



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA.



TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

***SIG y Visor Web de energía solar
y eólica. Aplicación práctica en el
País Vasco***

Madrid, Febrero de 2013

Alumnas:

*Laura Alemany Gómez
Edurne Castell Marcos*

Tutora:

Pilar Moreno Regidor

Agradecimientos

En primer lugar, a Pilar, por el tiempo que nos ha dedicado y sobre todo por la efectividad y comprensión que nos ha demostrado en todo momento.

A nuestras familias por los valiosos consejos en los momentos de indecisión, por saber llevar nuestro mal humor y ayudarnos siempre, en este proyecto y a lo largo de toda la carrera.

A nuestras amigas, gracias por saber escuchar las historietas de nuestra escuela y por intentar entender la fotogrametría, la geodesia y los Sistemas de Información Geográfica.

A las seis fantásticas de la escuela, porque nos habéis hecho reír, llorar, enfadarnos y divertirnos. Gracias por valorarnos tanto chicas y hacernos pasar tan buenos momentos.

A todos los compañeros de la escuela, por los trabajos que hemos hecho juntos, por los días en la biblioteca, por las celebraciones y los viajes, contribuciones a mi desarrollo personal...

Resumen

El proyecto es un Sistema de Información Geográfica y Visor web centrado en las energías renovables solar y eólica, contiene funcionalidad dirigida a facilitar el acceso de los ciudadanos y de las empresas del sector a la información de estas dos energías.

Incorpora una herramienta de edición que pretende tener una base de datos actualizada de los parques solares y eólicos de España. Otra orientada al entorno urbano que permite saber la electricidad aproximada que se generaría en la cubierta de un edificio de Vitoria en función del panel solar que se instale en dicha cubierta.

También se ha realizado un análisis espacial para encontrar los lugares óptimos para la instalación de paneles solares y eólicos en el País Vasco, se han publicado las capas resultado en el visor para que puedan acceder a ellas cualquier sociedad o empresa que le interese conocer este tipo de información. Para estos análisis se han tenido en cuenta estudios de diferentes universidades e informes de organizaciones como Greenpeace. No obstante, no deja de ser una propuesta objeto de posibles mejoras.

Índice

1.	INTROUCCIÓN	9
1.1	Antecedentes y justificación	9
1.2	Metodología y tecnología utilizada.....	14
2.	OBJETIVOS.....	19
3.	LOCALIZACION	23
3.1	Área de trabajo	23
3.2	Historia.....	26
3.3	Características de la zona de trabajo	29
3.3.1	<i>España</i>	29
3.3.2	<i>Euskadi</i>	32
3.3.3	<i>Vitoria-Gasteiz</i>	34
4.	DATOS	39
4.1	Almacenamiento de Datos.....	39
4.2	Fuente de Datos.....	43
4.3	Depuración de Datos y Edición	50
5.	GENERACION DEL SIG	59
5.1	Análisis del País Vasco.....	59
5.1.1.	Idoneidad de Parques Eólicos.....	59
5.1.1.1	<i>Análisis del recurso eólico</i>	62
5.1.1.2	<i>Restricciones</i>	74
5.1.1.3	<i>Resultados</i>	82
5.1.2.	Idoneidad de Instalaciones Fotovoltaicas.....	85
5.1.2.1	<i>Análisis del Recurso Solar</i>	88
5.1.2.2	<i>Restricciones y Zonas Viables</i>	98
5.1.2.3	<i>Resultados</i>	106
5.2	Análisis Solar Urbano	109
5.2.1	Arquitectura de datos. Datos de partida	111
5.2.2	Análisis de la radiación solar en tejados	113
5.2.3	Cálculo de la energía solar producida por paneles solares.....	119
5.2.4	Creación del callejero.....	120
6.	PUBLICACIÓN DE SERVICIOS	125

6.1	Tecnología utilizada.....	125
6.2	Publicación y configuración de servicios	129
7.	DESARROLLO VISOR WEB	135
7.1	Tecnología utilizada.....	135
7.2	Diseño de la aplicación	136
7.3	Funcionalidad de la aplicación.....	139
7.3.1	funcionalidad genérica	139
7.3.2	Funcionalidad específica.....	141
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	147
8.1	Revisión de objetivos. Conclusiones.....	147
8.2	Revisión de objetivos.....	148
9.	PRESUPUESTO.....	153
10.	BIBLIOGRAFÍA	159
11.	ANEXOS.....	165
11.1	Anexo I: Script de Python	165
11.2	Anexo II: Índice de figuras.	167

1. INTRODUCCIÓN

1. INTROUCCI3N

1.1 Antecedentes y justificaci3n

Seg3n el Cuarto Informe de Evaluaci3n (CIE) del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Clim3tico (IPCC) "Cambio clim3tico 2007" una de las principales causas del cambio clim3tico es el aumento de la concentraci3n de CO_2 y de otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atm3sfera debido principalmente a la actividad humana.

En este informe, se estim3 que m3s del 55% de estos GEI provienen de combustibles f3siles tal y como muestra el siguiente gr3fico. La dependencia de este tipo de combustibles es alt3sima y el proceso de sustituci3n de estas fuentes de energ3a por otras es un proceso largo y costoso dado su nivel de penetraci3n en nuestra sociedad y econom3a.

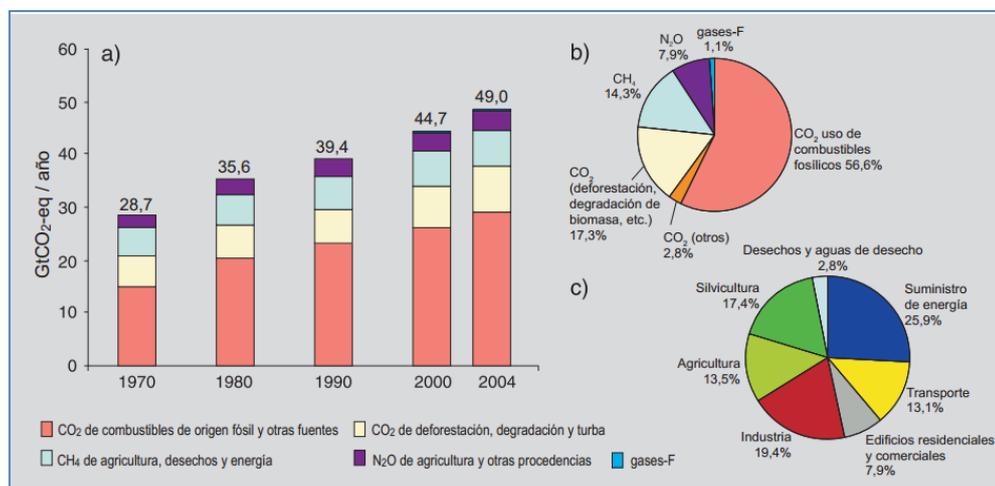


Figura 1: Emisiones mundiales de Gases Efecto Invernadero totales, por tipo de gas y por sectores. 2004. Fuente: Cuarto Informe de Evaluaci3n (CIE) del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Clim3tico (IPCC).

El 13 de Noviembre de 2008, la Uni3n Europea decidi3 apostar con fuerza por las energ3as renovables para combatir el cambio clim3tico y los estados miembros se comprometieron a reducir para 2020 el consumo de energ3a primaria en un 20%, a reducir en un 20% la emisi3n de gases efecto invernadero y a elevar la contribuci3n

de energía renovable un 20% del consumo de energía. Esta iniciativa se denominó “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%”.

España, siendo uno de los estados miembros, debe cumplir con los compromisos planteados. A continuación se describe nuestra situación actual, en base al informe anual de 2011 de Red Eléctrica de España (REE).

Situación de la energía renovable en España en 2011

La crisis económica que afecta al país ha marcado la evolución de los diferentes sectores económicos de España. En el año 2011 el Producto Interior Bruto ha presentado un crecimiento del 0.4%. Según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, los distintos indicadores de **consumo energético** presentaron cifras negativas: el de energía primaria, -0,6% y el de energía final, -4,4%. En 2011 el consumo de electricidad descendió un 3%, situándose en 252.848 millones de Kw/h, cifra similar a la registrada en 2005.

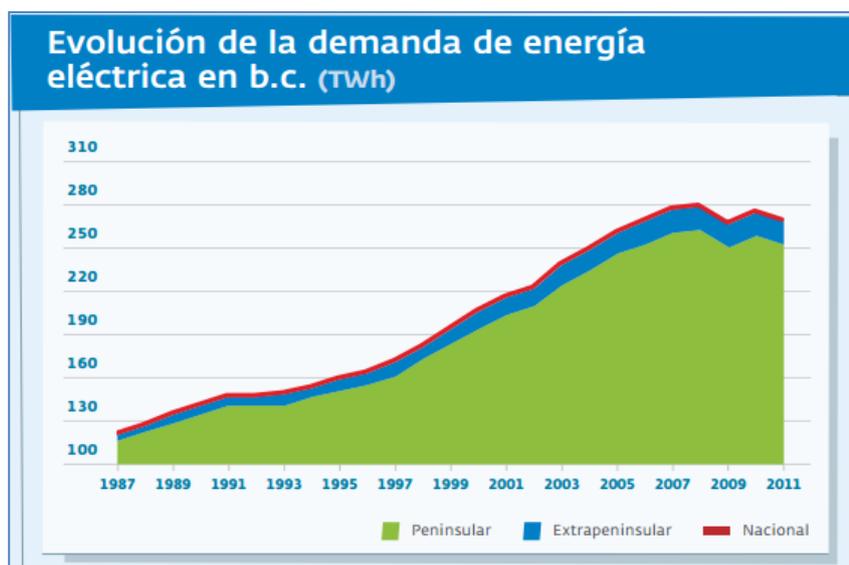


Figura 2: Evolución de la demanda del informe de REE del 2011

La **producción bruta** en España en 2011 fue de 293.737 millones de Kw/h, lo que supone un descenso del 2,8% respecto del año anterior. Desglosando las fuentes, llaman la atención, por su magnitud, las variaciones experimentadas en la producción del carbón, que ha aumentado en gran medida respecto al año anterior como consecuencia del decreto de 2010 para favorecer la utilización del carbón

nacional. También destaca la producción hidroeléctrica, con una disminución del 28% debido a la baja hidraulicidad del año.

