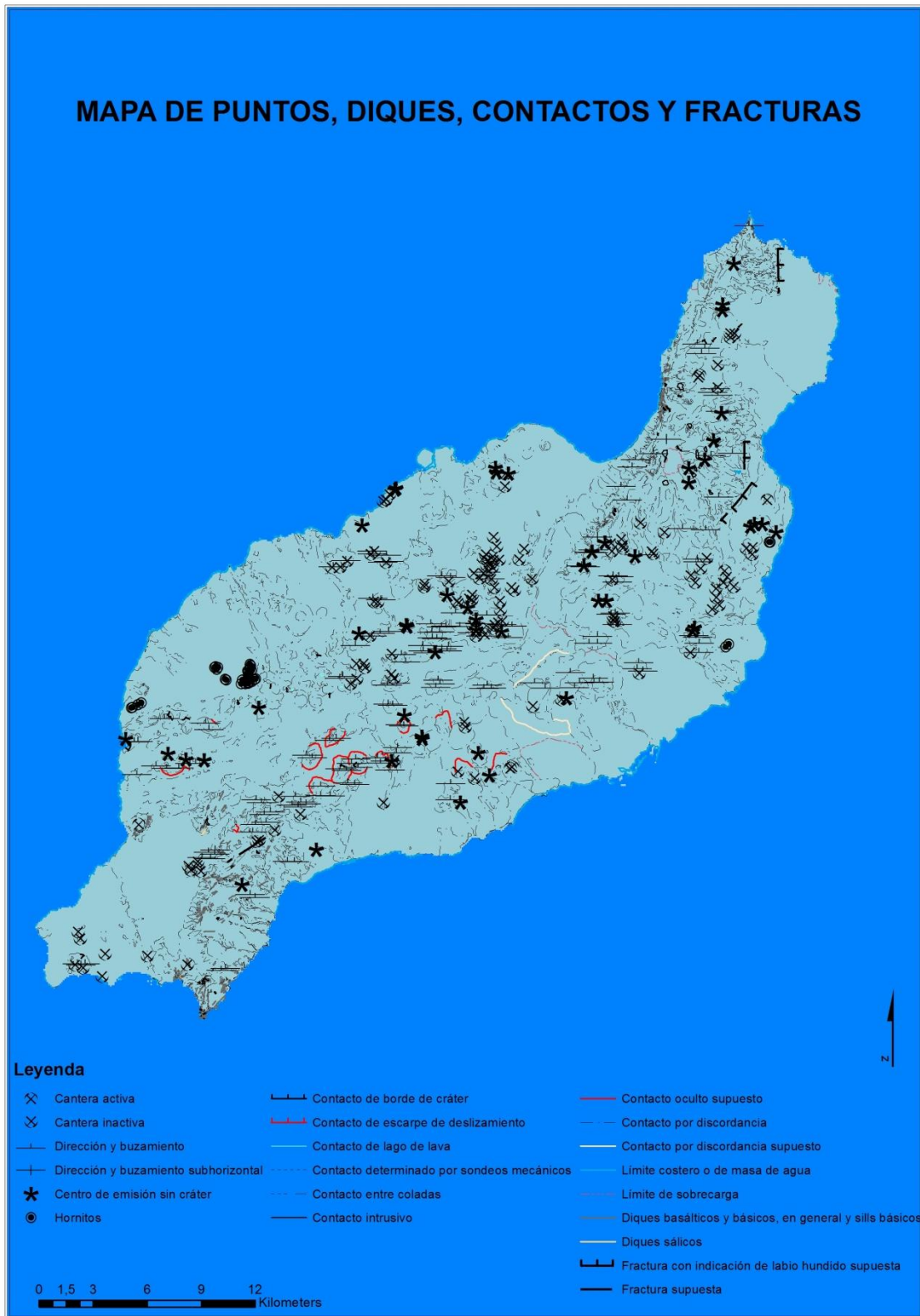
5.2.2.2. Geología y Litología

Los datos sobre este factor, han sido obtenidos de la página web de Grafcan. Para su elaboración (2003), se ha utilizado como información base, el Mapa Geológico Nacional (MAGNA).

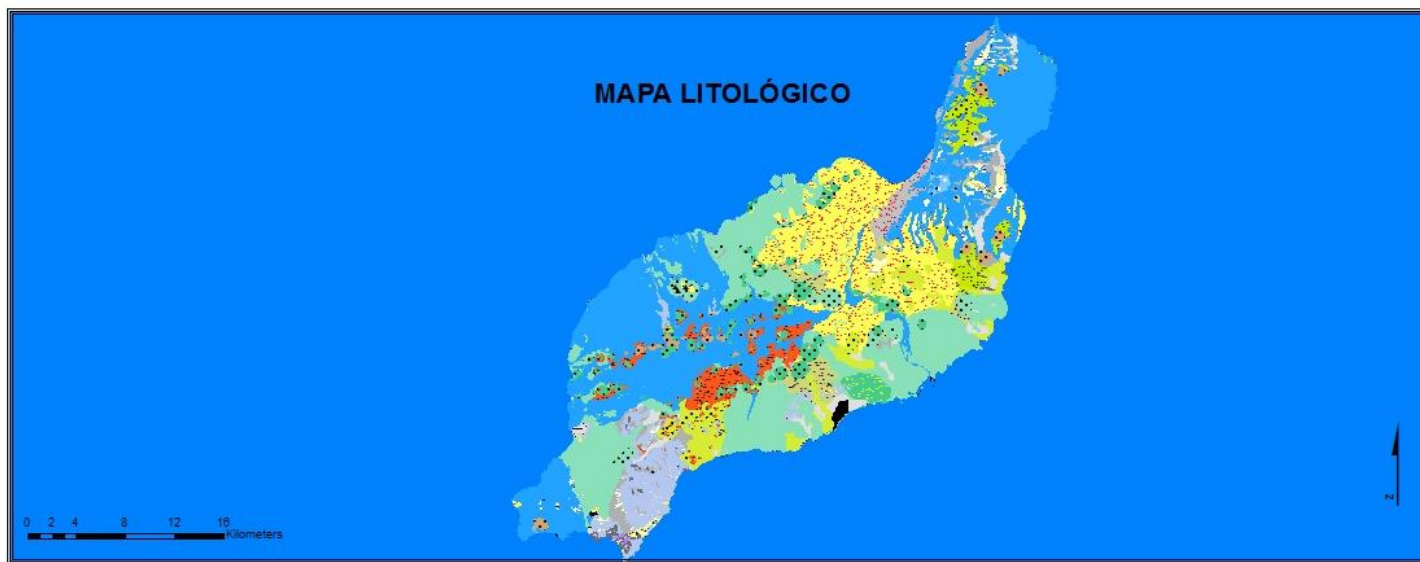
Se ha separado la información puntual y lineal y la de polígonos en dos mapas distintos. Del mismo modo, se ha trabajado la leyenda para que apareciera relacionada la simbología con su

²⁹ United States Geological Survey

descripción y no con el código asociado. En el mapa de puntos y líneas, aparecen los puntos de interés, las fracturas, los diques y los contactos. El mapa areal contiene información litológica.



MAPA 7. Mapas de puntos, diques, contactos y fracturas geológicas. Fuente: Grafcan. Elaboración propia



Leyenda

Litología

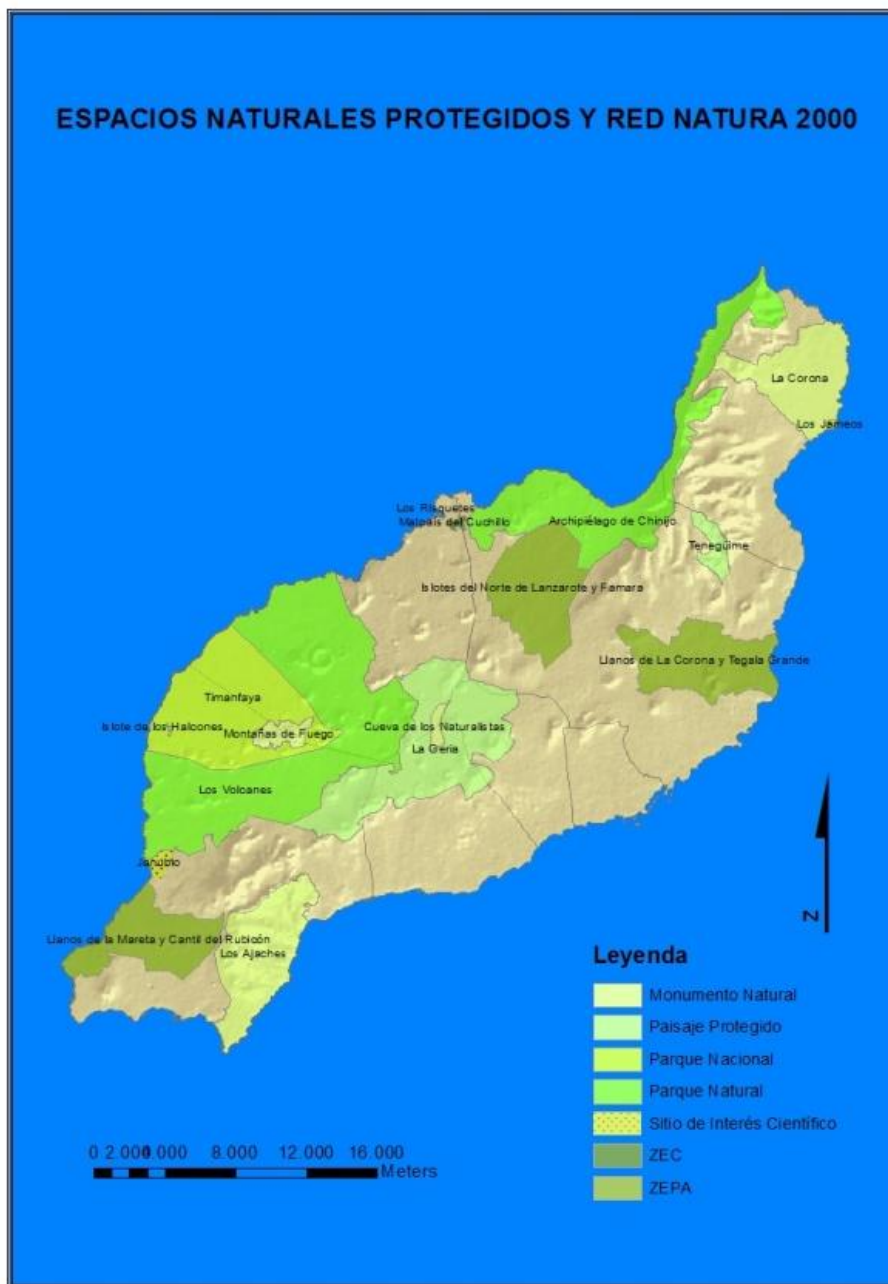
- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Arenas sobre coladas (Edificio Guanapey) Arenas eólicas con huecos fósiles Arenas eólicas pliozanas y plio-pliozanas Arenas eólicas y arenas sobre sustrato Brechas Brechas liticas basálticas Coladas basálticas y basálticas olivínicas Coladas basálticas Coladas basálticas de la alineación de Montaña Bermeja Coladas basálticas y basálticas olivínicas Coladas basálticas y basálticas olivínicas Coladas basálticas y basálticas olivínicas de diversas alineaciones volcánicas Coladas basálticas y basálticas olivínicas de diversas alineaciones y edificios volcánicos Coladas basálticas, basálticas olivínicas y olivíno-proxénicas Coladas mugearíticas - benmoreíticas Conglomerados y arenas Conos de tefra Conos de tefra de diversas alineaciones volcánicas Conos de tefra de la alineación de Montaña Bermeja Conos de tefra y centros de emisión (bojils, escorias y bombas) Conos de tefra y proclastos basálticos (bojils, escorias y bombas) de diversas alineaciones volcánicas Conos de tefra y proclastos basálticos y de dispersión | <ul style="list-style-type: none"> Conos de tefra y proclastos basálticos Conos de tefra, centros de emisión (bojil, escorias y bombas) de diversas alineaciones volcánicas Conos de tefra, conos de tefra basálticos y centros de emisión (bojils, escorias y bombas) de diversas alineaciones volcánicas Conos proclásticos mixtos (estromboliano-hieromagnéticos) Diábolos escurrimientos de lapillis sobre coladas basálticas en el Edificio Famara Depósito proclástico hieromagnético y conos de tobas Depósitos aluviales de barrancos y de fondos de valle (conglomerados, gravas, arenas y arcillas) Depósitos aluviales conglomerados y arenas Depósitos aluvio-cólicas, arena-arcillosos Depósitos entrópicos Depósitos cuaternarios indiferenciados Depósitos de caliches y zonas de incipiente entablamiento Depósitos de deslizamientos gravitacionales y de ladera (segunda generación de abanicos en Famara) Depósitos de deslizamientos gravitacionales y deslizamientos de ladera Depósitos de glacia y glacia - cono (sobre Edificios Ajaches y Famara): arenas, cantos y conglomerados Depósitos de ladera (tercera generación de abanicos en Famara) Depósitos de ladera y coluviones (arenas y gravas) Depósitos de laderas (Famara): Primera generación de abanicos Depósitos de terrazas Depósitos proclásticos mixtos (estromboliano hieromagnéticos) Depósitos proclásticos y arenosos alterados Bilíftos hieromagnéticos y proclastos freatomagnéticos Georós | <ul style="list-style-type: none"> Inyecciones mugearíticas - benmoreíticas Intrusivo basáltico de la Alineación Teneguife-Hilala-Atalayá de Haría Intrusivos basálticos y básicos en general Intrusivos traquíticos Nivel marino torrensiense (+25 m): arenas y conglomerados Proclastos basálticos y conos de tefra Proclastos basálticos y conos de tefra enterrados Proclastos basálticos, proclastos basálticos de dispersión y conos de tefra enterrados Proclastos de dispersión Proclastos de dispersión de diversas alineaciones volcánicas Proclastos de dispersión de diversas alineaciones y edificios volcánicos Proclastos de dispersión de los tres episodios Proclastos freatomagnéticos y conos y edificios hieromagnéticos Proclastos y lapillis de dispersión, de diversas alineaciones volcánicas Rayas de arenas y de cantos REDINTOS SIN CODIFICAR o masas de agua Rasa marina erozante (+0,5 m): arenas y conglomerados Rasa marina jandense: arenas y conglomerados Rasa marina pliocena (+30/40 m) Recluvimientos de arenas sobre coladas Sedimentos continentales Sedimentos continentales: arenas y conglomerados Tobas silíceas |
|--|--|---|

MAPA 8. Mapa Litológico. Fuente: Grafcan. Elaboración propia

5.2.2.3. *Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000*

Como datos para este factor, son la delimitación de los Espacios Naturales Protegidos (ENP) de Lanzarote, actualizados a Febrero de 2011. Como figuras de protección, se han añadido, en los lugares donde no coincidían con el área delimitada por los Espacios Naturales Protegidos, las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), y las Zonas de Especial Conservación (ZEC), figuras de protección a nivel europeo que forman parte de Red Natura 2000.