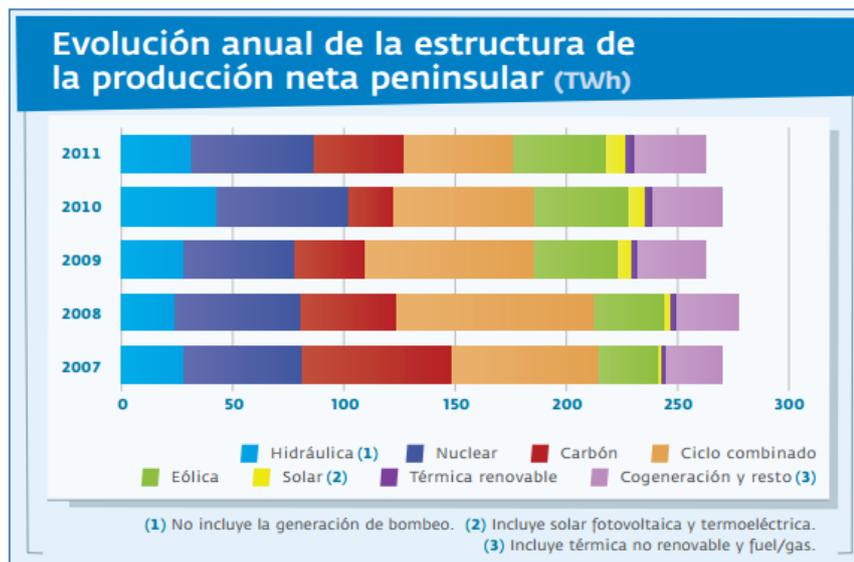


Figura 3: Evolución anual de la estructura de la producción neta peninsular

En cuanto a las energías renovables, incluidas dentro del Régimen Especial de Red Eléctrica de España (REE), en 2011 situaron su producción en 59.77Gh, un 0,4% inferior al año 2010.



Figura 4: Evolución de la producción neta del régimen especial.

Como se ve en el gráfico anterior, la eólica es la tecnología de mayor peso dentro de las renovables, representando en este periodo casi el 70% del total de generación renovable del régimen especial.

En 2011, los **parques eólicos** aumentaron la capacidad instalada en un 7% respecto al 2010, mientras que su generación se redujo en un 3,3%. Este descenso se debió a que la eolicidad o viento disponible durante 2011 fue notablemente menor que el año anterior, dentro de los relativamente estrechos márgenes de variabilidad de esta tecnología.

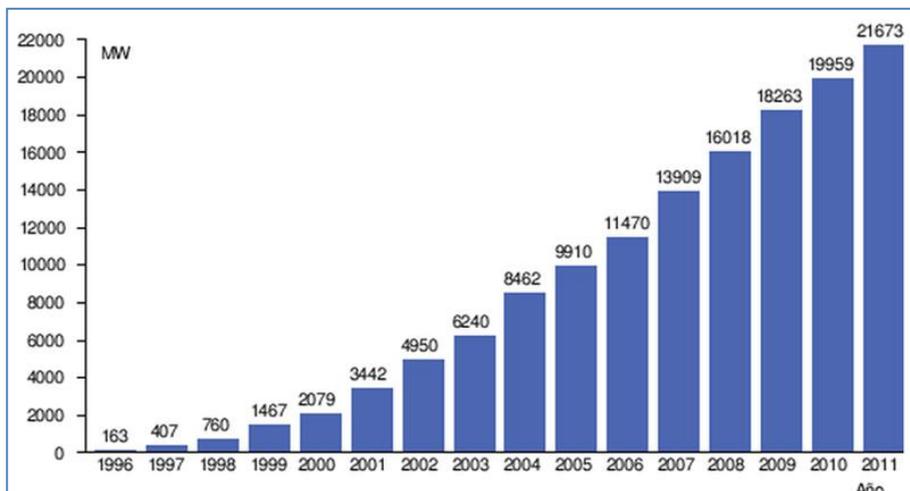


Figura 5: Potencia eólica instalada en España hasta 2011

Los **parques solares** han mantenido su fuerte crecimiento alcanzando los 5.095 MW (4.047 MW fotovoltaicos y 1.049MW termoeléctricos). La energía fotovoltaica se situó en 7.081GWh (un 15,3% más que el año anterior) y la termoeléctrica en 1.823GWh (frente a los 692GWh en 2010). Estos crecimientos han elevado la participación conjunta de estas tecnologías en la generación renovable del régimen especial al 14,9 % (un 11,4 % en 2010).

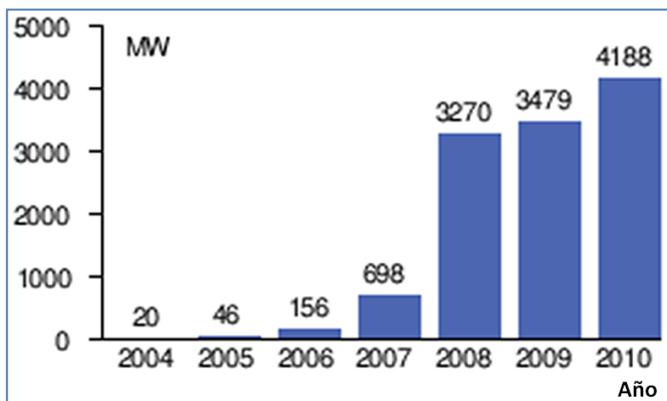


Figura 6: Potencia solar instalada en España hasta 2010

Para dar cuenta de la importancia de cada una de las fuentes de energía en nuestro país se muestra a continuación la cobertura de la demanda energética anual de 2011.

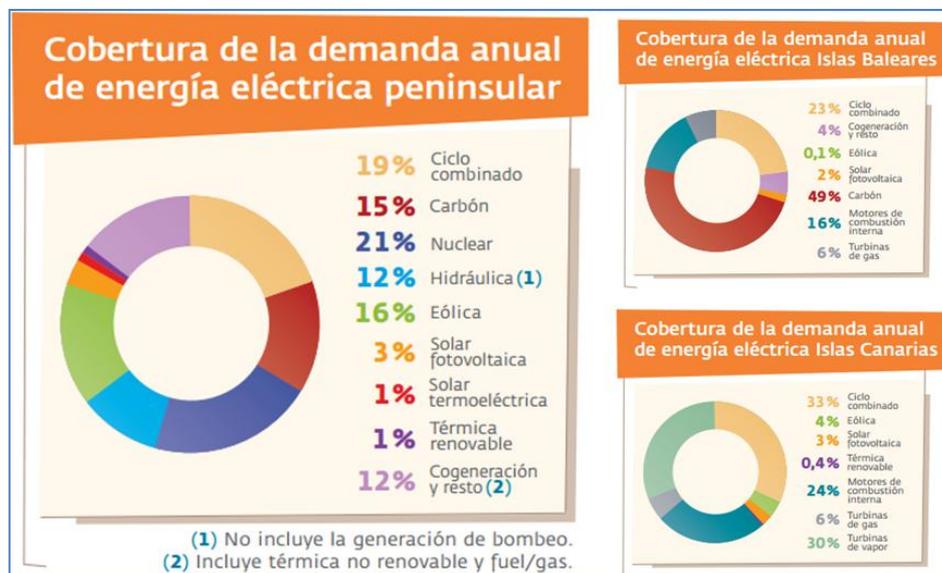


Figura 7: Cobertura de la demanda anual de energía eléctrica

La energía renovable en España tradicionalmente no ha tenido un gran peso en relación con la demanda de energía primaria pero, hasta la llegada de la crisis, el gobierno venía impulsando políticas que fomentaran, por un lado un mayor aprovechamiento de fuentes de energía naturales, ya que nuestro país cuenta con un gran potencial disponible; y por otro lado una disminución en la dependencia de las energías fósiles, contribuyendo solidariamente a una menor contaminación.

En la sociedad existe una preocupación medioambiental que debería determinar la dirección inequívoca de los gobiernos hacia una utilización mayor de las energías limpias. Los consumidores particulares perciben que su factura eléctrica descendería si el suministro proviniese de energías naturales ilimitadas y no contaminantes.

Con este proyecto queremos colaborar con las empresas eléctricas que apuestan por las energías renovables, ofreciendo un producto que facilite los planes de viabilidad de parques solares y eólicos, sirve para reducir el coste que el desarrollo de dichos planes suponga y mejorar el aprovechamiento del alto potencial de nuestro país en fuentes de energía naturales.

Esta parte del proyecto destinada a las empresas se centra únicamente en las energías solar y eólica pero no se descarta una futura ampliación del proyecto que considere el resto de recursos naturales.

Según la organización “Cities Alliance”, la población urbana asciende a más de un 50% de la población mundial, con un consumo del 80% de los recursos planetarios. Por tanto, es importante fomentar el uso de fuentes de energía renovables que no emitan gases contaminantes, en lugar de las fuentes de energía fósiles, de las que dependen las edificaciones hoy en día.

La energía solar urbana, en la actualidad, es la que tiene más futuro en las ciudades españolas. Con nuestro proyecto esperamos que los usuarios interesados en energías limpias y habiendo valorado previamente la energía que necesitan en sus viviendas, puedan analizar la rentabilidad de la inversión (desembolso inicial de una instalación de paneles solares en la vivienda) considerando la disminución de la factura energética. Así facilitamos a los ciudadanos la posibilidad de tener un consumo solidario y no contaminante que además, aliviaría las cargas económicas familiares permitiendo afrontar la crisis con mejores perspectivas.

1.2 Metodología y tecnología utilizada

En los siguientes capítulos, resumidos a continuación, se explica la metodología llevada a cabo en la realización del proyecto.

- **Introducción:** Justificación e introducción al proyecto definiendo su alcance y competencia. Describe el contexto global en el que se encuentran las energías renovables hoy en día y explica conceptos fundamentales utilizados en el proyecto para realizar determinados análisis. Resumen de los capítulos y Tecnología utilizada.
- **Objetivos:** Platea el problema que resuelve el proyecto especificando los objetivos.
- **Localización:** Define el área de estudio y sus características.

- **Datos:** Expone los datos de partida del proyecto detallando sus fuentes y la depuración y/o edición que se ha llevado a cabo en los datos para su posterior utilización en el análisis.
- **Generación del SIG:** En este capítulo se explican los análisis llevados a cabo para la obtención de la información base del SIG. Se muestran los resultados obtenidos de forma gráfica tanto de los análisis eólico y solar en el País Vasco como del análisis solar en la ciudad de Vitoria.
- **Publicación de servicios:** Características de los servicios publicados que luego se visualizarán en la aplicación.
- **Desarrollo visor web:** Describe las operaciones de publicación de los resultados y las herramientas de consulta y edición aplicadas en el visor web.
- **Conclusiones y recomendaciones:** Este capítulo revisa los objetivos planteados al inicio del proyecto y se proponen líneas de trabajo futuras para mejorar el servicio que ofrece el visor.
- **Presupuesto:** Costes que supone la realización de este proyecto.

Para la realización del proyecto hemos utilizado dos ordenadores con el siguiente software:

- Sistema operativo: Windows 7
- Ofimática: Microsoft Office 2007 (excel, power point y word)

Tecnología propia de SIG:

- ArcGIS Desktop 10.0 con las extensiones de *Data Interoperability*, *Spatial Analyst* y *Geoestadística analyst*
- ArcGIS Server 10.0: Servidor SIG

Tecnología de desarrollo web:

- Servidor Web de Windows: IIS
- Entorno de desarrollo web: *Visual Studio Web Developer 2010 Express* con las herramientas de Silverlight (*Silverlight Tools for Visual Studio*)
- Interfaz de desarrollo de aplicaciones de SIG: API ArcGIS para Silverlight 2.4.
- Kits de desarrollo de software: Silverlight Toolkit 5 y Expression Blend SDK for Silverlight.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El proyecto es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de las energías renovables solar y eólica que trata de servir información a los ciudadanos y a las empresas relacionadas con este tipo de energías a través de un visor web, con el objetivo de fomentar el uso de este tipo de energías no perdederas.

Para la consecución de este objetivo principal, y después de analizar el sector, hemos considerado los siguientes objetivos específicos:

- Posibilitar la participación del ciudadano, preocupado con el medio ambiente, con el Proyecto Renovable.
- Dar al ciudadano alguna herramienta que le permita saber la energía que podría generar en su propia vivienda si instalase paneles solares, ya que ésta es la energía más accesible a este nivel.
- Facilitar una base de datos actualizada de las instalaciones solares y eólicas a nivel estatal que permita agregar la localización de las futuras instalaciones. Consiguiendo así información de utilidad para otros análisis e investigaciones además de facilitar al público la consulta de estos datos.
- Proporcionar la información necesaria para que un empresario sepa dónde están los lugares con mayor potencial eólico y solar.
- Ofrecer información de los lugares donde existen restricciones para la ubicación de parques eólicos y/o solares.
- Generar una aplicación que de acceso a esta información. Ésta deberá ser intuitiva y de fácil manejo ya que va destinada a una audiencia heterogénea y que no tiene porque saber lo que es un Sistema de Información Geográfica.

3. LOCALIZACIÓN

3. LOCALIZACION

3.1 Área de trabajo

Este proyecto centro su zona de estudio en España donde el sector de las energías renovables ha crecido levemente durante 2011 a pesar de la crisis. Su peso dentro del PIB nacional, cercano al 1% le consolida como uno de los pilares sobre los que sustentar la recuperación económica.

Según los últimos datos oficiales publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), correspondientes al cierre de 2008, España depende de las importaciones energéticas para satisfacer el 78,4% de sus necesidades energéticas. Esta enorme dependencia energética lastra nuestra economía al estar toda la industria sujeta a los precios marcados por los países exportadores.

La energía primaria utilizada en España proviene, en más de un 80%, de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón). Esta característica de nuestro suministro energético nos aleja de los compromisos del Protocolo de Kioto.

Las energías renovables no sólo reducen las emisiones de gases de efecto invernadero sino que también aseguran un suministro energético autóctono y seguro, sin dependencia de recursos o tecnologías externos.

Teniendo en cuenta la dificultad de encontrar información sobre la ubicación de las instalaciones de energía renovable implantadas en nuestro país, se ha optado por la creación de un SIG con información de las instalaciones eólicas y solares que se encuentran en nuestra Nación, dicha información nos ayudara a mantener un registro de esta tipo de instalaciones, aparte de información complementaria para posteriores realizar análisis que puedan ayudar en nuestro país.

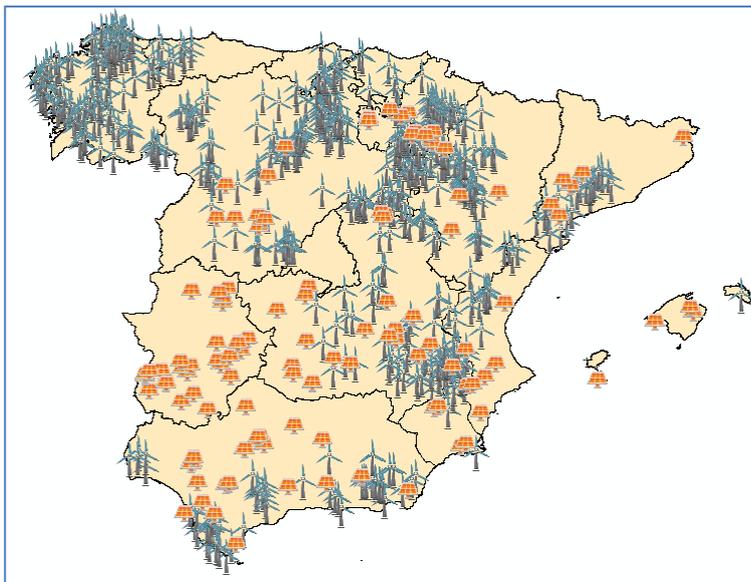


Figura 8: Mapa de Instalaciones Eólicas y Solares de España. Fuente: Elaboración Propia.

A parte se ha querido realizar un estudio de idoneidad de ubicación de instalaciones eólicas y solares. Dicho estudio necesita una amplia disponibilidad de información geográfica y recursos informáticos necesarios para poder procesar los cálculos derivados, por lo que se decidió realizarlo en un ámbito más pequeño, debido a la dificultad que suponía encontrar todos la información geográfica necesaria en una zona tan extensa como viene siendo España.

La información geográfica ha sido siempre un recurso de compleja utilización, económicamente costoso de producir y de uso problemático por la variedad de formatos, las políticas de distribución, las tecnologías propietarias y el volumen de la información.

Por ello se decidió apostar por una CCAA y teniendo en cuenta que Euskadi es un referente en infraestructura de datos espaciales (IDE de Euskadi) en España, se optó por trabajar en Euskadi. También se tuvo en cuenta, que un ámbito más pequeño, como puede ser una CCAA, nos permitía en un tiempo más razonable, realizar todo tipo de procesamientos necesarios, ya que disponíamos de menos cantidad de información de partida.



Figura 9: Ubicación de Euskadi respecto de España.

Para finalizar el proyecto se ha realizado un estudio de energía urbana renovable. Para este estudio es necesario información muy precisa de una población. Ya que el estudio está localizado en el País Vasco, se decidió realizar el análisis de energía urbana en una población de dicha CCAA.

Debido a su dimensión y por ser elegida Capital Verde Europea, fomentando un impulso económico dirigido a energía verdes, se eligió Vitoria como la ciudad de estudio de nuestro proyecto.



Figura 10: Ubicación de Vitoria respecto del País Vasco.

3.2 Historia

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación o la vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

En España las energías renovables supusieron en el año 2005 un 5,9% del total de energía primaria, un 1,2% es eólica, un 1,1% hidroeléctrica, un 2,9 biomasa y el 0,7% otras. La energía eólica es la que más crece.

La energía renovable en España tradicionalmente ha tenido un peso pequeño en relación con la demanda de energía primaria y de generación eléctrica, y ha sido principalmente representada por la energía hidráulica. Sin embargo, desde el final del siglo XX ha sido fuertemente impulsada desde los diferentes Gobiernos. Así, el *Plan de Fomento de las Energías Renovables (2000-2010)* tenía como objetivo para 2010 generar el 30% de la electricidad a partir de fuentes de energía renovable —provieniendo la mitad de esta cantidad de la energía eólica—, el 12 % de la energía primaria y el 5,75 % con biocarburantes. Objetivo logrado para la electricidad (en 2010, el 35% del total de la demanda eléctrica se cubrió a partir de fuentes de energía renovable, que se convertían así en la primera fuente de generación eléctrica del país), quedando a las puertas del cumplimiento del 12 % de energía primaria (11,1 % en 2010).

La aportación del sector renovable a la economía española ha sido estimada en torno al 0,67 % del PIB y dio empleo en torno a unas 120.000 y 200.000 personas en

2008, estando caracterizadas por una gran inversión en investigación y desarrollo y con una productividad elevada

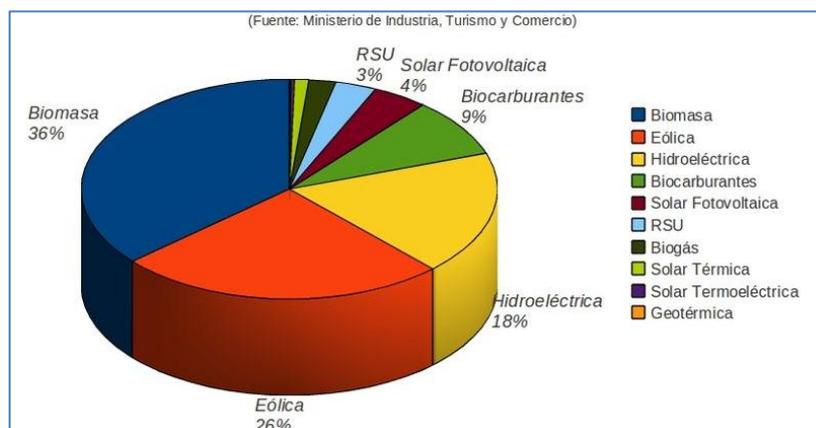


Figura 11: Contribución de cada tecnología en el consumo de energía primaria en España (2009). Fuente: Ministerio de industria, Turismo y Comercio.

Según la Comisión Nacional de Energía Española, la venta anual de energía del Régimen Especial se ha multiplicado por más de 10 en España, a la vez que sus precios se han rebajado un 11 %.

La dependencia energética externa de España es mayor que la media de la Unión Europea. El grado de autoabastecimiento de energía primaria (relación entre producción interior y consumo total de energía) ha sido en 2009 del 23%, lo que supone que en España el 77% de la energía primaria consumida es importada del exterior.