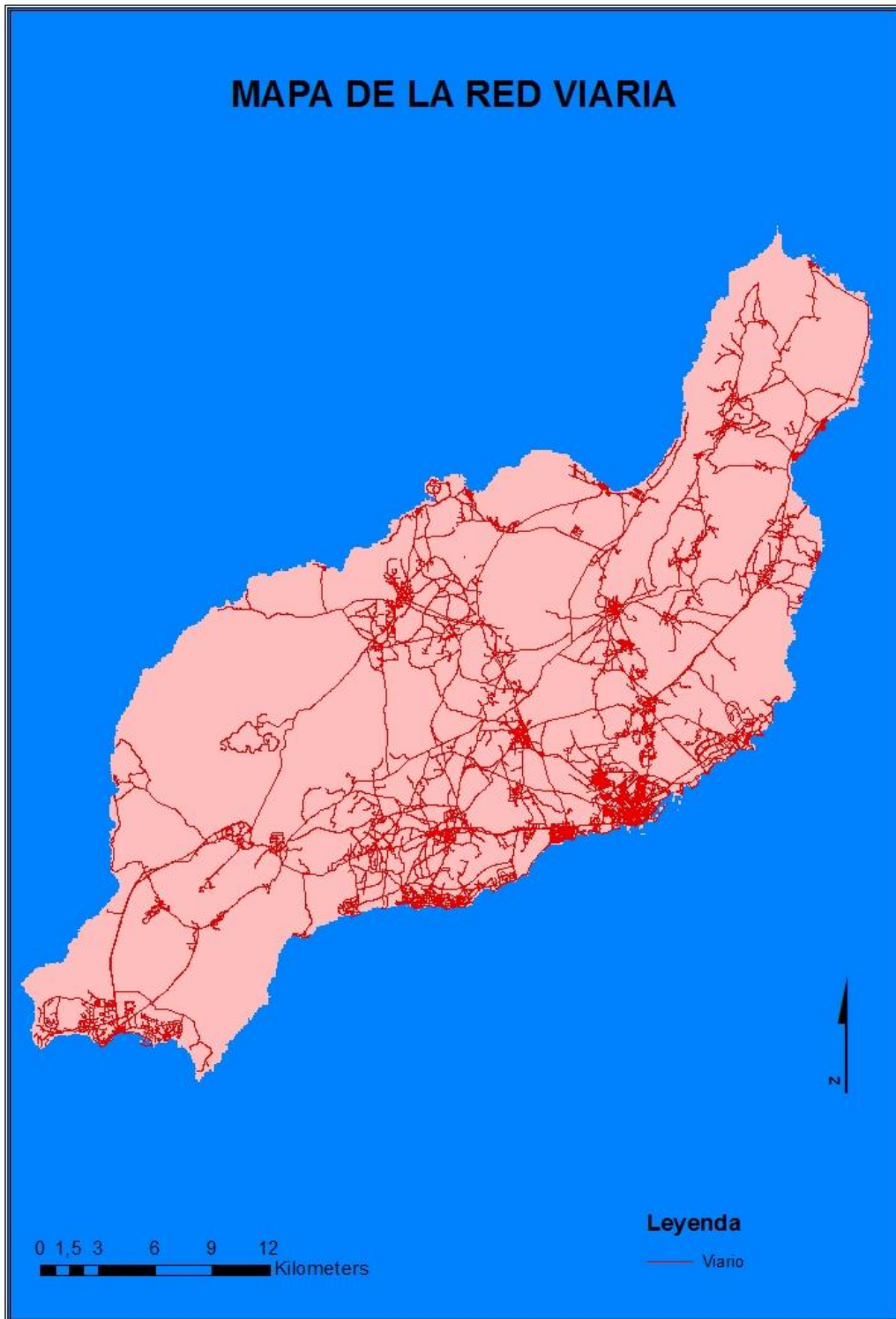
En este caso, también se ha trabajado la simbología para conseguir una leyenda explicativa del contenido del mapa.



MAPA 9. Mapa de los Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000. Fuente: Grafcan y MARM. Elaboración propia

5.2.2.5. *Vías de comunicación*

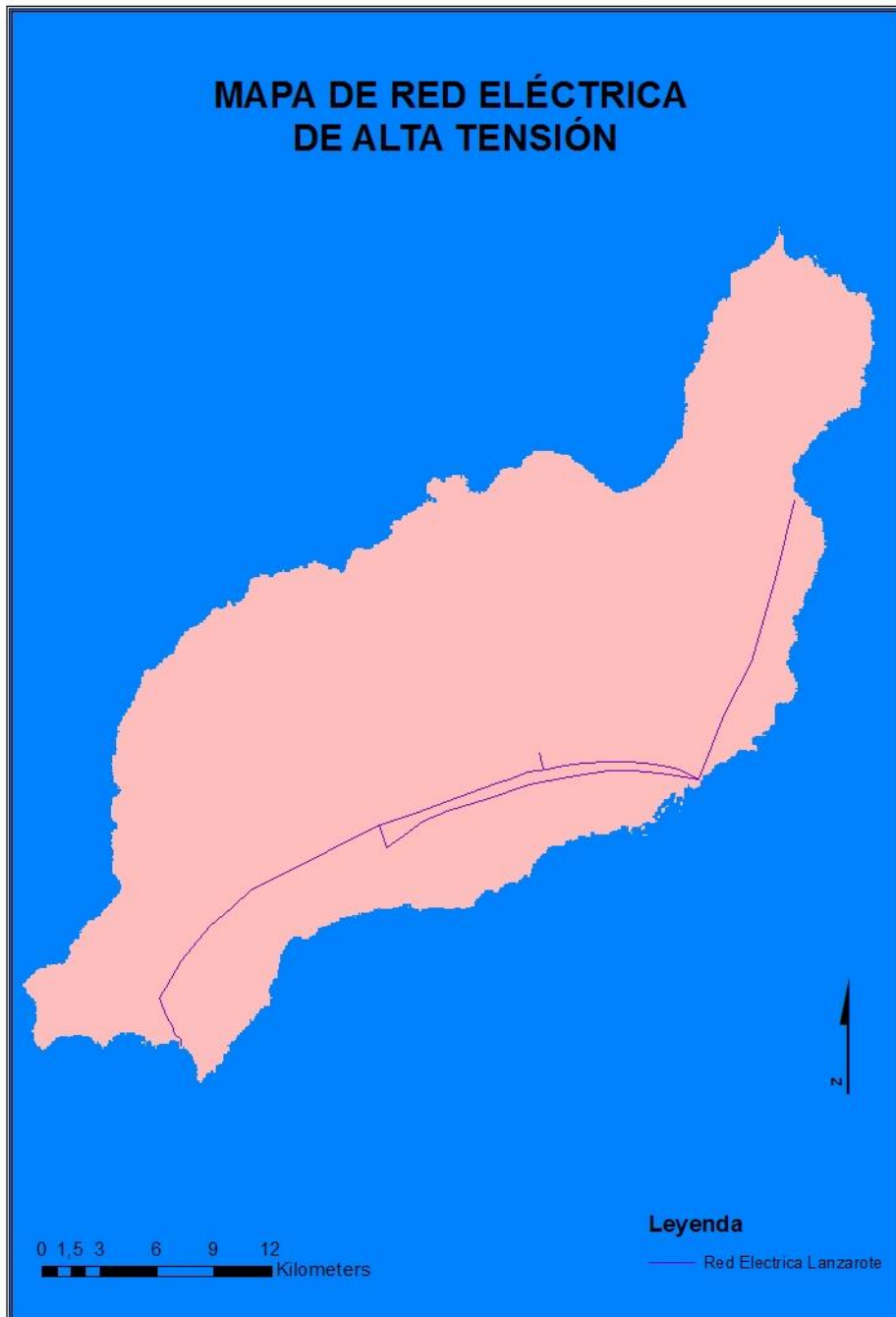
Datos sobre la red viaria de Lanzarote. Se actualiza mediante técnicas de fotointerpretación de ortofotos y recopilación de información en campo. Datos actualizados para el año 2010.



MAPA 11. Red Vial de Lanzarote. Fuente: Grafcan. Elaboración propia

5.2.2.6. Red Eléctrica

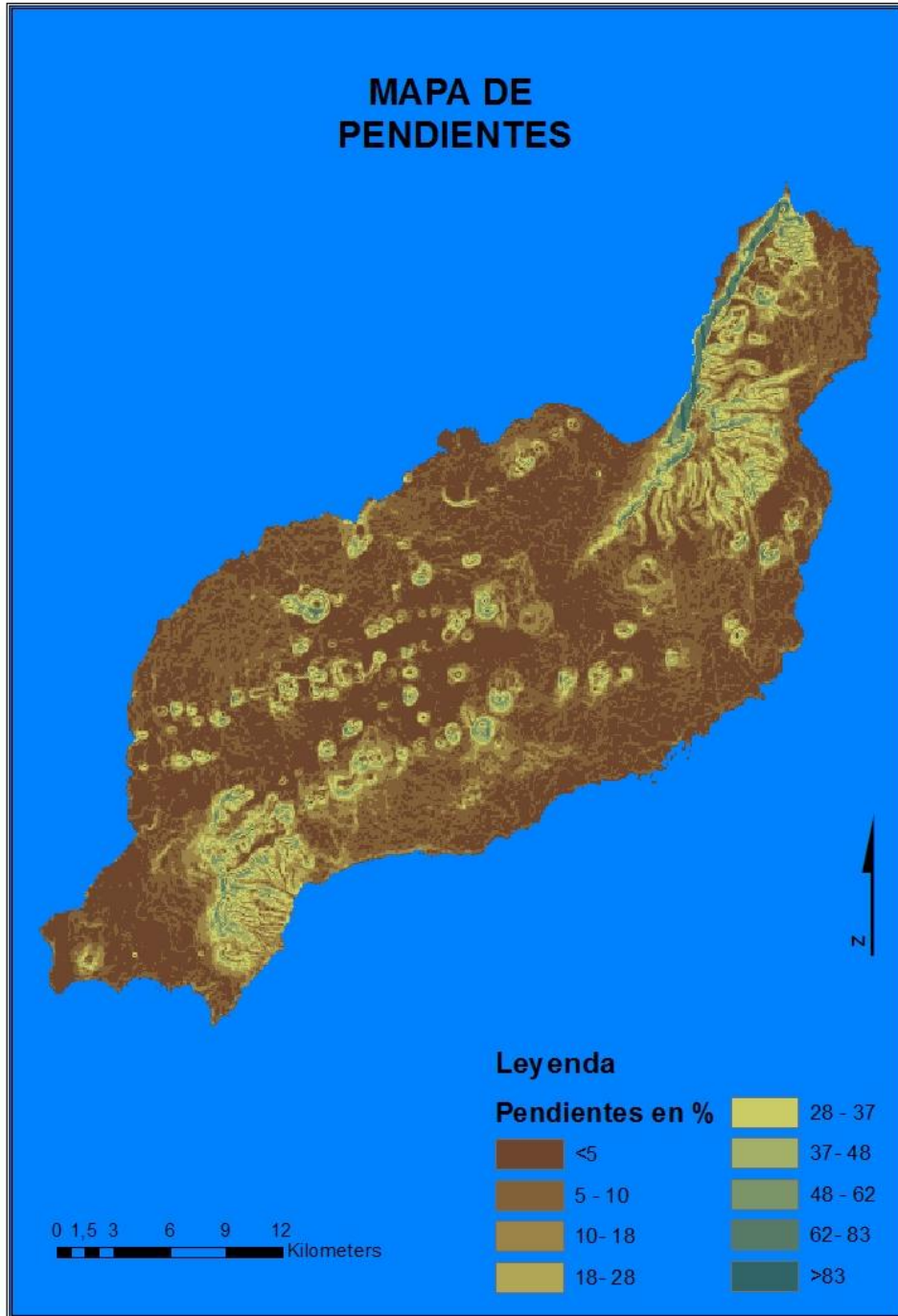
Para la obtención de estos datos, se ha georreferenciado la imagen que aparece como documento .pdf en la web de Red Eléctrica Española (REE). La escala del mapa de referencia es 1:300.000, y los datos representados se encuentran actualizados a Enero de 2011. Posteriormente, se han digitalizado los datos de interés. No se pretendía, con este hecho, conseguir un resultado óptimo, sino aproximado, de la ubicación de las líneas competencia de Red Eléctrica Española en la Isla.



MAPA 12. Red Eléctrica Española en la Isla. Fuente: REE. Elaboración propia

5.2.2.7. Pendientes

Los datos de este factor, han sido obtenidos mediante SIG, a partir del modelo digital del terreno (MDT) con un tamaño de píxel de 90 m.

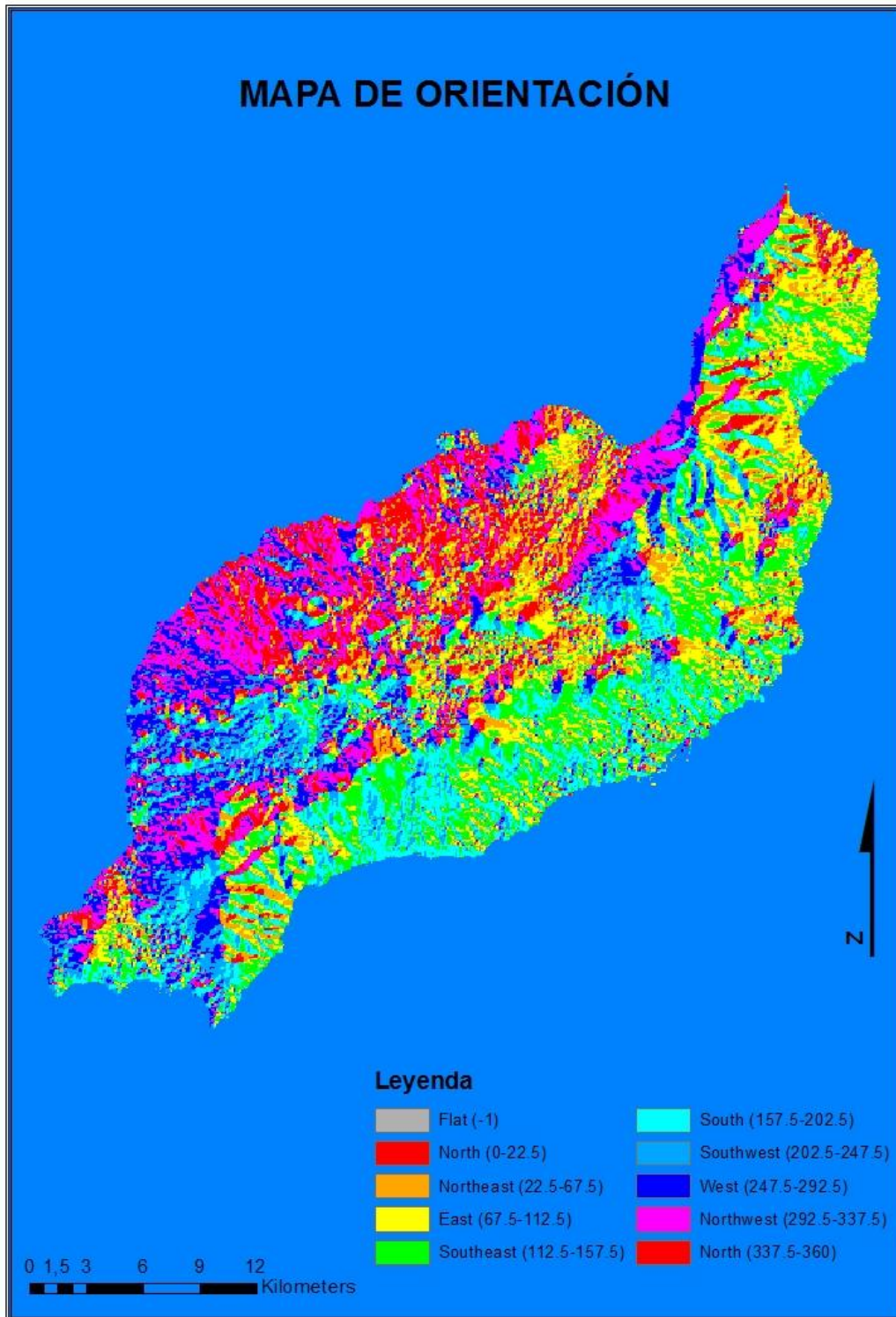


MAPA 13. Mapa de Pendientes. Fuente: USGS- SRTM³⁰. Elaboración propia

³⁰ Shuttle Radar Topography Mission

5.2.2.8. Orientación

Datos de orientación del terreno obtenidos a partir del modelo digital del terreno (MDT) mediante SIG.



MAPA 14. Mapa de Orientación medida en grados. Fuente: USGS-STRM. Elaboración propia

5.2.3. Datos de Irradiación Solar en Lanzarote y obtención de superficies de Irradiación Solar

A continuación, se van a detallar los datos que sobre el recurso solar se han obtenido para Lanzarote. Adelantar, que no se han encontrado bases de datos continuas del recurso para realizar análisis territorial a partir de las mismas. Asimismo, tampoco hemos encontrado medidas de tierra, que hubiera sido lo deseable (Pinedo, 2008). Es por ello que, se ha optado por interpolar datos de satélite de SoDa y PV-GIS mediante la técnica geoestadística denominada *kriging* simple, de la que, posteriormente, se detallará el proceso. Y a hacer uso de la herramienta *Area Solar* que el Sistema de Información Geográfica utilizado posee. Siguiendo este procedimiento, se han obtenido posibles datos reales y no sólo los obtenidos a partir de un modelo teórico.

Se han elegido dos fuentes de datos sobre recurso solar a partir de imágenes de satélite, debido a que los datos de SoDa seleccionados se corresponden únicamente con las estimaciones para un solo año, 2005 y los de PV-GIS, por el contrario, son estimaciones medias de datos medidos entre 1985 y 2004.

5.2.3.1. SoDa

Se va a elegir una muestra representativa de unos 20 valores, con información de radiación global horizontal, puntos que luego se interpolarán para obtener una base de datos territorial con información para todo el área objeto de estudio.



MAPA 15. Ubicación de puntos de muestreo con indicación en simbología graduada de la irradiación solar. Fuente: SoDa. Elaboración propia

El dato de irradiancia que se va a tener en cuenta para los cálculos, es la media mensual, medida en Wh/m²/día. Este dato se debe multiplicar por el número de días del mes y dividirlo entre mil para obtener kWh/m²/mes, y finalmente se sumará el dato de cada mes para obtener la suma anual kWh/m²/año. Se detallan los resultados en la siguiente tabla.

Punto	Coordenadas		Altura	Radiación kWh/m ² /año
1	28,89	-13,77	223	2073,80
2	28,89	-13,82	39	2090,80
3	28,87	-13,82	26	2079,75
4	28,97	-13,77	188	2012,00
5	28,94	-13,73	231	2045,25
6	29,01	-13,80	109	2088,28
7	29,06	-13,73	111	1973,60
8	29,01	-13,70	315	2003,17
9	28,95	-13,66	192	2068,10
10	28,97	-13,58	77	2057,19
11	29,00	-13,62	333	2134,26
12	29,10	-13,60	86	2022,94
13	29,10	-13,57	36	1995,57
14	29,06	-13,52	251	2042,72
15	29,08	-13,47	142	2027,98
16	29,10	-13,51	503	2113,06
17	29,15	-13,48	227	2049,81
18	29,21	-13,46	112	1970,70
19	29,03	-13,51	104	2085,15
20	29,00	-13,63	361	2137,57

Tabla 3. Puntos y sus valores de irradiación asociada. Fuente: SoDa. Elaboración propia

5.2.3.2. PV-GIS

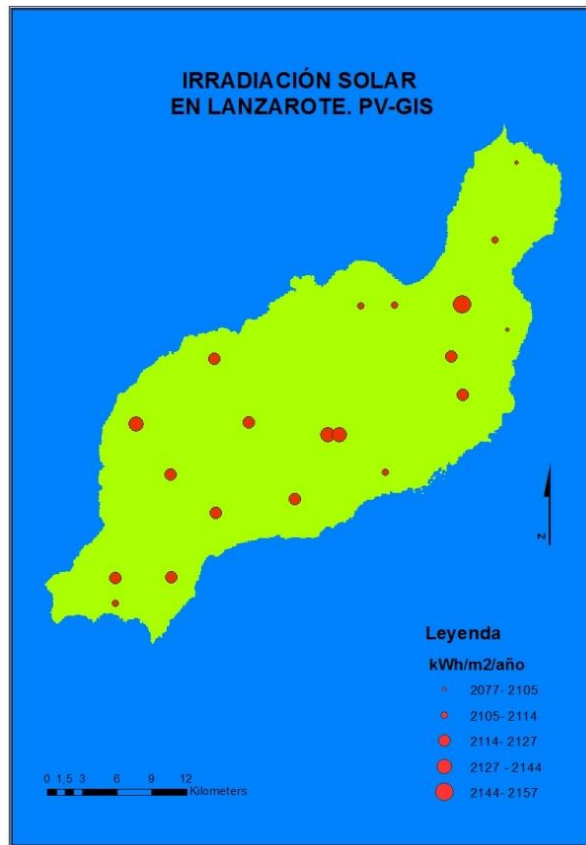
Para a obtener la suma anual de la irradiación global horizontal, kWh/m²/año, se han realizado los mismos cálculos que con los datos de SoDa. En la siguiente tabla se presentan los resultados.

Punto	Coordenadas		Coordenadas		Altura	Irradiación kWh/m ² /año
1	28,89	-13,77	28°53'28"N	13°46'35"	311	2123,66
2	28,89	-13,82	28°54'44"N	13°48'52"	107	2117,74
3	28,87	-13,82	28°52'15"N	13°49'15"	26	2110,46
4	28,97	-13,77	28°57'33"N	13°46'14"	157	2124,69
5	28,94	-13,73	28°56'12"N	13°43'49"	171	2124,11
6	29,01	-13,80	28°59'50"N	13°46'17"	312	2132,92
7	29,06	-13,73	29°3'29"N	13°43'45"	127	2118,88
8	29,01	-13,70	29°0'38"N	13°41'56"	333	2122,57
9	28,95	-13,66	28°56'50"N	13°39'36"	163	2121,43
10	28,97	-13,58	28°58'31"N	13°34'20"	60	2110,77
11	29,00	-13,62	29°05'N	13°37'8"	307	2132,05
12	29,10	-13,60	29°6'00"N	13°35'59"	90	2108,54
13	29,10	-13,57	29°5'58"N	13°34'13"	37	2110,96
14	29,06	-13,52	29°3'36"N	13°31'13"	248	2126,57
15	29,08	-13,47	29°4'50"N	13°28'10"	131	2103,74
16	29,1	-13,51	29°5'55"N	13°30'38"	486	2157,30
17	29,15	-13,48	29°9'3"N	13°28'45"	221	2113,50
18	29,21	-13,46	29°12'38"N	13°27'28"	82	2076,47
19	29,03	-13,51	29°2'3"N	13°31'9"	155	2118,66
20	29,00	-13,63	29°0'9"N	13°37'29"	357	2143,61

Tabla 4. Resultados de la suma de irradiación solar global horizontal. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Las coordenadas introducidas, en PV-GIS, se relacionan con otras expresadas en sistema sexagesimal. Así que, para cerciorarnos de que son equivalentes, se realiza la conversión para comprobar que, efectivamente, se trata de las mismas coordenadas expresadas en distinto sistema³¹.

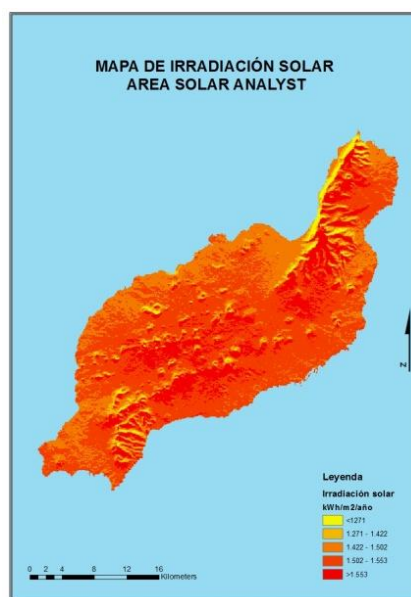
³¹ Se sabe que 1° equivale a 60', y que 1° equivale a 3600"



MAPA 16. Ubicación de los puntos de muestreo con simbología graduada expresando la irradiación recibida. Fuente: PVGIS. Elaboración propia

5.2.3.1. Area Solar Analyst

Como resultado de la aplicación de esta herramienta, descrita en el apartado de Fuentes de Datos del Recurso Solar, se han obtenido los siguientes datos, representados en el mapa que se muestra a continuación.



MAPA 17. Irradiación solar obtenida con los parámetros por defecto para el año 2005. Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2. Estudio geoestadístico de los datos de SODA y PV-GIS y obtención de superficies de interpolación a partir de los mismos

Para poder conocer la distribución y características de los datos a interpolar, es conveniente realizar un estudio previo de los mismos para obtener unos mejores resultados mediante la interpolación³² (Moreno, 2007) & (Johnston, 2001).

5.2.3.2.1. Análisis exploratorio

Como análisis exploratorio de los datos espaciales, se va a utilizar el histograma, el gráfico de probabilidad normal, el análisis de la tendencia y el gráfico del semivariograma.

5.2.3.2.1.1. Análisis de la normalidad

El **histograma** muestra la distribución de frecuencias absolutas en barras que representan los datos observados en intervalos y un cuadro resumen de estadísticos que describen la centralidad de los datos, la dispersión y la forma.

Los datos tendrán una distribución más cercana a la normal cuanto más se parezcan los valores de la media y la mediana y cuanto más cercano a cero sea el coeficiente de asimetría (*skewness*). Por el contrario, estaríamos ante una asimetría positiva en el caso de que la media sea superior a la mediana y viceversa. En cuanto a la curtosis, cuanto más cercana a tres esté más normal será la distribución de los datos. Este parámetro mide el grado de apuntamiento en una distribución. Por encima de 3, el apuntamiento será mayor y por debajo de este valor, querrá decir que la distribución de los datos es más planar.