Año	Grado de autoabastecimiento energético
1975	22,6
1985	38,9
1995	28,0
1998	25,6
2003	22,1
2008	21,6
2009	22,9
2010	26,1

Fuentes: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

Tabla 1: Evolución del grado de Autoabastecimiento desde 1978.

A la hora de hablar de energía renovable en Euskadi, tenemos que tener en cuenta la crisis de los años 70 la cual afectó de forma muy especial, al contar Euskadi con un tejido económico mayoritariamente industrial y con un gran peso dentro del mismo de sectores muy intensivos en energía (siderurgia, transformados metálicos, cemento, vidrio, papel...), poco expuestos a la competencia exterior y con un alto grado de obsolescencia y falta de inversiones en sus medios productivos.

Euskadi presentaba una posición de extrema debilidad, reflejada en la limitada capacidad de generación y en la gran ineficiencia de los equipos y sistemas de consumo energético. Partiendo de esta situación, desde los años 80 Euskadi ha sido pionera en materia de planificación y en el desarrollo de políticas energéticas, que se han constituido en eje fundamental de las políticas industriales y de la competitividad como país. Hoy en día, las actuaciones en este área siguen siendo clave, dado que el peso del sector industrial en el consumo de energía sigue siendo significativo, que existe un importante desarrollo tecnológico e industrial en Euskadi en torno al sector de la energía y que nos encontramos como país en niveles de consumos altos, aunque acordes a nuestros índices de desarrollo y prosperidad.

La importancia de la política energética se pone de manifiesto aún más si tenemos en cuenta el contexto actual de inestabilidad surgido tras una crisis financiera global de dimensiones no vistas en las últimas décadas. Crisis alimentada también por un mercado del petróleo inestable, cada vez más volátil al tratarse de un recurso geoestratégicamente mal repartido y con una producción sujeta en su mayoría a cuotas restrictivas por parte de los países con mayores reservas, gran parte de ellos con un alto riesgo geopolítico.

Por tanto, este escenario no hace sino apuntalar la necesidad de contar en Euskadi con un modelo económico y productivo sostenible y competitivo a escala global que se pueda apoyar en una adecuada política energética.

Actualmente existe un interés progresivo por la introducción de la energía eólica y solar en el entorno urbano. Las ciudades son grandes consumidores de energía, así que es esencial que se conviertan en autosuficientes desde el punto de vista energético. Para ello, hay que dar una vuelta de tuerca al mobiliario urbano para

lograr ciudades inteligentes, donde se busque la eficiencia energética desde cualquier punto de vista.

Un estudio realizado por el Instituto de Energía Solar en el marco del proyecto europeo POLIS ha puesto de relieve que la capital vasca, que cuenta con una población cercana a los 240.000 habitantes, podría cubrir hasta el 75% de la demanda eléctrica de la ciudad solo con energía solar fotovoltaica. Los barrios residenciales podrían contribuir con un 34% de ese porcentaje y las zonas industriales con un 58%.

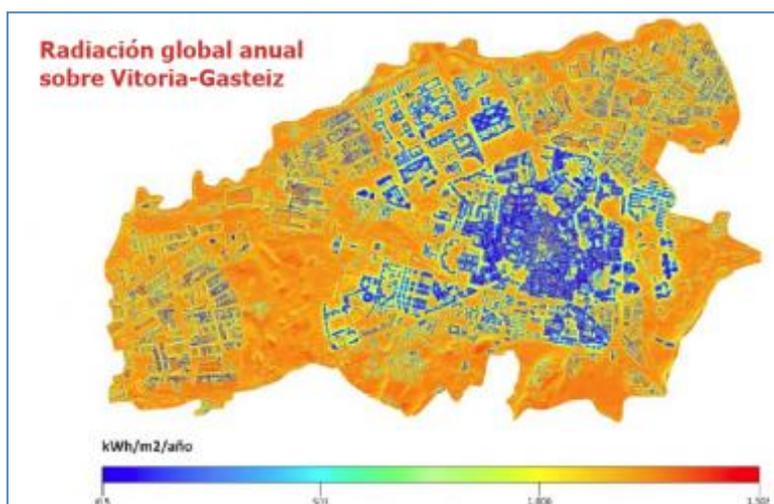


Figura 12: Mapa de Radiación global anual de Vitoria. Fuente: POLIS.

3.3 Características de la zona de trabajo

Ya que disponemos de diferentes ámbitos de trabajo según el análisis a realizar dividiremos este apartado en las tres zonas que nos conciernen en este proyecto, resaltando de cada una de ellas, las características más relevantes al estudio que se realice.

3.3.1 España.

Se encuentra situado en Europa occidental, donde ocupa la mayor parte de la península Ibérica y el archipiélago de las islas Baleares (en el mar Mediterráneo occidental); y en el norte de África las ciudades de Ceuta (en la península Tingitana)

y Melilla (en el cabo de Tres Forcas), las islas Canarias (en el océano Atlántico nororiental), las islas Chafarinas, el peñón de Vélez de la Gomera y las islas Alhucemas.

Tiene una extensión de 504.645 km², siendo el cuarto país más extenso del continente, tras Rusia, Ucrania y Francia. Con una altitud media de 650 metros es uno de los países más montañosos de Europa. Su población es de 47.190.493 habitantes, según datos del padrón municipal de 2011.

España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol, a lo que se unen los compromisos europeos y mundiales en instalación de energías renovables así como la conveniencia estratégica de disminuir la gran dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética. Todo ello contribuye a que España sea uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar.

España tiene ante sí un amplio potencial de desarrollo de energía solar térmica, con una media de 2.500 horas de sol aseguradas al año. La poca nubosidad, la baja humedad ambiental, el clima seco y la incidencia de los rayos solares, hacen que nuestro país obtenga unos valores de radiación directa envidiables.

Aún así, existen evidentes diferencias entre las distintas comunidades españolas. Según los datos disponibles, existe un gran contraste entre las comunidades del Cantábrico, que rondan las 1.700 horas de sol al año, y las mediterráneas, que alcanzan las 2.750 horas de sol anuales.

Estas diferencias están motivadas por la presencia de varias zonas climáticas en el interior de la Península Ibérica, lo que explica porqué algunas zonas del norte de España reciben menos horas de sol que incluso regiones del centro de Europa, como Viena, con 1.890 horas de sol al año.

Las provincias del sur de Andalucía y Canarias son las que concentran mayor número de horas de sol anuales, alcanzando las 3.000. Teniendo en cuenta que en la actualidad no se aprovecha ni el 10% de la energía que nos ofrece el Sol, las posibilidades de desarrollo son realmente espectaculares.

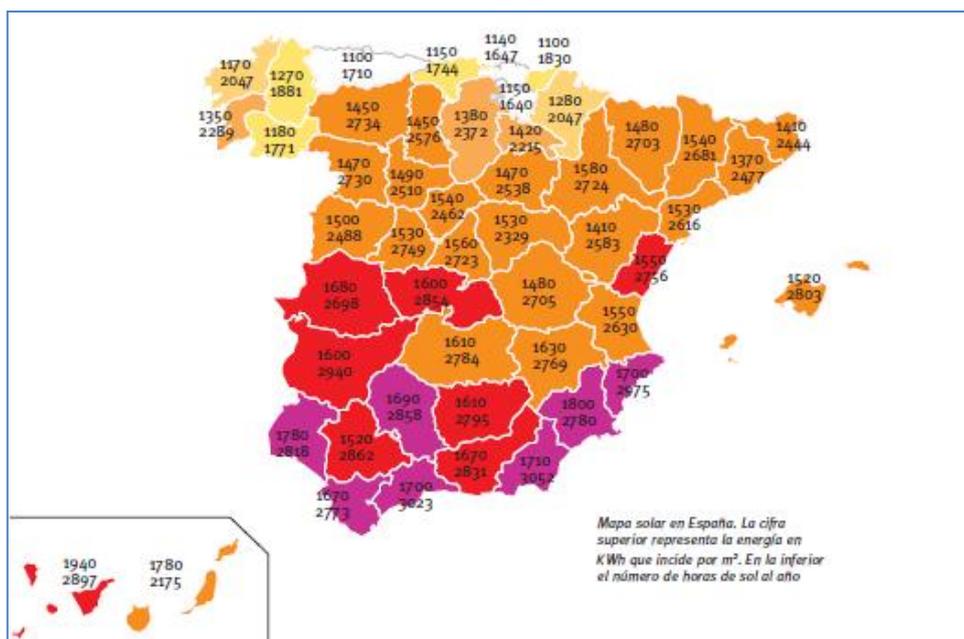


Figura 13: Mapa Solar de España. Fuente: Idea, 2009.

Por otro lado, es importante señalar que exceptuando Madrid, Ceuta y Melilla, existe o está prevista la instalación de potencia eólica en todo el territorio nacional. La mayor parte de esta potencia se encuentra localizada en cinco comunidades autónomas: Castilla y León, Castilla La Mancha, Galicia, Andalucía y Aragón, donde se concentra aproximadamente el 80% de la potencia instalada en España

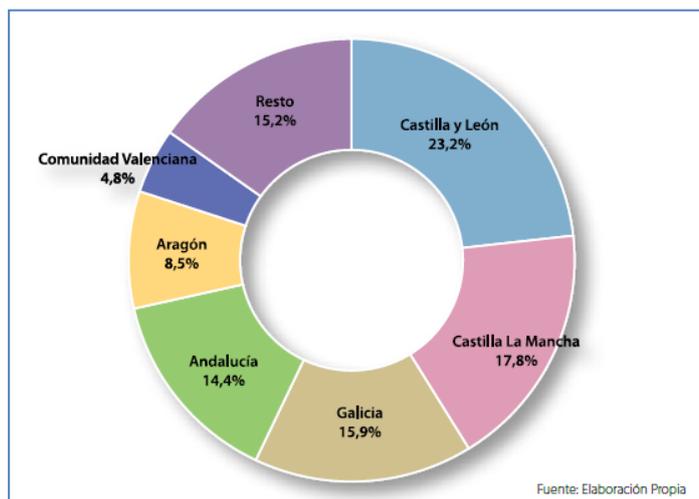


Figura 14: Potencia eólica instalada en España en 2010 por CCAA. Fuente: AEE.