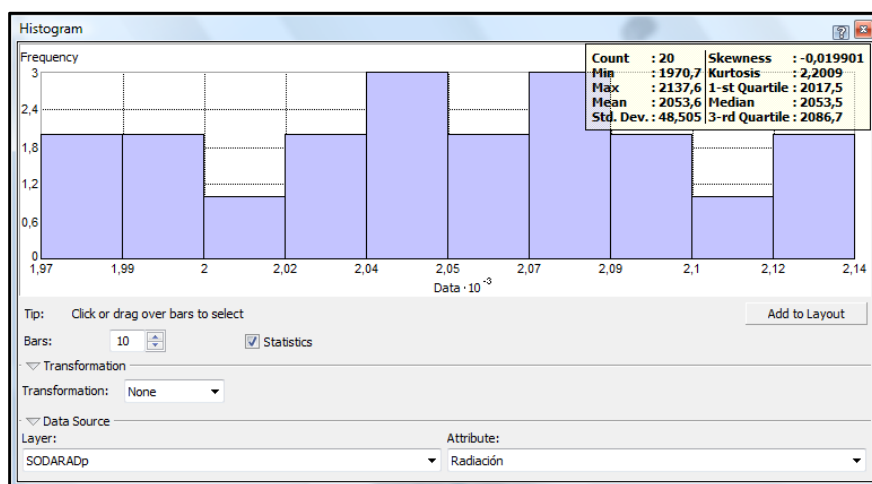


Gráfico 1. Histograma de los datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia

³² A parte de las fuentes citadas, no hemos valido también de la ayuda en línea del *software*. <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>

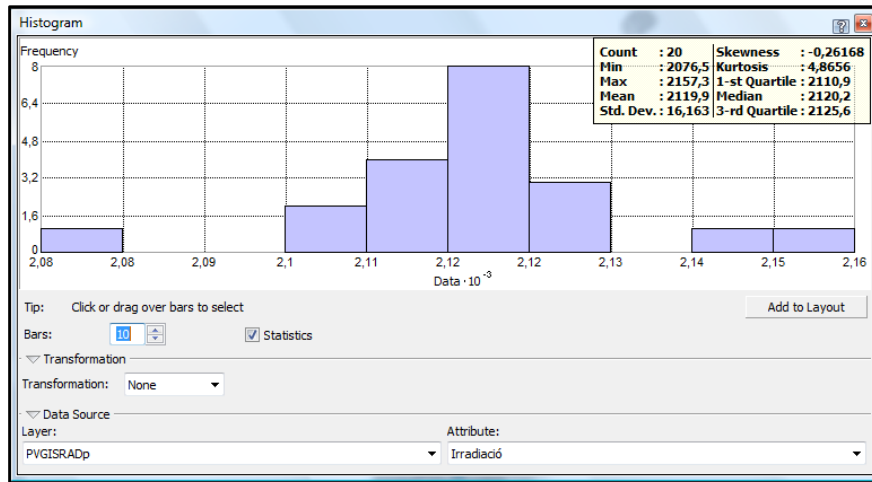


Gráfico 2 Histograma de los datos de PV-GIS. Fuente PV-GIS. Elaboración propia

Atendiendo a los datos que comentamos con anterioridad, para el caso de los datos de SoDa, decir que la media y la mediana son prácticamente idénticas, lo que apuntaría una distribución normal, pero por el contrario, el coeficiente de asimetría y la curtosis se alejan de los valores de cero y tres respectivamente. La distribución de los datos de PV-GIS, se aleja más de la normal que en el caso anterior. El coeficiente de asimetría y la curtosis se alejan de los valores de cero y tres, respectivamente, aunque en este caso, la curtosis está por encima de su valor ideal, lo que indica el apuntamiento de los datos que podemos ver de manera gráfica en el histograma.

EL **gráfico de probabilidad normal** refleja en un gráfico de cuantiles los valores observados representados mediante puntos, frente a los esperados, expresados en forma de recta. Cuanto más ajuste hay, querrá decir que más se acercan a una distribución normal.

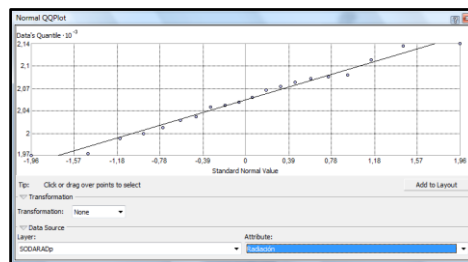


Gráfico 3. Probabilidad normal de los datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia

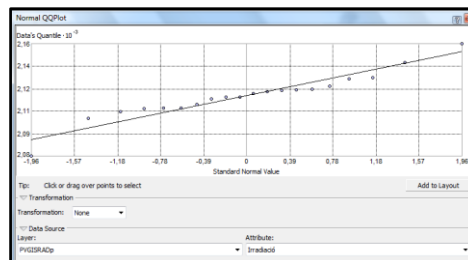


Gráfico 4. Probabilidad normal de los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Los datos observados no se ajustan a los esperados, con lo que se reafirma la idea de que los datos no tienen una distribución normal, aunque sí, como ya apuntamos antes, los datos de SoDa, se acercan más.

Si con el histograma y el gráfico anterior, comprobamos que la distribución de los datos se alejan de la normal, habría que aplicar una serie de ajustes para poder aplicar la técnica de interpolación *kriging*, en el caso de que quisiéramos obtener un mapa de probabilidad y de cuantiles, que no va a ser nuestro caso.

5.2.3.2.1.2. Análisis de la tendencia

El análisis de la tendencia se muestra en un gráfico en tres dimensiones en el que se observan las tendencias globales de los datos. Éstos se proyectan en la dirección Norte-Sur en el plano y-z, y en la Este-Oeste, en un plano x-z. Se ajustan en cada plano los polinomios con funciones de primer, segundo (que es la que el programa realiza por defecto) y tercer orden. Si observamos que existe tendencia habrá que modelarla.

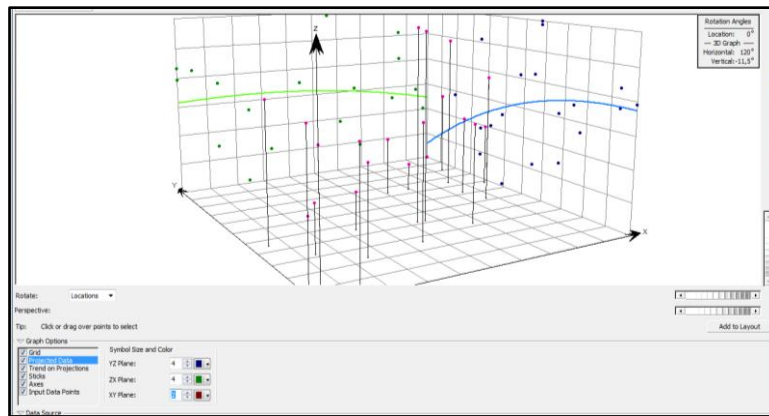


Gráfico 5. Tendencia en los datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia

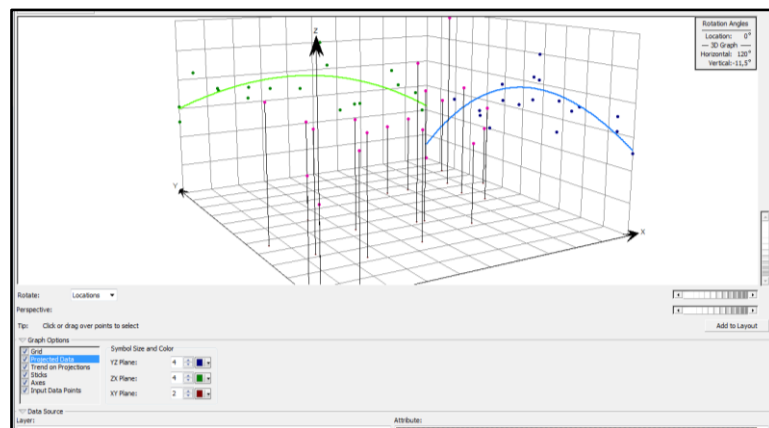


Gráfico 6. Tendencia en los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

El polinomio que mejor se ajusta en ambos casos es de segundo grado. Para los datos de SoDa, vemos como sí que se observa tendencia en el plano yz, lo que se corresponde con Norte-Sur. Para el caso de los datos de PV-GIS, esta tendencia en el plano yz, se muestra más acusada, y aparece también una tendencia global de los datos en el plano Este-Oeste.

5.2.3.2.1.3. Semivariograma empírico

Se trata del cálculo de la autocorrelación espacial y direccional de los datos, en este caso semivarianza. Es el paso previo a la aplicación de cualquier técnica de interpolación, y por extensión al *kriging*.

Con el semivariograma se asume el principio de estacionariedad, que dice que si dos lugares están a una distancia o dirección similar tendrán similares diferencias al cuadrado (segundo orden) entre sus valores. Se representa en “x” la distancia que separa cada pareja de puntos, y en “y” la mitad de las diferencias de sus valores al cuadrado. Las distancias en el eje de las x se agruparán en intervalos (*lags*), de cuyo número y amplitud dependerá que la nube de puntos adopte una forma u otra. Debemos de optar por una amplitud adecuada para no perder autocorrelaciones de pequeño alcance ni para crear intervalos vacíos o con pocos pares de datos.

Junto al semivariograma empírico, aparece un raster con la representación gráfica del mismo. Los valores expresan la semivarianza y nos ayudan a visualizar si existe o no anisotropía³³ y en qué dirección se produce.

Cuanto mayor sea la distancia entre los puntos, y mayor sea su diferencia en valor, querrá decir que existe dependencia espacial. Si la autocorrelación sólo dependiera de la distancia sería una muestra isotrópica.

Cada punto rojo, representa la semivarianza de los puntos que hay en cada *lag*. Si se tratase de una autocorrelación negativa, a medida que aumentase la distancia entre los puntos, la semivarianza sería menor que la de puntos que estén más cerca.

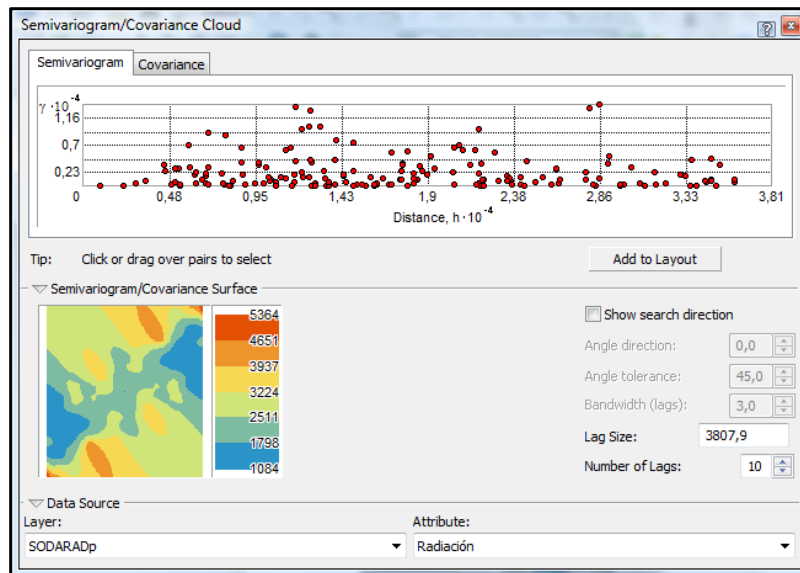


Gráfico 7. Semivariograma empírico de los datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia

³³ Influencias direccionales en los valores

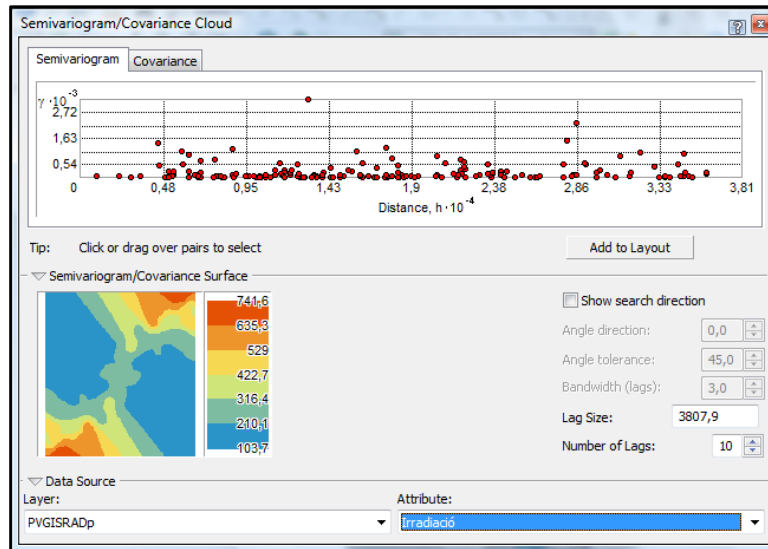


Gráfico 8. Semivariograma empírico de los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

A la vista de los gráficos, se puede decir que existe una mayor correlación espacial positiva en el caso de los datos obtenidos con SoDa.

El raster con las valores de las varianzas, tiene la opción de mostrar la dirección de los pares de datos. Se muestra a continuación en primer lugar los datos de SoDa. De este modo queda patente la anisotropía que presentan los datos obtenidos de SoDa.

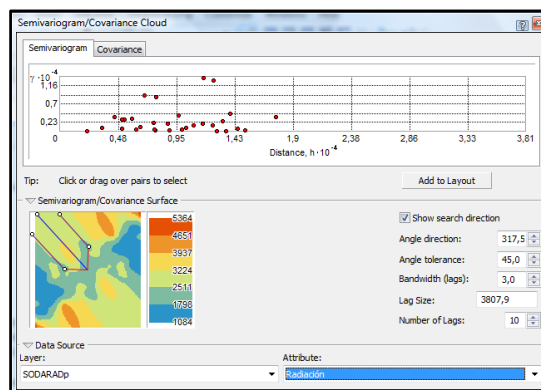


Gráfico 9. Pares de datos dirección NO-SE. Fuente: SoDa. Elaboración propia

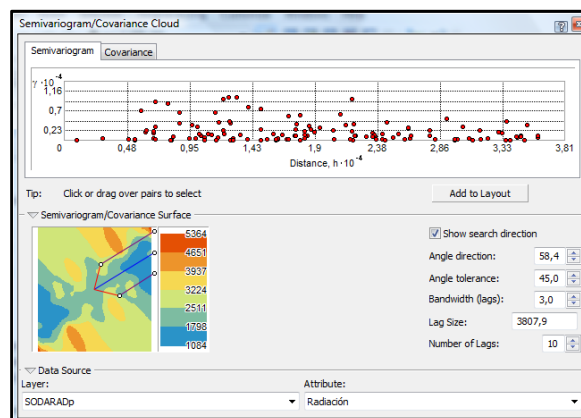


Gráfico 10. Pares de datos dirección NE-SO. Fuente: SoDa. Elaboración propia

En cuanto a los datos de PV-GIS, los gráficos son los siguientes:

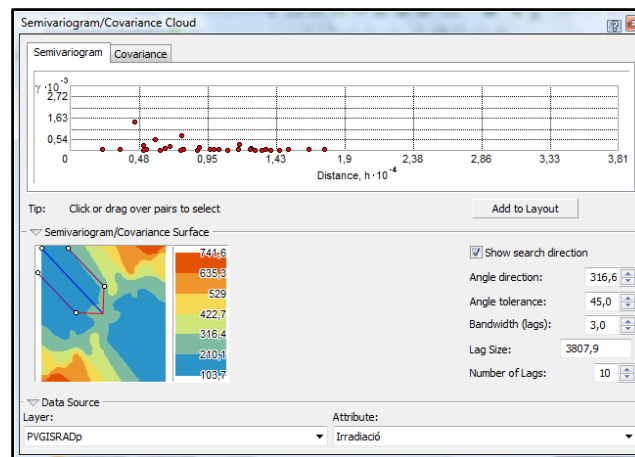


Gráfico 11. Pares de datos dirección NO-SE. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

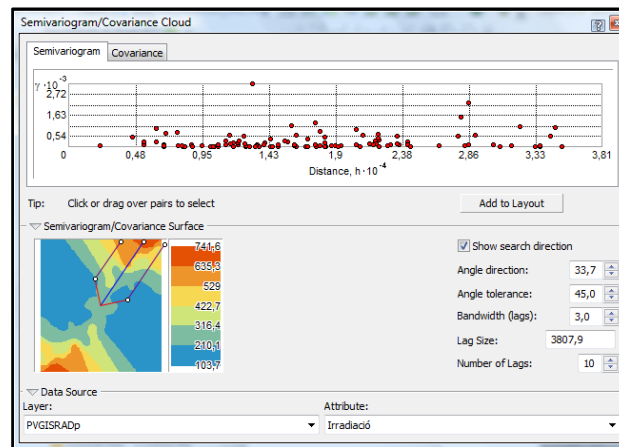


Gráfico 12. Pares de datos dirección NE-SO. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Donde queda patente que la influencia direccional tiene la misma componente.

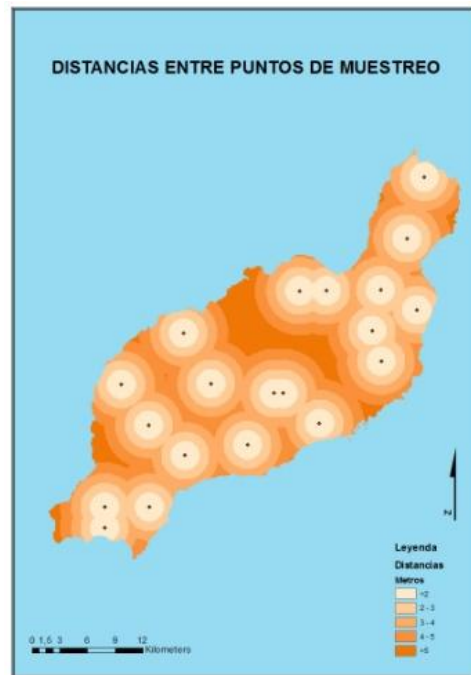
5.2.3.2.2. La interpolación. El método kriging

5.2.3.2.2.1. Introducción

El *Kriging* es una técnica geoestadística de interpolación que estudia la autocorrelación de la variable a interpolar, con lo que a la hora de mostrar la superficie resultado se tiene en cuenta el grado y el tipo de autocorrelación o dependencia espacial existente en la variable. Para elaborar el ajuste, se basa en modelos matemáticos y estadísticos que incluyen probabilidad para la predicción de los nuevos valores, calculándose también su error. Es decir, a partir del semivariograma empírico, se ajusta uno teórico que busca la función matemática que mejor sintetiza los datos observados.

Para que esta técnica sea válida, la distancia entre los puntos donde se toman los datos debe encontrarse entre los 20 y los 50 km, Ramírez, L. (2004), tomado de Pinedo, I. (2008). Si nos fijamos en el eje x del semivariograma empírico, comprobaremos que cumplimos esta premisa, ya que en él se expresa la distancia entre pares de datos. No obstante, se hará uso del Sistema

de Información Geográfica utilizado como herramienta, en el presente estudio, para calcular la distancia hasta el punto al más cercano en cada caso.



MAPA 18. Mapa que muestra que las distancias entre puntos no superan los pocos kilómetros. Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2.2. Aspectos generales

Todos los modelos comparten la meseta o *sill*, que es aquel valor que coincide con el de la varianza normal de esa variable. A veces está compuesto del *nugget*, que representa la varianza mínima y el punto de la recta que corta el eje “y” debiéndose su existencia a errores de medida. Finalmente el alcance o *range*, es la distancia a partir de la cual el semivariograma se estabiliza, indica la distancia hasta la cual cada punto influye en su entorno. El alcance representa por tanto, el límite hasta el cual existe autocorrelación espacial. Con lo que desde el valor 0 hasta el final de la meseta se diferenciaría la parte en la que se muestra la continuidad espacial de la variable, siendo mayor cuando menor sea la pendiente.

Entre las funciones más comunes para el ajuste, se encuentra la esférica, la cual tiene una meseta cuya pendiente aumenta de forma gradual hasta llegar al alcance donde la autocorrelación es 0. Y la exponencial que sería la indicada para expresar cambios fuertes en distancias cortas, llegando al *range* solo a una distancia infinita.

5.2.3.2.2.3. La búsqueda de vecindad

Es el parámetro que define el número y la configuración de los puntos que van a ser tenidos en cuenta en la predicción.

Si en los datos de entrada existe isotropía, la forma de búsqueda será un círculo, de lo contrario, será una elipse. También permite definir la extensión de los ejes y el ángulo de dirección del eje mayor, así como el número de sectores en los que va a ser dividido el círculo o elipse.

5.2.3.2.2.4. La validación

Es necesaria la aplicación de herramientas para el conocimiento de la validez del modelo que estamos utilizando. Existen la validación cruzada y la validación.

Únicamente, se utilizará el primer tipo de validación. Hace uso de todos los datos muestrales para estimar el modelo de autocorrelación. Compara los valores observados con los calculados, es decir, estima cada punto muestral a partir de los demás, y luego compara lo obtenido con la muestra.

Para que las predicciones sean insesgadas, la media de los errores debería estar cercana a cero, y habría que estandarizarla para que no se viera influida por la escala.

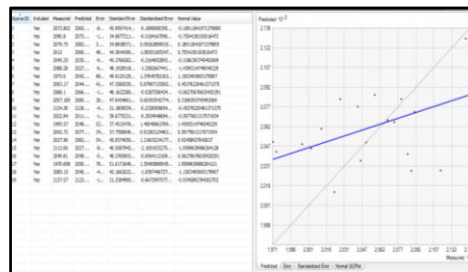
5.2.3.2.2.5. El kriging simple

La técnica *kriging* simple asume que la media de los datos es conocida. Es la que va a ser utilizada con nuestros datos de radiación solar, ya que para este tipo de datos es la que mejor bondad de ajuste se obtiene. (Pinedo, 2008).

- *Kriging simple por defecto*

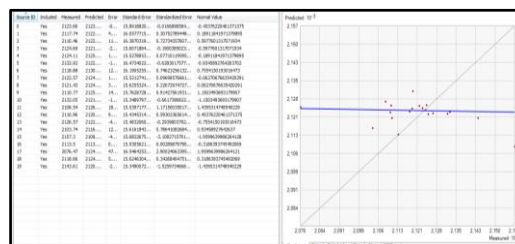
En primer lugar se va a generar una superficie de interpolación con los datos de SoDa y PV-GIS con las opciones que por defecto propone el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se presenta a continuación, el gráfico de validación cruzada para las dos fuentes de datos.



Regression function	0,297814436083152 * x + 1449,61354092154
Prediction Errors	
Samples	20 of 20
Mean	7,615975
Root-Mean-Square	42,78743
Mean Standardized	0,1275471
Root-Mean-Square Standardized	0,9736908
Average Standard Error	42,34805

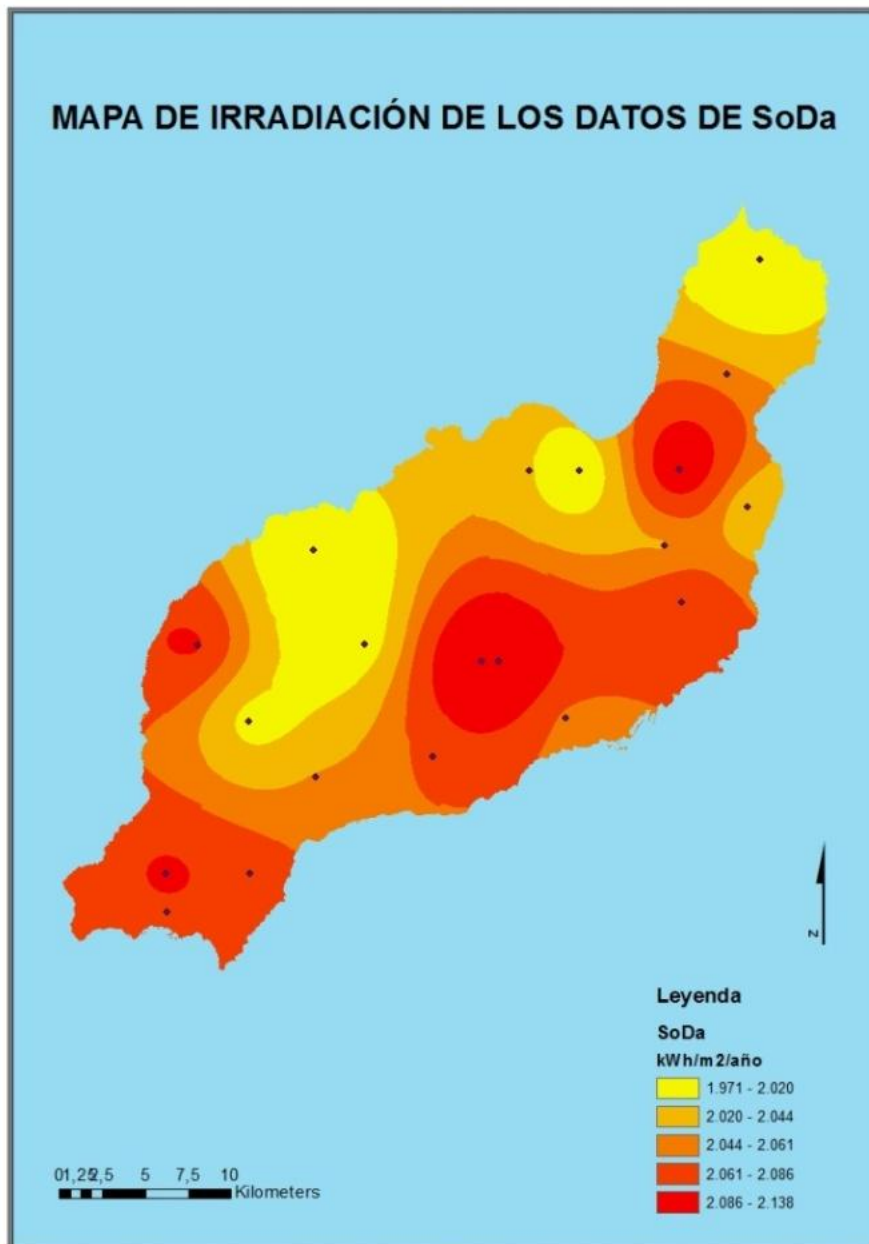
Gráfico 13. Validación cruzada y estadísticos asociados del Kriging simple SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia



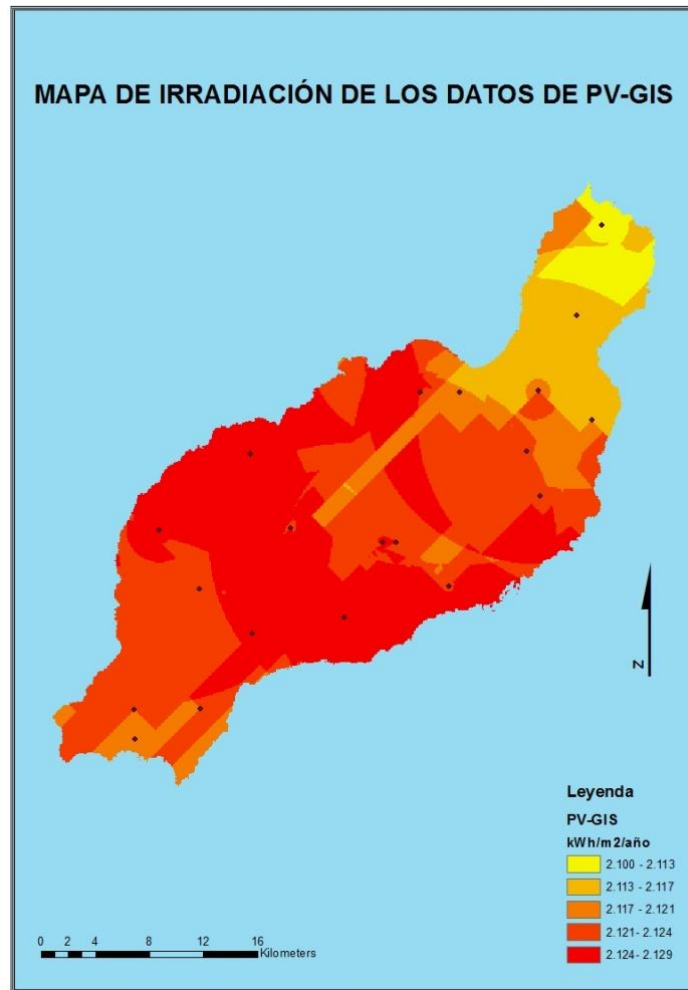
Regression function	-0,0182601389329391 * x + 2161,93969928366
Prediction Errors	
Samples	20 of 20
Mean	2,108327
Root-Mean-Square	18,16381
Mean Standardized	0,123398
Root-Mean-Square Standardized	1,137979
Average Standard Error	15,78416

Gráfico 14. Validación cruzada y estadísticos del Kriging simple PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Se desprende que el ajuste de las dos fuentes de datos se asemeja en cuanto al valor de la media estandarizada se refiere (mejor ajuste cuanto más cercano a cero), aunque fijándonos en el error cuadrático medio estandarizado, se puede decir que el ajuste de los datos de SoDa es mejor (mejor ajuste cuanto más cercano a uno).