3.3.2 Euskadi.

El **País Vasco** (también conocido como **Euskadi**) es una comunidad autónoma española, situada en el extremo nororiental de la franja cantábrica, lindando al norte con el mar Cantábrico y Francia (Aquitania), al sur con La Rioja, al oeste con Cantabria y Burgos y al este con Navarra. Lo integran las provincias (denominadas territorios históricos en el ordenamiento autonómico) de Álava, Guipúzcoa y Vizcaya, agrupando a 251 municipios: 51, 88 y 112, respectivamente.

Se encuentra ubicada entre El País Vasco tiene una extensión total de 7.234 km²,¹⁰ y una población actual de 2.155.546 habitantes (INE 2008),¹¹ con una densidad de población de 301,99 hab/km².

En el País Vasco encontramos dos climas claramente diferenciados y una zona de transición entre ellos. En la zona costera tenemos el clima marítimo de la costa oeste de los continentes, al sur de las sierras meridionales existe un clima mediterráneo notablemente continentalizado. Entre ambas zonas, en la depresión de la Llanada de Vitoria existe un área de transición en la que el clima marítimo de la costa oeste va tomando características de clima mediterráneo. Los centros de acción principales son el frente polar que canaliza las borrascas y trae masas de aire polar marítimo; y el anticiclón de las Azores, que trae masas de aire tropical marítimo y es el responsable del tiempo seco y soleado. Otros centros de acción actúan eventualmente, como el anticiclón siberiano que en invierno, cuando afecta a Europa, puede traer al País Vasco masa de aire polar continental, frío y seco. Si bien los vientos dominantes son del oeste, en verano existen un porcentaje relativamente alto de vientos procedentes del norte y el noroeste, que siguen la costa francesa hasta entrar en Euskadi; mientras que en invierno suelen darse vientos del sur, que forman vientos de tipo foehn.

Las precipitaciones en el País Vasco son muy abundantes. En Guipúzcoa y Vizcaya superan los 1.500 mm y en la mayor parte de Álava los 700 mm. Sólo en el sur de Álava las precipitaciones no alcanzan estos registros. Estamos en la región más nubosa de España, con un 65% de los días del año nublados. En la depresión de la Llanada de Álava son frecuentes los fenómenos de inversión térmica, que generan muchos días de niebla. La época en la que se recogen más precipitaciones es el

otoño y el comienzo del invierno, pero también hay un máximo secundario a finales del invierno. Las mínimas de las precipitaciones se dan en verano, junio y julio, pero en ningún caso se dan meses áridos, salvo en determinados puntos de Álava con un mes de aridez y el sur de esta provincia, que tiene clima mediterráneo.

Las temperaturas son, en general, moderadas, aunque se observa un claro gradiente entre la costa y el interior. El elevado número de días nublados reduce notablemente la insolación. En la costa las temperaturas oscilan entre los 19 °C en verano y los 8 °C en invierno, de media. Las temperaturas más altas se alcanzan en situación de viento foehn, cuando se pueden alcanzar fácilmente más de 35 °C. Cuando la región está bajo la acción del anticiclón térmico Siberiano se alcanzan temperaturas mínimas inferiores a 0 °C. La Llanada de Vitoria es notablemente más fría, con temperaturas frías en invierno y frescas en verano (20 °C). En invierno se sitúan en torno a los 5 °C con un buen número de días con heladas. Las precipitaciones de invierno suelen ser en forma de nieve.

En el País Vasco existen tres figuras de protección de la naturaleza, el parque natural, el biotopo protegido y los árboles singulares, que protegen decenas de árboles monumentales concretos. Todo ello, repercutirá fuertemente en el resultado final, pues Espacios Naturales Protegidos, es uno de los factores a tener en cuenta en los análisis de idoneidad de ubicaciones de paneles solares y eólicos

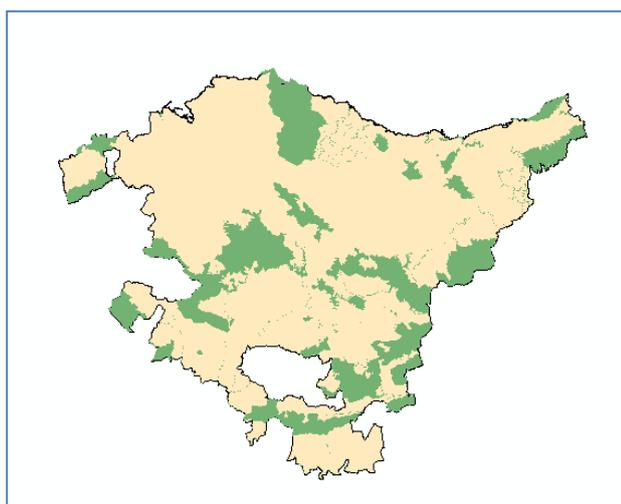


Figura 15: Mapa de los espacios Naturales Protegidos de Euskadi. Fuente: Red Natura 2000

3.3.3 Vitoria-Gasteiz.

Vitoria, capital de Euskadi, ubicada a una longitud de 42° 51' 0" N y una latitud de 2° 41' 0" W, cuenta con 239.562 habitantes (INE 2011) ocupando el puesto 19 entre los municipios más poblados de España. Por su parte, el Área funcional de Vitoria - Álava Central, conformado por 31 municipios (29 alaveses y 2 vizcaínos) cuenta con una población de 275.118 habitantes (INE 2011).

Durante el año 2012 Vitoria fue Capital Verde Europea (*European Green Capital*), tomando el relevo durante el año 2013 la ciudad francesa de Nantes.

Vitoria está fundamentalmente constituida por una llanura central comprendida entre las curvas de nivel 500 y 600 metros, que enmarcada por sierras y alturas, presenta un relieve que se divide en compartimentos cuyas comunicaciones naturales se expanden hacia el norte, por los puertos de montaña al Valle del Ebro por el paso de las Conchas de Haro situado al suroeste, y hacia el este por el paso encajado entre las sierras de Urbasa y Urquilla.

Las características del clima de Vitoria están influenciadas por su configuración orográfica, de modo que las sierras que la limitan por el norte, la defienden de la influencia oceánica, mientras que por el sur también existe solución de continuidad con el clima continental característico de las regiones centrales de la península. En resumen, se establece un microclima de inviernos fríos y húmedos y veranos frescos, semejante al de los páramos de la orla marginal de la meseta.

Parámetros climáticos promedio de Vitoria													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura diaria máxima (°C)	7.8	9.5	12.8	16.0	19.2	23.0	26.0	28.2	23.9	17.7	11.9	8.3	16.6
Temperatura diaria promedio (°C)	4.5	5.5	8.0	9.8	12.7	16.2	20.6	23.9	18.0	12.8	7.9	5.3	12.1
Temperatura diaria mínima (°C)	1.2	1.6	3.2	5.0	7.4	10.5	12.4	12.6	11.1	8.0	4.2	2.3	6.6
Precipitación total (mm)	88.8	81.3	68.5	72.9	75.6	61.6	35.0	38.9	58.2	78.7	76.2	88.4	824.1
<i>Fuente: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz</i>													

Tabla 2: Climatología de Vitoria.

La ubicación de este proyecto piloto es Vitoria-Gasteiz, capital de País vasco, una ciudad de tamaño medio con características de urbanismo compacto típicas de las ciudades españolas.

Además de la posible replicabilidad del proyecto dada la gran cantidad de características comunes con otras ciudades del entorno nacional y la gran disponibilidad de datos para realizar el proyecto, han sido factores clave para la elección de esta ciudad como “campo de pruebas”. Dada la extensión de la ciudad se ha optado por el desarrollo del proyecto en un área homogénea de la ciudad a modo de acción piloto.

4. DATOS

4. DATOS

4.1 Almacenamiento de Datos

Un sistema SIG es una colección de datos geográficos representados como capas temáticas en un mapa.

ArcGIS permite crear eficaces mapas y aplicaciones con datos geográficos. Un buen mapa, y por tanto un buen SIG, es una recopilación de capas temáticas que permiten identificar relaciones y tendencias en la información, realizar análisis espaciales y mejorar las estrategias de planificación y diseño.

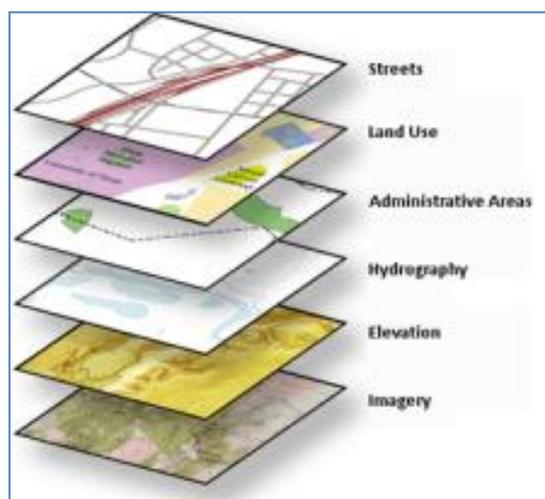


Figura 16: Conjunto de capas que constituyen un SIG.

Para implementar el modelo lógico diseñado del proyecto se debe reestructurar el formato de los datos de entrada para que la implementación del sistema informativo sea la más apropiada y de mayor calidad a nivel de estructura lógica y de procesamiento por parte del software.

La Geodatabase es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica, ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos (Microsoft Access, Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 e Informix).

Seguridad y Permisos: Seguridad del sistema operativo de archivos (Windows).

Ventajas:

- Utilizar una estructura de datos eficiente, optimizada para el rendimiento y el almacenamiento. Utilizan cerca de un tercio del almacenamiento de la geometría de entidades que requieren los Shapefiles y las geodatabases personales.
- Proporcionan fácil portabilidad y funcionan en todos los sistemas operativos.
- Son escalables, para poder manejar datasets de gran volumen.
- Proporcionar un excelente rendimiento y escalabilidad, por ejemplo, para admitir datasets individuales que contengan más de 300 millones de entidades y datasets que puedan escalar más de 500 GB por archivo con un rápido rendimiento.
- Pueden almacenar datos opcionalmente en un formato comprimido de sólo lectura para reducir los requisitos de almacenamiento.

Características de almacenamiento de las Variables de Entorno.

Almacenamiento de la información alfanumérica

La información alfanumérica se almacena en tablas con formato de Tabla de Geodatabase. Las tablas administran los atributos. Esto significa que almacenan información que relacionada con una entidad geográfica.