MAPA 19. La superficie de predicción para SoDa. Fuente SoDa. Elaboración propia



MAPA 20. La superficie de predicción para PV-GIS. Fuente PV-GIS. Elaboración propia

- *Kriging simple aplicado*

En el análisis exploratorio de los datos se ha comprobado que existe tendencia, y anisotropía, con lo que habrá que tener en cuenta estos aspectos y modelarlos para conseguir un mejor ajuste del modelo.

- Datos SoDa

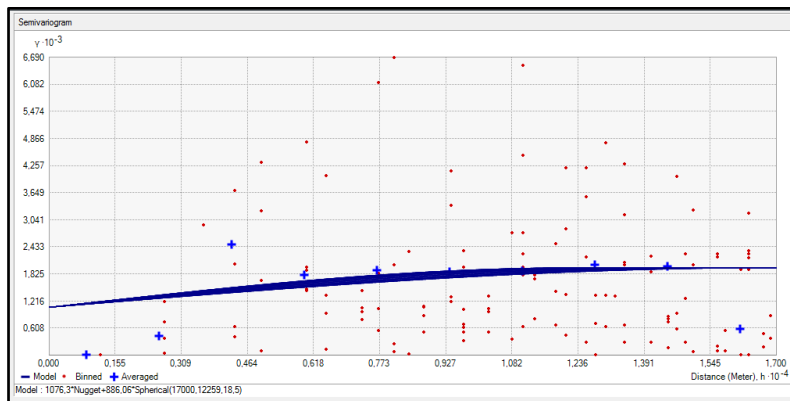


Gráfico 15. Semivariograma teórico teniendo en cuenta la anisotropía. Fuente: SoDa. Elaboración propia

La validación del modelo da como resultado una media estandarizada de 0,009 y un error cuadrático medio estandarizado de 1,24.

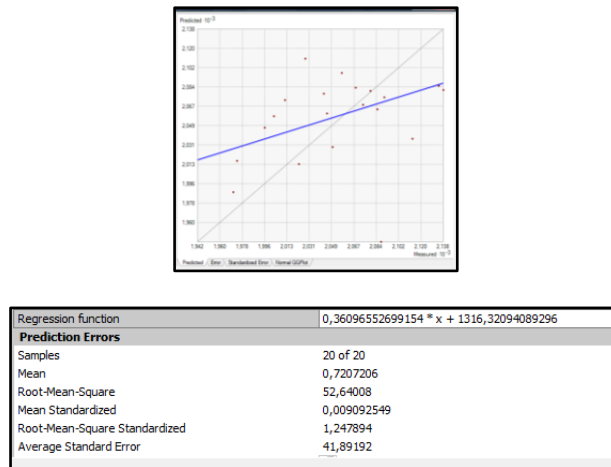
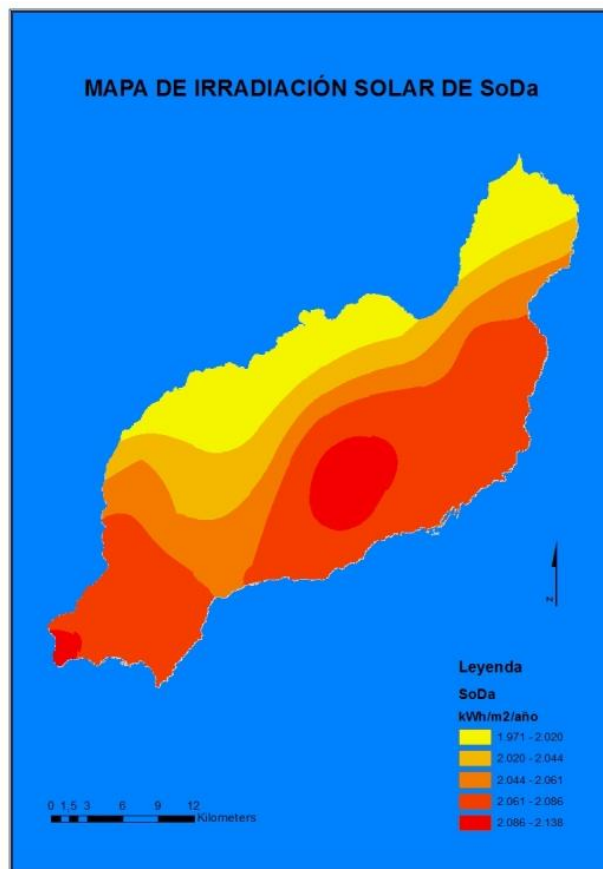


Gráfico 16. Ajuste del modelo y estadísticos asociados. Fuente: SoDa. Elaboración propia

La línea azul muestra el modelo que predice los datos observados, que son los puntos rojos. La media estandarizada, indica una mayor bondad de ajuste cuanto más cercana a 0 se encuentre, y el error cuadrático medio estandarizado, mejor cuanto más cercano a 1.



MAPA 21. Superficie interpolada resultado con datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia

Al comparar el modelo de la misma fuente de datos, pero con la versión arrojada por defecto, se obtienen los siguientes resultados.

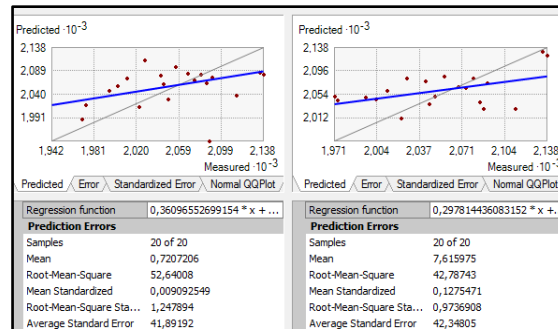


Gráfico 17. Comparación de modelo *kriging* simple por defecto, y modificado. Fuente: SoDa. Elaboración propia

La media estandarizada y el error medio estandarizado son mejores en el *kriging* obtenido con la modificación de los datos que en la versión por defecto. No obstante, el error cuadrático medio estandarizado es más cercano a uno, en el *kriging* obtenido con los datos por defecto.

A la vista de los resultados, utilizaremos el modelo obtenido con el *kriging* simple modificado para realizar el posterior análisis de emplazamientos de instalaciones de energía solar fotovoltaica.

- Datos PV-GIS

También para esta fuente de datos, se va a seguir el mismo procedimiento anterior.

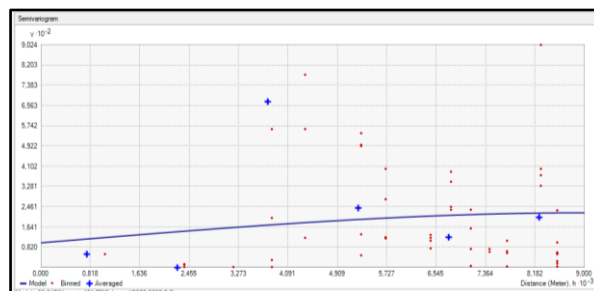
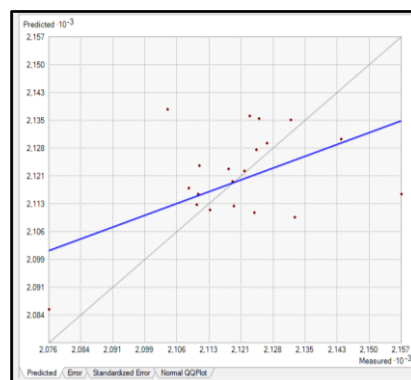


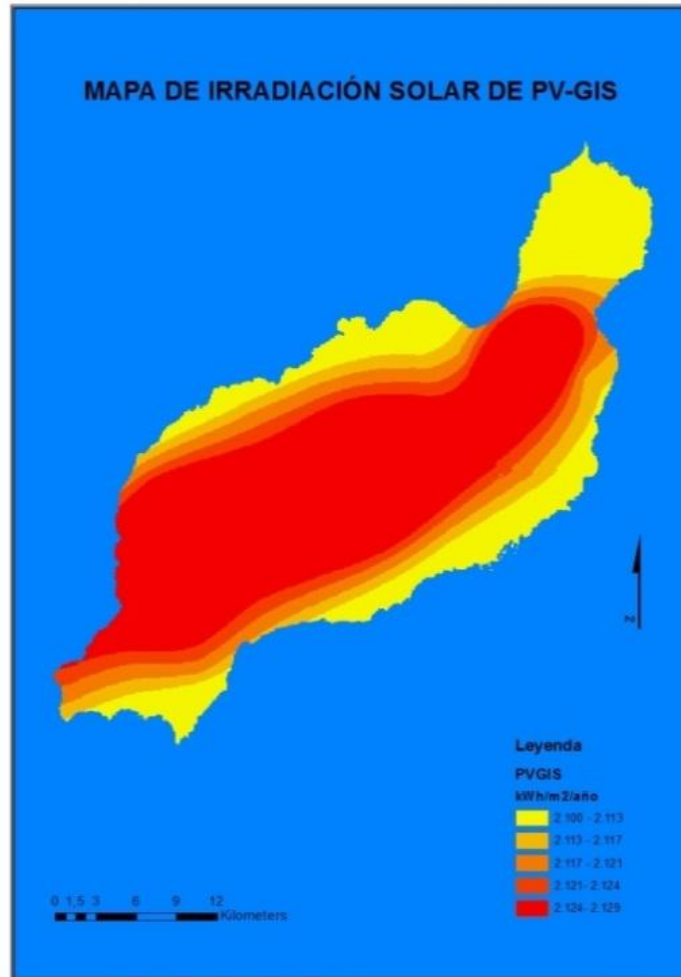
Gráfico 18. Aspecto del semivariograma teórico. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Los estadísticos resultado de la validación del ajuste se muestran a continuación, donde la media estandarizada alcanza un valor de 0,04 y el error cuadrático medio estandarizado de 1,04.



Regression function	$0,424445823018001 * x + 1219,46256304713$
Prediction Errors	
Samples	20 of 20
Mean	0,6149685
Root-Mean-Square	15,06463
Mean Standardized	0,04001915
Root-Mean-Square Standardized	1,041863
Average Standard Error	14,39272

Gráfico 19. Resultado de los estadísticos de la validación cruzada. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia



MAPA 22. Superficie interpolada a partir de los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

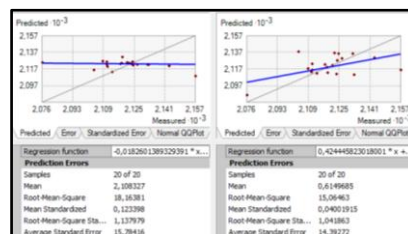
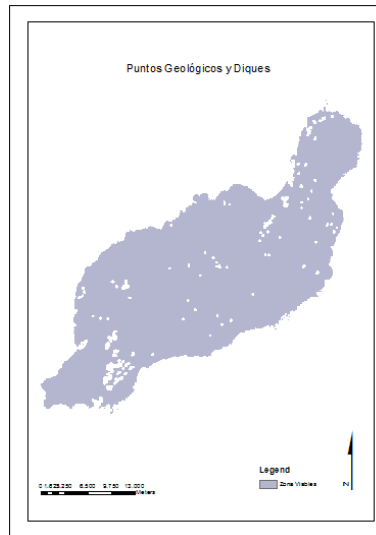


Gráfico 20. Gráficos de comparación de los dos modelos obtenidos para los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia

Como era deseable, los estadísticos en los que nos venimos fijando hasta ahora, la media estandarizada, el error cuadrático medio estandarizado y en casos de comparación, el error medio estandarizado, mejoran tras la aplicación de las modificaciones aplicadas al modelo por defecto.



MAPA 24. Zona viable tomando como restricción puntos geológicos y diques y un *buffer* de 200 m. Fuente: Grafcan. Elaboración propia

En cuanto a la información litológica se ha establecido un **buffer de 200 m** alrededor de los materiales y formaciones que se estiman **oportunos proteger**³⁴ y que quedan fuera de los ENP o la Red Natura 2000. Del mismo modo, se han seleccionado los terrenos **arcillosos**, como materiales no aptos para la actividad objeto de estudio.



MAPA 25. Mapa de viabilidad litológica. Fuente: Grafcan. Elaboración propia

5.3.3. Usos del suelo

Se han tenido en cuenta como áreas no viables las siguientes: **balsas (100 m)**, **costas (200 m)**, **espacios verdes (100 m)**, **estanques (100 m)**, **playas, dunas y arenales (200 m)**, **presa (200 m)**, **residencial continuo, diseminado y en vial (500 m)** y **salinas (200 m)**. Entre paréntesis se detalla la distancia adicional de protección del elemento, se dedicarán 100 m a aquellos que tengan un origen antrópico, 200 m (Quijano, 2011) a aquellos cuyo origen sea natural y aquellos que, pese a ser antrópicos, merezcan una condición especial de protección. Para los núcleos de población 500 m (Rodríguez, 2010).

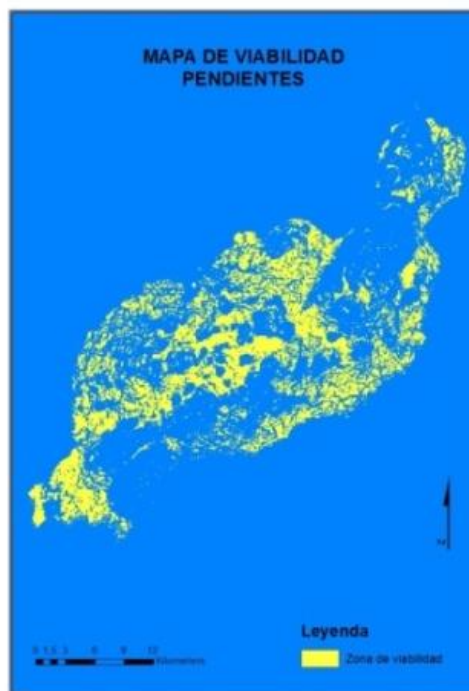
³⁴ Playas, coladas de las erupciones históricas y edificios freatomagmáticos



MAPA 26. Mapa de Viabilidad para Usos del Suelo. Fuente: Grafcan. Elaboración propia.

5.3.4. Pendientes

Se ha utilizado como restricción que las pendientes sean superiores al 4% (Domínguez, 2002), atendiendo no tanto a aspectos técnicos, ya que según la consulta a los expertos, los módulos se adaptan bien a cualquier tipo de pendiente, sino más bien a criterios de protección del paisaje.



MAPA 27. Mapa de viabilidad de pendientes. Fuente: USGS. Elaboración propia

5.3.5. Orientación

Para realizar este mapa se ha tenido como requisito que las zonas viables tuviesen orientación Sur. Por todos es sabido que las zonas del terreno orientadas al Sur son las que más horas de Sol reciben durante el día, de este modo la instalación tendrá una producción más eficiente.



MAPA 28. Mapa de viabilidad de orientación. Fuente: USGS. Elaboración propia

5.3.6. Radiación Solar

Como se ha comentado con anterioridad, para que una instalación de ESF sea eficiente, el recurso solar debe estar por encima de $1825 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ (Rodríguez, 2010). Es por este hecho, que el mapa obtenido a través de **modelos teóricos no** va a ser tenido en cuenta debido a que el valor máximo de irradiación solar es de $1694 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$. Ocurre lo contrario con las superficies obtenidas por interpolación de *kriging* simple, puesto que sus valores mínimos superan el valor requerido. Por tanto, **no se considerará como factor** al que se le podrá aplicar una restricción, sino que se utilizará al final del proceso de evaluación de zonas viables con carácter informativo de la irradiación existente en las áreas seleccionadas como aptas.

5.3.7. Red Viaria

Para este factor se van a tener en cuenta dos restricciones al mismo tiempo, una de protección de la propia infraestructura y otro de cercanía a la misma. Es decir, para que una Instalación de Energía Solar Fotovoltaica conectada a red pueda llevarse a cabo, si queremos tener en cuenta criterios de eficiencia y usamos las infraestructuras preexistentes, tenemos que tener en cuenta una distancia a partir de la cual ya no sería factible la futura instalación. Dicho esto, se va a establecer como restricción la distancia inferior a los 150 m (Rodríguez, 2010) y superior a los 5 Km.



MAPA 29. Mapa de viabilidad de la red vial. Fuente: Grafcan. Elaboración propia

5.3.8. Red Eléctrica de Alta Tensión

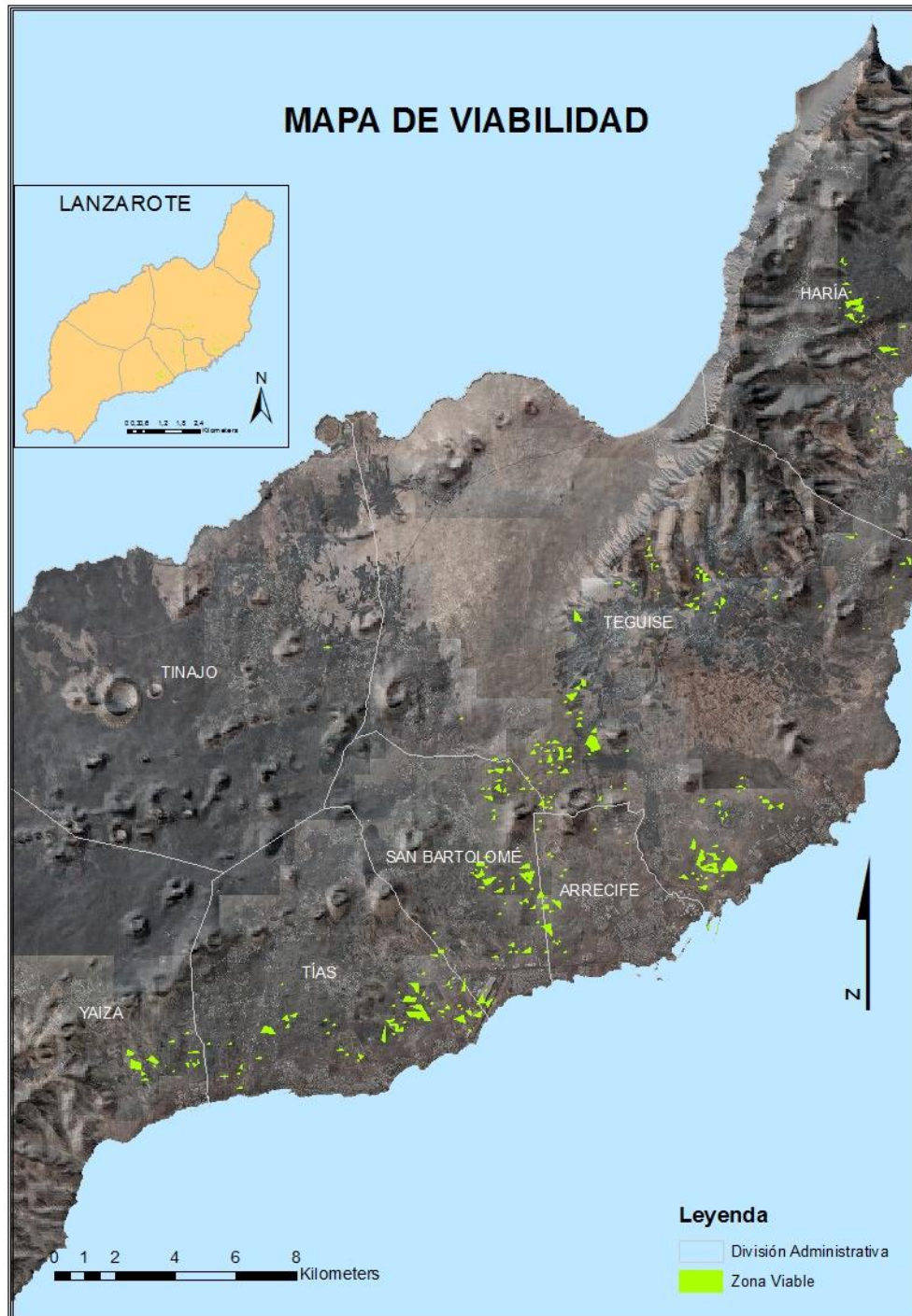
Siguiendo la misma pauta que en el caso anterior, se establece como radio de protección de la infraestructura 50 m (Rodríguez, 2010), así como un radio de eficiencia de 10 km (Domínguez, 2002).



MAPA 30. Mapa de viabilidad de la red eléctrica de alta tensión. Fuente: REE. Elaboración propia

6. Resultados

El resultado de la superposición mediante el SIG, de todos los factores anteriores, una vez se les ha aplicado las restricciones correspondientes, es el **Mapa de Viabilidad** para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.



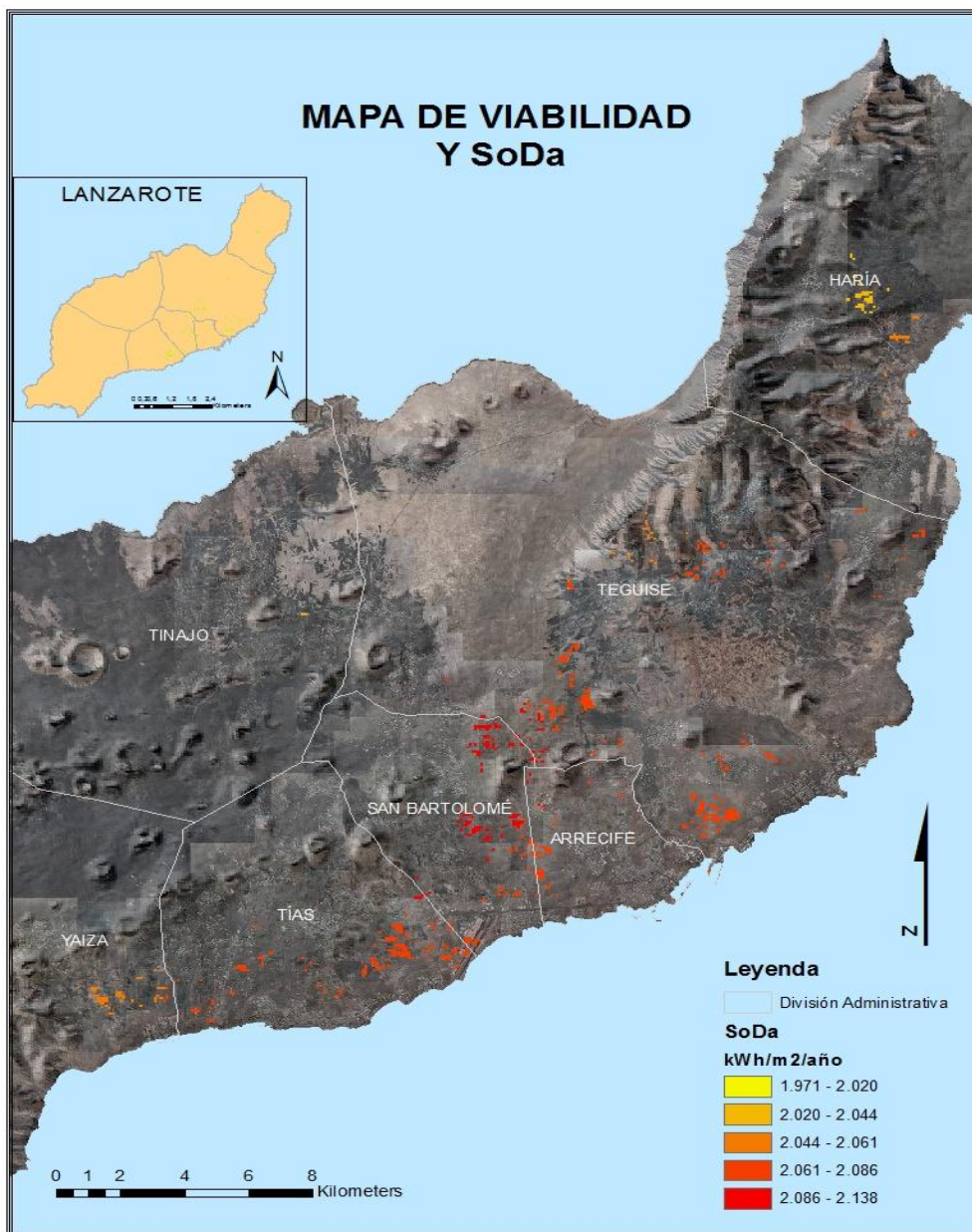
MAPA 31. Mapa de Viabilidad

El área que comprende las zonas de viabilidad supone una superficie de **4,93 km²**, lo que implica el aproximadamente **0,61 %** de la superficie total de la Isla.

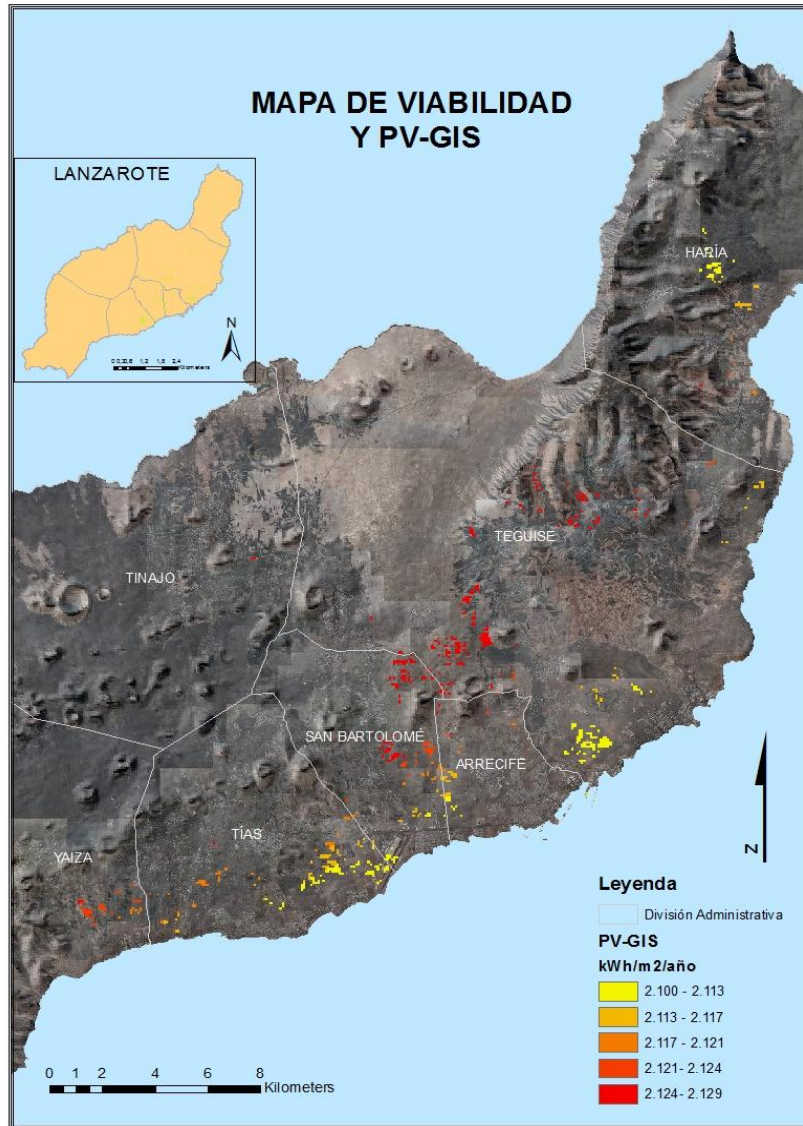
No se tuvo la precaución de evitar la zona del **aeropuerto** como restricción en los Usos del Suelo, así que las zonas viables que están en la pista de aterrizaje y en el ángar, no pueden ser tenidas en cuenta.

Del mismo modo, observando con detalle el mapa resultado, se puede ver que en ocasiones algunas áreas de viabilidad **coinciden** con construcciones de carácter aislado, así como con pistas de tierra. Con lo que, tanto para el caso anterior como para este habría que prestar especial atención para cumplir con restricciones establecidas.

Como ya se adelantó en apartados anteriores, a continuación se muestra el **Mapa de Viabilidad** con información sobre **recurso solar** a partir datos que sobre irradiación han sido obtenidos tanto de SoDa (2005), como de PV-GIS (1985-2004), así como el área viable sobre el relieve en **3D**.