- Las tablas contienen filas, y cada fila es un registro. En una tabla espacial, cada fila representa una entidad (o varias, en el caso de entidad multiparte).
- Todas las filas de una tabla tienen las mismas columnas, denominadas campos. Son las categorías de información que contiene la tabla tales como nombres, áreas, estados o números de Id.
- Cada campo tiene un tipo de datos y un nombre.

Almacenamiento Vectorial

Dataset: es una colección de clases de entidades con la misma referencia espacial. Cada dataset se aloja como un archivo en disco cuyo tamaño puede escalar hasta 1 TB de tamaño. Toda clase de entidad almacenada en este contenedor, tendrá que tener el sistema de referencia espacial de éste.

Feature Class: es una colección de entidades geográficas que comparten el mismo tipo de geometría (tal como punto, línea o polígono) y los mismos campos de atributo para un área común.

Por defecto, cuando se crea una Feature Class, aparecen ya dos campos creados: el campo SHAPE agregado por defecto tendrá un tipo de datos del tipo de Geometría, y el campo ObjectID que garantiza un identificador único para cada fila en una tabla. El campo ObjectID, es una clave candidata en cada una de las tablas de la geodatabase, tanto en las espaciales como en las no espaciales, y es un campo propio del formato de Base de Datos Espacial.

Los nombres de la feature class deben ser únicos en una geodatabase: no se puede tener más de una clase de entidad con el mismo nombre.

Almacenamiento de las reglas de comportamiento

Dominios: valores permitidos para un campo. Se aplican a nivel de campo o subtipo y se definen a nivel de Geodatabase.

Subtipos: permiten dividir un elemento en subcategorías, tendrán todas las características de su padre más un conjunto de propiedades propias. Se aplican a nivel de Clase de Entidad.

Reglas de Relación: las clases de relación en la geodatabase administran las asociaciones entre los objetos de una clase (clase de entidad o tabla) y de otra. Los objetos en cualquier extremo de la relación pueden ser entidades con geometría o registros en una tabla. Nos permiten representar cualquier tipo de cardinalidad.

Además, para intercambiar y poder almacenar el esquema de la estructura de datos que almacene una Geodatabase tiene un archivo de configuración en formato XML que permite exportar e importar esquemas de clases de entidades y otros elementos. Un esquema define la estructura física de la geodatabase junto con las reglas, relaciones y propiedades de cada dataset residente en ella.

Definir e implantar un esquema práctico para una geodatabase son dos tareas de gran importancia en el diseño de un SIG, que a menudo requieren la creación de prototipos y la realización de pruebas de la propuesta de diseño.

4.2 Fuente de Datos

En los últimos años, los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una herramienta imprescindible en cualquier proyecto de investigación o trabajo aplicado. Sin embargo, uno de los escollos con los que se encuentran los usuarios de los SIG es el relativo a la disponibilidad y fiabilidad de los datos existentes, de ahí que antes de abordar cualquier proyecto GIS es necesario evaluar la información disponible, no sólo desde un punto de vista cuantitativo, sino también desde una óptica cualitativa.

Particularmente importante es determinar si la información está ya en formato digital, o si por el contrario su formato es analógico, lo que requerirá por parte de los usuarios un importante esfuerzo, en tiempo y recursos.

En términos generales, podemos afirmar que la Comunidad Autónoma Vasca tiene una amplia, rica y variada documentación cartográfica (y también de otro tipo), una parte importante de la cual está ya disponible en formato digital, aunque ello no quiere decir que esté libre de errores.

Además, un porcentaje importante de esta documentación, puede descargarse gratuitamente desde las páginas de las diversas Diputaciones Territoriales o desde la página Web del Gobierno Vasco. Dentro de la Comunidad Autónoma Vasca las direcciones en las que dicha información está disponible son las siguientes:

- <http://www.geoeuskadi.net>



Figura 18: Logo de Geoeuskadi.

Esta información abarca desde croquis, planos y mapas topográficos (a escalas que oscilan entre 1:500 y 1:400.000), hasta imágenes obtenidas mediante el uso de sensores remotos, pasando por cartografía temática (suelos, geología, geomorfología, unidades geomorfológicas, recubrimientos, formaciones detríticas superficiales, litología, vegetación, red hidrográfica, paisaje, pendientes, vías de comunicación, etc.), fotografías aéreas, ortofotos, ortoimágenes, cartoimágenes y modelos digitales de elevaciones



Figura 19: Directorio de datos del IDE de Euskadi.

A lo largo de este apartado vamos a reseñar los principales documentos cartográficos y fotográficos utilizados en las diferentes fases del GIS.

Pendiente y Orientación:

Un Modelo Digital de Elevaciones se define como una representación simplificada de la variable altimétrica de un territorio. Utilizando como elemento de partida las curvas de nivel y las cotas (también puede utilizarse una nube de puntos), junto con líneas de ruptura (vaguadas, interfluvios, líneas de cambio brusco de pendiente, etc.), se determina mediante algoritmos de interpolación la altimetría de todos los puntos no muestrales (son aquellos cuya cota queremos calcular) existentes en la zona.

El análisis del modelo nos permite obtener el mapa de pendientes y el mapa de orientaciones.

Fuente: Se ha obtenido del IGN (Instituto Geográfico Nacional).



Figura 20: Página de Inicio del Centro de descargas del IGN.

Formato de Ficheros: en formato ASCII.

Tamaño: 150 MB

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica: Ninguna.

Escala: tamaño del pixel 25x25 (MDT25), a una escala de 1:25.000

Espacio Naturales Protegidos: Como datos para este factor, son la delimitación de los Espacios Naturales Protegidos (ENP) de Euskadi, actualizados en el 2006 por el Geoportal del gobierno Vasco. Como figuras de protección, se han añadido 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 la Red Natura 2000.

Fuente: Se ha obtenido a partir de Geoesukadi y de Red Natura 2000.



Figura 21: Logo de Red Natura 2000.

Formato de Ficheros: en formato shapefile (formato nativo de ESRI).

Tamaño: 134 MB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica:

Escala: a escala 1:5.000 solo para la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Usos del Suelo:

Fotointerpretación sobre imagen de referencia Landsat TM en el año 1990, Landsat7 en el año 2000 e imágenes SPOT4 en el año 2006. Es una actualización del Corine Land Cover 2000 referida al año 2006 y la generación de una base de datos de cambios ocurridos durante los años 2000-2006, dentro del programa europeo GMES.

Fuente: Se ha obtenido a de Corine Land Cover 2006, descargado del IGN.

Formato de Ficheros: en formato shapefile (formato nativo de ESRI).

Tamaño: 12,6MB.

Sistema de Referencia Geodésico: ETRS89

Proyección Cartográfica: UTM

Escala: a escala 1:100.000

Vías de Comunicación: Datos sobre la red viaria y ferroviaria de Euskadi. Se actualiza mediante técnicas de fotointerpretación de ortofotos y recopilación de información en campo. Datos obtenidos de Geoesukadi y actualizados en el 2012.

Fuente: Se ha obtenido a partir de Geoesukadi.

Formato de Ficheros: en formato shapefile (formato nativo de ESRI).

Tamaño: 120 MB.

Sistema de Referencia Geodésico: ETRS89

Proyección Cartográfica: UTM

Escala: a escala 1:5.000

Red Eléctrica: Datos sobre la Red Eléctrica Española, descargados de Geoeuskadi y comprobada su información mediante la georreferenciación de un documento pdf, obtenido de la web de Red Eléctrica Española (REE). La escala del mapa de referencia es de 1:300.000.

Fuente: Se ha obtenido a partir de Geoesukadi.

Formato de Ficheros: en formato shapefile (formato nativo de ESRI).

Tamaño: 3,49 MB.

Sistema de Referencia Geodésico: ETRS89

Proyección Cartográfica: UTM

Escala: a escala 1:5.000

- Ubicación de Paneles Solares:

Ranking Solar (www.rankingsolar.com) y ProtermoSolar (www.protermosolar.com).

Buscadores de Parques solares de España, tanto instalaciones fotovoltaicas como instalaciones térmicas. Nos permiten hacer búsquedas por diferentes campos, como puede ser potencia generada o por Comunidad Autónoma....

Estas páginas web aportan información alfanumérica de las instalaciones, pero en ningún caso nos permite descargar información geográfica, por lo que tuvimos que digitalizar y crear nuestra base de datos que posteriormente incluimos en el SIG.

Fuente: Proceso de Digitalización sobre Imagen Satélite de Google Maps.

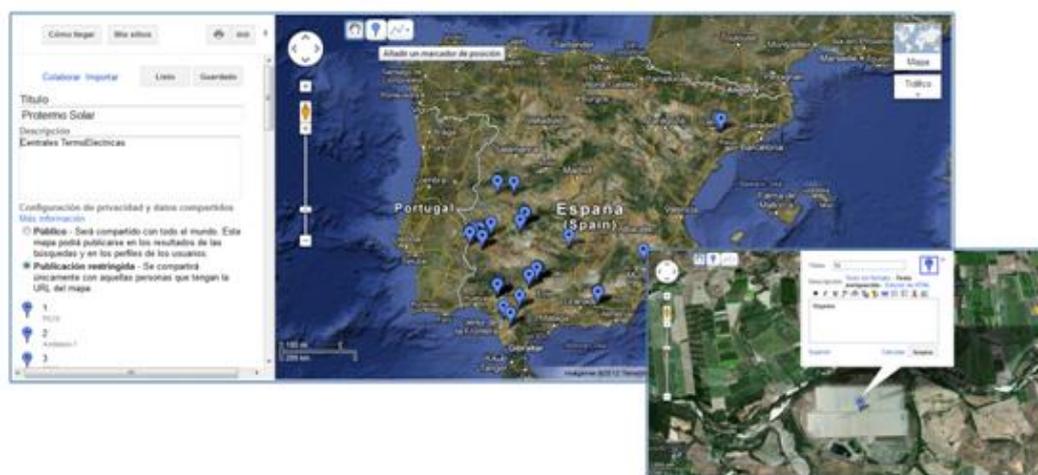


Figura 22: Proceso de Digitalización con Google Maps.

Formato de Ficheros: en formato *.kml (formato de Google Maps).

Tamaño: 61 KB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica:

Escala: Escala Variable en la digitalización.

-Ubicación de Parques Eólicos:

Asociación Eólica Empresarial, aee, (www.aeeolica.org).