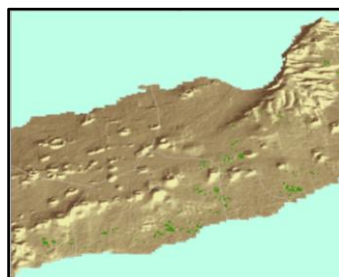


MAPA 32. Mapa de Viabilidad con información sobre el recurso solar a partir de datos de SoDa. Fuente: SoDa, Grafcan e Idecán. Elaboración propia



MAPA 33. Mapa de Viabilidad con información sobre el recurso solar a partir de datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS, Grafcan e Idecán. Elaboración propia

Ambos mapas de Zonas de Viabilidad se asemejan por dar valores más altos en la zona central de la isla. Algo más bajos en la zona norte con respecto al Sur, para el caso de SoDa, aunque no para el caso de los datos de PV-GIS, ya que, en general, asigna la misma magnitud de los datos para las áreas viables tanto para la zona sur como para la norte. No obstante, si nos fijamos en los valores que representan la zona sur tanto para uno como otro mapa, vemos que se asemejan bastante.



MAPA 34. Zona de Viabilidad en 3D

7. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, podemos decir que se ha cumplido con el objetivo principal, pues se han delimitado las zonas viables para la instalación de ESF, y al mismo tiempo también hemos conocido los factores de los que dependían así como las restricciones que debían cumplirse.

Del mismo modo, también se ha obtenido una base de datos territorial sobre el recurso solar de carácter local, adaptada a la zona de estudio.

A pesar de que no se han obtenido como resultado, grandes extensiones de terreno como viables, no hay que olvidar que existe una opción que se está empezando a extender que es la de integrar los paneles en tejados, fachadas y otras estructuras compatibles (Domínguez, 2002). En este estudio, esta posibilidad ha sido eliminada, en parte, al no tener en cuenta el uso del suelo de tipo residencial aunque sí el suelo de uso industrial.

Asimismo, partiendo del hecho de que en Lanzarote existen dos Parques Eólicos, el área reservada para los mismos, podría ser aprovechada para la ESF. Estos terrenos, probablemente por su ubicación, no hayan sido obtenidos como áreas seleccionadas debido a que se encuentran en lugares donde la pendiente es superior al 4%.

Añadir también, que este estudio se ha centrado en instalaciones conectadas a red, al tener como requisito una distancia de la red de alta tensión, a partir de la cual no sería eficiente la instalación de ESF. Es de esperar que el área viable se viese aumentada no teniendo en cuenta este factor por una parte, y teniendo a disposición, asimismo, de información sobre la distribución de la red de media y baja tensión.

En relación a los Espacios Naturales Protegidos, factor de gran peso como ha quedado patente en el análisis, decir que posiblemente, en algunos casos, realizando el pertinente Estudio de Impacto Ambiental o similar y sobre todo, para el caso de ESF aisladas, podría haber un consenso sostenible para que su ubicación fuera posible, sobre todo, por el carácter inocuo que este tipo de instalaciones posee durante su explotación.

Como se comentaba en el apartado de resultados, algunas zonas viables coinciden con algunas edificaciones aisladas y con pistas. Este hecho es debido en el primero de los casos, a la no inclusión de este tipo de construcciones en ninguna de las categorías de uso de suelo residencial (continuo, diseminado o en vial), seguramente, por no estar actualizada la base de datos utilizada en unos casos o por tratarse de edificaciones destinadas a labores agrícolas en otros. En cuanto a las pistas, prestando atención a la información sobre la infraestructura viaria de Lanzarote, se puede observar como sí son tenidas en cuenta las pistas de tierra. Por este hecho, cabe pensar que como en el caso anterior, o no esté actualizada la base de datos, o que se trate de sendas por las que no es posible la circulación de vehículos a motor.

En cuanto a los resultados de la interpolación con el método utilizado, aun no teniendo como objetivo el conocimiento de la bondad de los resultados obtenidos con respecto a otras fuentes de datos. Comentar que al sólo realizarse el análisis a partir de una variable (el valor del recurso solar) y no teniendo en cuenta la altitud, con total certeza el resultado hubiese sido

más fiel a la realidad, debido al gran peso que esta información aporta a la distribución del recurso solar sobre la superficie terrestre (Pulido, 2010).

En relación al resultado a partir del modelo teórico mediante la utilización de SIG para el cálculo de superficies de irradiación solar y consultando las fuentes disponibles, se aleja de la realidad. Posiblemente, a pesar de la documentación previa realizada acerca de la herramienta, el desconocimiento en profundidad de la misma haya ocasionado la no obtención de unos resultados más cercanos a los esperados que hubiera sido lo deseado.

Estudios de este tipo, ponen de manifiesto la necesidad de contar con un número importante número de bases de datos de distinta índole, pues la ubicación de instalaciones, en este caso de energías renovables, se ven influidas por diferentes factores, que se han tenido en cuenta en este estudio.

Los resultados obtenidos, sirven como guía, como orientación sobre emplazamientos de nuevas instalaciones de ESF. Estudios de este tipo, deben ir acompañados de un estudio de detalle de la zona para un proyecto de instalación, sobre todo, porque la escala de trabajo es de 90 m, aspecto que siempre se debe tener muy presente.

8. Bibliografía

Batlles F. J., Zarzalejo, L. F., Rosiek, S., Polo, J., Martínez-Durbán, M., Ramírez, L., Bosch, J. L., Espinar, B., Pozo, D. Estimación de la Radiación Global Diaria en Zonas de Topografía Compleja utilizando Modelos Digitales del Terreno e Imágenes de Meteosat: comparación de resultados [Conferencia] // Proceedings of XXIX Jornadas Científicas de la AME. - Pamplona (España) : [s.n.], 2006.

Domínguez J Los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación e Integración de Energías Renovables [Libro]. - Madrid : CIEMAT, 2002. - Vol. I.

Huld T.A. Suri, M., Dunlop, E.D., Albuissou, M., Wald, L. Integration of Helioclim-1 Database into PV-GIS [Conferencia] // 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. - Barcelona : European Commission, DG JRC, Renewable Energies Unit, 2005.

Johnston K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. & Lucas, N ArcGIS 9. Using ArcGIS Geostatistical Analyst [Sección de libro]. - United States of America : ESRI, 2001.

Macías A.M. Un artículo "vital" para la economía canaria: producción y precios de la sal (1500-1836) [Artículo] // Anuario de estudios atlánticos. - 1989. - págs. 151-209.

Manrique P.A. Análisis de las Fuentes de Información sobre Recurso Solar para generación Térmica y/o Eléctrica Empleando un Sistema de Información Geográfica. [Libro]. - Madrid : Informes Técnicos del Ciemat, 2009. - Vol. 1176.

Monedero J., García, J., Dobon, F., Yanes, M. A., Hernandez, F. Calculation of the PV Potential Maps in the Canary Island [Conferencia] // 22ª Conferencia y Exhibición de Energía Solar

Fotovoltaica Europea. - Santa Cruz de Tenerife : Instituto Tecnológico de Canarias & DOBONTech, 2007.

Moreno A Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. [Libro]. - Madrid : RA-MA, 2007.

Orellana E. Determinación de Áreas con Potencial para la Instalación de Plantas de Energía Termoeléctrica Solar. Caso de estudio: III Región de Atacama [Libro]. - Santiago de Chile : Seminario de Grado. Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009.

Pinedo I. La Radiación Solar y los Sistemas de Información Geográfica [Sección de libro] // Caracterización de la Radiación Solar como Recurso Energético. - Madrid : Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas. CIEMAT, 2008.

Pulido A., Jiménez Juan I., Romero, J., Angulo N. González, Pablo I., Quintana, José C Irradiación Solar en las Islas Canarias [Informe]. - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria : Departamento de Ingeniería Eléctrica. E.T.S.I.I., 2010.

Quijano R Plataforma Integrada de Modelización para la Energía , Ambiente y Desarrollo Sostenible— MODERGIS “Aplicación Caso Piloto Colombia” [Libro]. - Bogotá : Doctorado en Ingeniería-Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, 2011. - Vols. Director: Domínguez, J.

Rodríguez M La Ordenación y la Planificación de las Fuentes Renovables de Energía en la Isla de Cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de Guama a partir de un Geoportal [Libro]. - Sevilla : Doctorado Estrategias y Planificación Territorial-Facultad de Humanidades. Universidad Pablo Olavide, 2010. - Vols. Director: Domínguez, J.

9. Apéndices

9.1. Listado de Imágenes

IMAGEN 1. Salinas abandonadas cerca de Arrecife. Fuente: Elaboración propia	6
IMAGEN 2. Detalle de las Salinas de Janubio. Fuente: Elaboración propia	6
IMAGEN 3. Detalle de las salinas de la Caleta de Guatiza. Fuente. Elaboración propia	6
IMAGEN 4. Diagrama de flujo del estudio. Elaboración propia	11
IMAGEN 5. Ilustración de la situación de la zona de estudio en la base de datos SSE-NASA. Fuente: SSE-NASA.....	15
IMAGEN 6. Mapa con el valor promedio diario para el mes de Enero. Fuente: ITC.....	17

9.2. Listado de Mapas

MAPA 1. Ubicación de Salinas activas en Lanzarote. Fuente: Grafcan y USGS. Elaboración propia	7
---	---

MAPA 2. Ubicación de instalaciones de ESF en Lanzarote. Fuente: Idecán y Grafcan. Elaboración propia	9
MAPA 3. Ubicación de la zona de estudio y división administrativa. No incluye los islotes. Fuentes: Universidad de Maryland (Imagen de Satélite) y USGS (Modelo Digital del Terreno). Elaboración propia	13
MAPA 4. Irradiación Solar para Lanzarote de SWERA y división administrativa en la Isla. Fuente: SWERA y Grafcan. Elaboración propia	14
MAPA 5. Mapa del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE	16
MAPA 6. Mapas de Irradiación Solar obtenidos a partir de distintas fuentes de datos. Fuente: USGS, SoDa y PV-GIS.	18
MAPA 7. Mapas de puntos, diques, contactos y fracturas geológicas. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	19
MAPA 8. Mapa Litológico. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	20
MAPA 9. Mapa de los Espacios Naturales Protegidos y Red Natura 2000. Fuente: Grafcan y MARM. Elaboración propia	21
MAPA 10. Mapas de Usos del Suelo de Lanzarote. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	22
MAPA 11. Red Vial de Lanzarote. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	23
MAPA 12. Red Eléctrica Española en la Isla. Fuente: REE. Elaboración propia	24
MAPA 13. Mapa de Pendientes. Fuente: USGS- SRTM. Elaboración propia	25
MAPA 14. Mapa de Orientación medida en grados. Fuente: USGS-STRM. Elaboración propia	26
MAPA 15. Ubicación de puntos de muestreo con indicación en simbología graduada de la irradiación solar. Fuente: SoDa. Elaboración propia	27
MAPA 16. Ubicación de los puntos de muestreo con simbología graduada expresando la irradiación recibida. Fuente: PVGIS. Elaboración propia	30
MAPA 17. Irradiación solar obtenida con los parámetros por defecto para el año 2005. Fuente: Elaboración propia	30
MAPA 18. Mapa que muestra que las distancias entre puntos no superan los pocos kilómetros. Fuente: Elaboración propia	37
MAPA 19. La superficie de predicción para SoDa. Fuente SoDa. Elaboración propia	39
MAPA 20. La superficie de predicción para PV-GIS. Fuente PV-GIS. Elaboración propia	40
MAPA 21. Superficie interpolada resultado con datos de SoDa. Fuente: SoDa. Elaboración propia	41
MAPA 22. Superficie interpolada a partir de los datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia	43
MAPA 23. Zona viable del factor ENP y Red Natura 2000. División administrativa. Fuente: Grafcan y MARM. Elaboración propia	44
MAPA 24. Zona viable tomando como restricción puntos geológicos y diques y un <i>buffer</i> de 200 m. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	45
MAPA 25. Mapa de viabilidad litológica. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	45
MAPA 26. Mapa de Viabilidad para Usos del Suelo. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	46
MAPA 27. Mapa de viabilidad de pendientes. Fuente: USGS. Elaboración propia	46
MAPA 28. Mapa de viabilidad de orientación. Fuente: USGS. Elaboración propia	47
MAPA 29. Mapa de viabilidad de la red vial. Fuente: Grafcan. Elaboración propia	48
MAPA 30. Mapa de viabilidad de la red eléctrica de alta tensión. Fuente: REE. Elaboración propia	48

MAPA 31. Mapa de Viabilidad.....	49
MAPA 32. Mapa de Viabilidad con información sobre el recurso solar a partir de datos de SoDa. Fuente: SoDa, Grafcan e Idecán. Elaboración propia.....	50
MAPA 33. Mapa de Viabilidad con información sobre el recurso solar a partir de datos de PV-GIS. Fuente: PV-GIS, Grafcan e Idecán. Elaboración propia.....	51
MAPA 34. Zona de Viabilidad en 3D.....	51

9.3. Listado de Tablas

Tabla 1. Tabla explicativa de las zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación. Fuente: CTE.....	15
Tabla 2. Datos de Irradiación de <i>Iacceda</i> para la isla de Lanzarote. Fuente: <i>Iacceda</i> . Elaboración propia	16
Tabla 3. Puntos y sus valores de irradiación asociada. Fuente: SoDa. Elaboración propia	28
Tabla 4. Resultados de la suma de irradiación solar global horizontal. Fuente: PV-GIS. Elaboración propia	29

9.4. Índice de Acrónimos

- AEMET: Agencia Estatal de Meteorología
- CTE: Código Técnico de la Edificación
- ESF: Energía Solar Fotovoltaica
- GEF: Global Environment facility
- GRAFCAN: Gráficas de Canarias S.A.
- IDECAN: Infraestructura de Datos de Canarias
- ISTAC: Instituto Canario de Estadística
- ITC: Instituto Tecnológico de Canarias
- MARM: Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino
- MDT: Modelo Digital del Terreno
- NASA: National Aeronautics and Space Administration
- PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- PV-GIS: Photovoltaic Geographical System
- SoDa: Solar Radiation Data
- STRM: Shuttle Radar Topography Mission
- USGS: United States Geological Survey
- WMS: Web Map Service