Información alfanumérica en formato Excel (*.xls) de los parques Eólicos de España. Las ubicaciones son aproximadas, pero gracias a Google Maps nos fue posible la digitalización con una fiabilidad mayor a la aportada por la página.

Fuente: Proceso de Digitalización sobre Imagen Satélite de Google Maps.

Formato de Ficheros: en formato *.kml (formato de Google Maps).

Tamaño: 227 KB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica:

Escala: Escala Variable en la digitalización.

-Análisis de Fuentes del Recurso Solar:

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: SODA (Solar Radiation Data) y PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

SODA y PVGIS, aportaron información alfanumérica sobre la irradiación solar anual en plano horizontal.

Fuente: Descarga desde la aplicación PVGIS y de la página web de SODA. Se tomo una muestra de 56 valores. Dichos puntos de muestra se obtuvieron a partir de las coordenadas de latitud y longitud, que correspondían con las estaciones meteorológicas de Euskadi.

Formato de Ficheros: en formato *.txt.

Tamaño: 33,9 KB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica:

Escala: Ninguna

- Análisis de Fuentes del Recurso Eólico:

Para el análisis del recurso eólico fue necesario contar con información meteorológica diaria de 2011 y con las coordenadas en el Sistema de Referencia ETRS89 de las estaciones meteorológicas de Euskadi.

Fuente: Información alfanumérica, descargada de la página web oficial de meteorología de Euskadi, Euskalmet.

Formato de Ficheros: en formato Excel *.xls.

Tamaño: 1,48 MB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica:

Escala: Ninguna

- Mapa de Energía Urbana:

Para la realización del análisis de Energía Urbana Fotovoltaica, nos ha sido necesario información geográfica de las edificaciones y los tejados de Vitoria, además de un Modelo digital de elevación de la ciudad.

Fuente: Toda la información ha sido descargada de Geoeuskadi, IDE de Euskadi.

Formato de Ficheros: la capa de edificaciones estaba en formato shapafilere, mientras que el modelo digital de elevación se encontraba en un formato .ASCII

Tamaño: Edificaciones (24 MB) y MDE (150 MB)

Sistema de Referencia Geodésico: ETRS89

Proyección Cartográfica:

Escala: Edificaciones (1:5.000) y MDEH con un tamaño de pixel de 1x1m (1:1.000).

-Callejero: Descarga desde el IGN-Cartociudad de información geográfica con datos relacionados con el fondo urbano, vial, punto kilométrico, división Territorial y código Postal de la ciudad de Vitoria.

Fuente: IGN-CartoCiudad (www.cartociudad.es).



Figura 23: Logo de Cartociudad.

Formato de Ficheros: en formato shapefile (formato nativo de ESRI).

Tamaño: 29,6 MB.

Sistema de Referencia Geodésico: WGS84

Proyección Cartográfica: Ninguna.

Escala: A escala 1:1000.

4.3 Depuración de Datos y Edición

Para llevar a cabo el proyecto se ha reestructurado el formato de los datos de entrada para llevar a cabo la implementación de un sistema informativo más apropiado y de mayor calidad a nivel de estructura lógica y de procesamiento por parte del software.

Todo proyecto lleva implícito unos objetivos. Y Para comenzar a analizar y sacar conclusiones y soluciones para dichos objetivos, tendremos que migrar los datos en el formato que vengan a un formato propio software empleado. Como ya se ha mencionado anteriormente, el modelo de almacenamiento de datos espaciales escogido es el modelo de Geodatabase de archivos. Este modelo permite almacenar, además de elementos geográficos, el comportamiento de dichos elementos, lo que facilita la generación de una visión más completa de la realidad.

Una vez se ha obtenido la información, que ya de por sí es un proceso largo y complejo, hay que preparar esa información para que sea entendida por el SIG. Esto generará gran número de datos que se almacenarán en el directorio temporal de trabajo. Puesto que no son necesarios, no son condicionantes para ningún análisis y no se van a mostrar en los mapas y capas de los resultados finales, una vez terminado el proceso se borrarán.

Los datos originales venían con un sistema de referencia asignado. Esto ya evitó procesos de georreferenciación o ajuste espacial. Directamente, se llevará a cabo una transformación de sistemas de referencia.

A continuación se muestra un breve proceso de las conversiones realizadas para obtener las entidades en las diferentes geodatabases de archivos que hemos utilizado para poder estructurar mejor el proyecto de SIG.

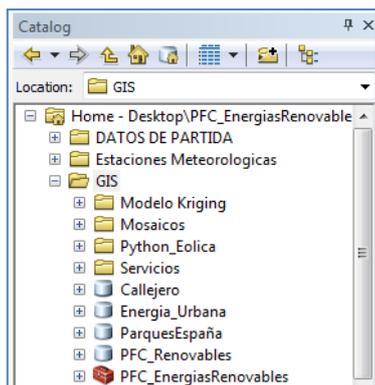


Figura 24: Estructura de datos del SIG.

- **ParquesEspaña.gdb**

El primer paso trata de convertir los datos obtenidos mediante un proceso de digitalización en Google Earth a datos nativos de ESRI.

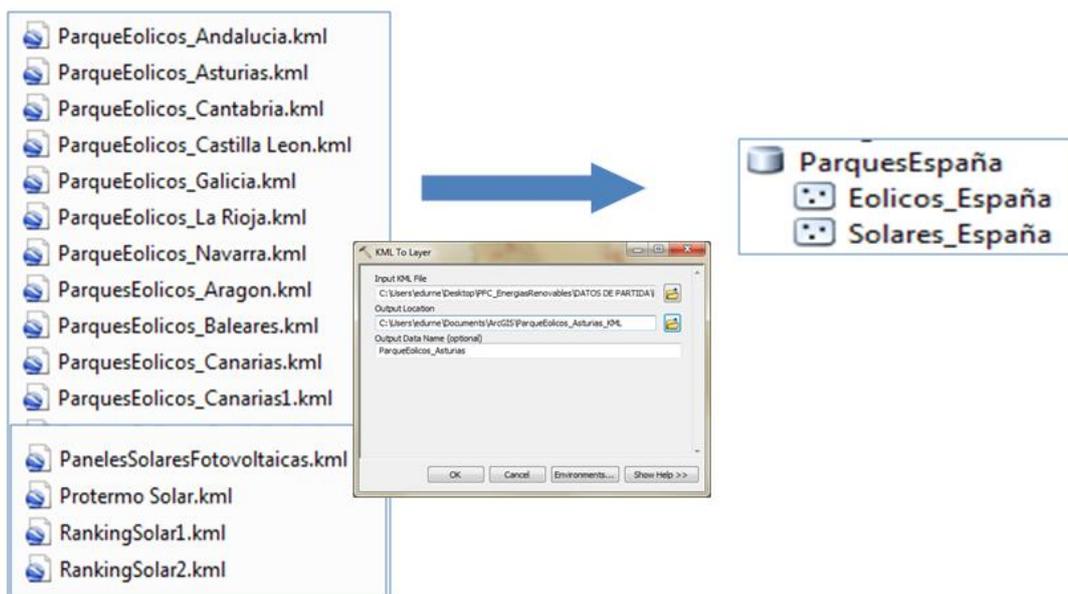


Figura 25: Proceso de conversión de datos en formato *.kml a Clase de entidad de ESRI.

Esta conversión se hizo por partes y posteriormente se unió toda la información geográfica de eólicas por un lado y de solar por el otro, mediante la herramienta *MERGE*.

Posterior a la unión se creó un esquema de tabla para cada una de las Clases de Entidad creadas. Quedando dichas tablas con los siguientes atributos.

The screenshot shows a table viewer window titled 'Table' with a sub-header 'Parque Solar'. The table has the following columns: Municipio, Potencia Mw, Almacenamiento, CO2 Evitado T, Ha Ocupada, Tecnología, Tipo, Fuente, Fiabilidad, Cord, Observacio, Imagen, ProduccionEstimada GWh ano, and Shape *. There are two rows of data visible.

Municipio	Potencia Mw	Almacenamiento	CO2 Evitado T	Ha Ocupada	Tecnología	Tipo	Fuente	Fiabilidad	Cord	Observacio	Imagen	ProduccionEstimada GWh ano	Shape *
Abenogar	5	<Nul>	<Nul>	24	<Nul>	Fotovolta	Ranking s	<Nul>	<Nul>	<Nul>	http://www.rankingsolar.com/	<Nul>	Point
Abertura	23,1	<Nul>	<Nul>	178	<Nul>	Fotovolta	Ranking s	<Nul>	<Nul>	<Nul>	http://www.rankingsolar.com/	<Nul>	Point

Tabla 3: Esquema de tabla utilizado para los Paneles Solares de España. (SOLARES_ESPAÑA)

The screenshot shows a table viewer window titled 'Table' with a sub-header 'Parques Eolicos'. The table has the following columns: OBJECTID*, Shape*, Nombre, Empresa, CCAA, Provincia, Municipio, PotTot Mw, Aerogenera, PotUnit Kw, Fabricante, Modelo, Tecnología, Fuente, Estado, Fiabilidad, and Observacio. There are three rows of data visible.

OBJECTID*	Shape*	Nombre	Empresa	CCAA	Provincia	Municipio	PotTot Mw	Aerogenera	PotUnit Kw	Fabricante	Modelo	Tecnología	Fuente	Estado	Fiabilidad	Observacio
20	Point	Entredicho	IBERDROLA	Aragon	Zaragoza	Fuendetodos	36	18	2000	GAMESA	G-80	DFIG	AEE			
1	Point	Puerto Escan	MOLINOS DE	Aragon	Teruel	Puerto de Esc	26	13	2000	GAMESA	G-90	DFIG	AEE			
2	Point	Riores	EOLICA DEL	Aragon	Huesca	Riores	24	10 y 3	1800 y 2000	VESTAS	V90	DFIG	AEE			

Tabla 4: Esquema de tabla utilizado para los Parques Eólicos de España. (EOLICOS_ESPAÑA)

Debemos destacar que a la Geodatabase se le aplico un dominio de provincias para cada Comunidad Autónoma de España, con esto se pretendió restringir el atributo CCAA a los 17 valores que existen, sin posibilidad de meter una CCAA inexistente.

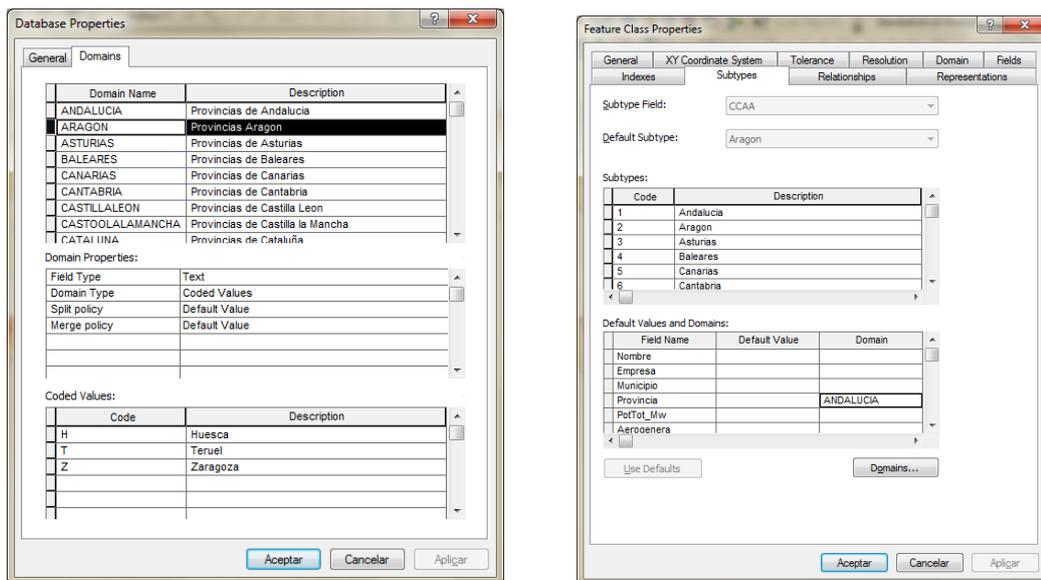


Figura 26: Dominios de ParquesEspaña.gdb y Subtipos de la Clase de entidad EOLICO_España.

Aparte para cada Clase de entidad se realizó un subtipo que se asocio con el atributo “Provincias”.

- **PFC_EnergiaRenovable.gdb**

Toda la información fue descargada gracias a la infraestructura de datos Espaciales del País Vasco.

Se realizó una conversión entre formatos nativos de ESRI, mediante la herramienta “Feature Class to Geodatabase (múltiple)”. De esta forma se importaron los diferentes Shapefiles. La estructura de la Geodatabase quedo como se observa en la imagen de abajo.

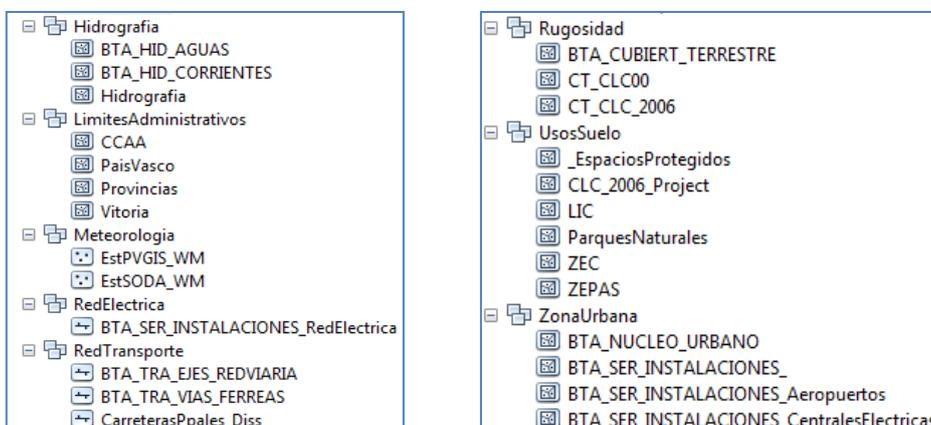


Figura 27: Estructura de partida de PFC_EnergiaRenovable.gdb

Se puede observar que la Geodatabase está constituida con varios Datasets, un Dataset de entidad es una colección de clases de entidad relacionadas que comparten un sistema de coordenadas común. Los datasets de entidades se utilizan para integrar espacial o temáticamente clases de entidad relacionadas.

Aparte de los datos de partida obtendremos, a partir de varios geoprocесamientos, unas clases de entidad resultado, que nos aportaran información sobre la idoneidad en la ubicación de instalaciones solares y eólicas.

Estos geoprocесamientos serán explicados minuciosamente en otros apartados a posteriori. Ahora solo destacaremos que fueron guardados en una Caja de Herramientas

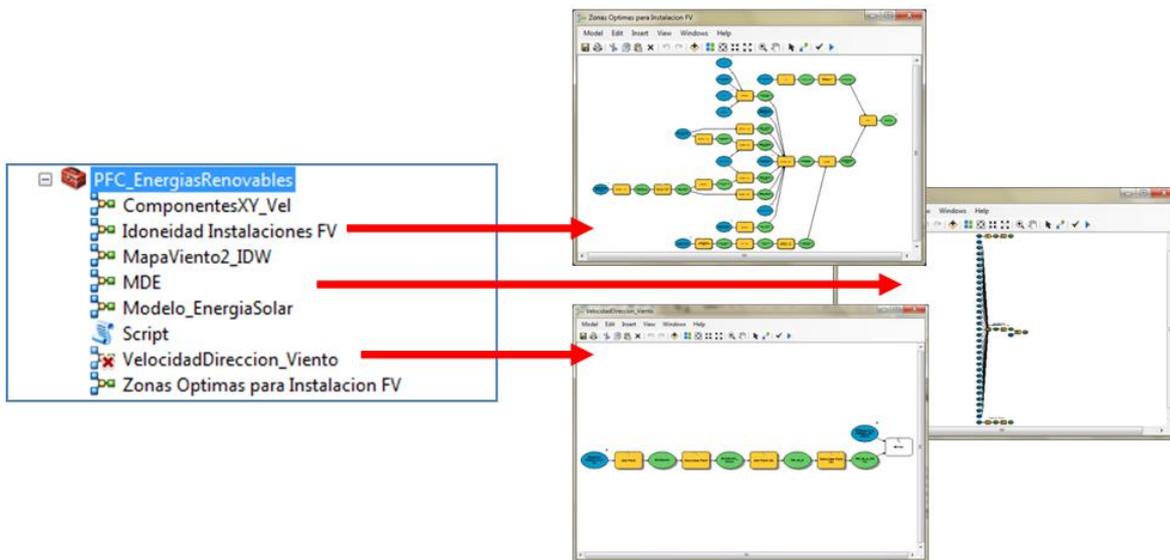


Figura 28: Almacenamiento de Geoprocесamientos.

Todos estos geoprocесamientos dan como resultado diversas capas de entidad, unas cuantas no serán más que capas intermedias, las cuales no guardaremos en la Geodatabase, y otras las utilizaremos a continuación. Estas capas resultado formaran el visor, objetivo final del proyecto, y sobre ellas podremos realizar consultas.

- **Energia_Urbana.gdb**

Esta Geodatabase tiene como extensión la ciudad de Vitoria, que es donde se ha centrado nuestro análisis sobre energía solar urbana.

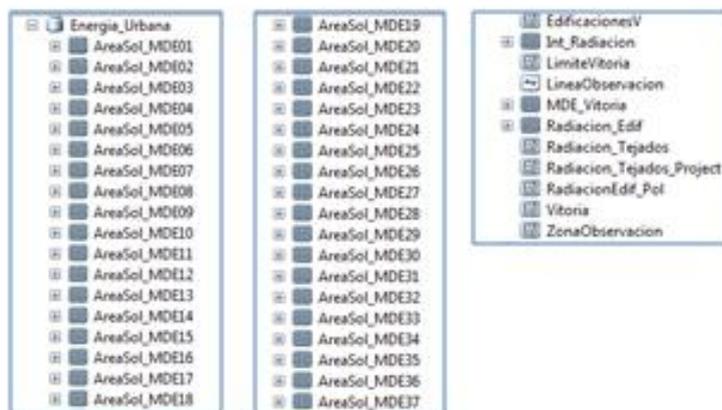


Figura 29: Estructura de Energia_Urbana.gdb

Esta geodatabases está constituida principalmente por el Modelo Digital de Elevación de Vitoria, que al tener una resolución tan elevada se ha descargado en 37 rasters, debido al tamaño que abarcaban los datos y su posterior procesamiento.

Este Modelo Digital de Elevación fue descargado en un formato *.ASCII, el cual tuvo que ser convertido a ráster mediante la herramienta “ASCII to raster”.

5. GENERACIÓN DEL GIS

5. GENERACION DEL SIG

Este capítulo trata de exponer los diferentes análisis llevados a cabo en ArcMap para obtener las capas se publicarán en el servidor para que los usuarios puedan acceder a ellas.

Primero explicaremos el análisis eólico y solar realizado en el País Vasco y a continuación el análisis para obtener la radiación que recibe cada una de las cubiertas de los edificios de Vitoria.

5.1 Análisis del País Vasco.

5.1.1. Idoneidad de Parques Eólicos

El viento es un movimiento del aire desde áreas de presión más altas hacia áreas de baja presión. La existencia de viento pone a nuestro alcance una energía totalmente renovable, la energía eólica, una de las más antiguas empleadas por el hombre.

En el pasado, el viento solamente era utilizado para ser transformado en energía mecánica, tales como extracción de agua o en molinos de harina. Hoy día su aplicación más extendida es la generación de electricidad, ya que ésta puede ser fácilmente distribuida y empleada con fines de diversa utilidad.

Esta parte del proyecto trata de obtener la información necesaria para la elección del lugar idóneo de un parque eólico y así aprovechar este tipo de energía.

¿Cómo se genera la energía eléctrica a partir del viento?

El viento pasa sobre las aspas del aerogenerador y provoca la fuerza giratoria. Las palas hacen rodar un eje que hay dentro de la góndola, que entra a una caja de cambios. La caja de cambios incrementa la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor en el multiplicador e impulsa el generador que utiliza campos magnéticos para convertir la energía rotacional en energía eléctrica.

A continuación, la energía pasa por un transformador para adaptarla al voltaje necesario de la red de distribución, generalmente de entre 20 y 132 kilovoltios. Las redes regionales de distribución eléctrica reparten la energía por todo el país, tanto para hogares como negocios.

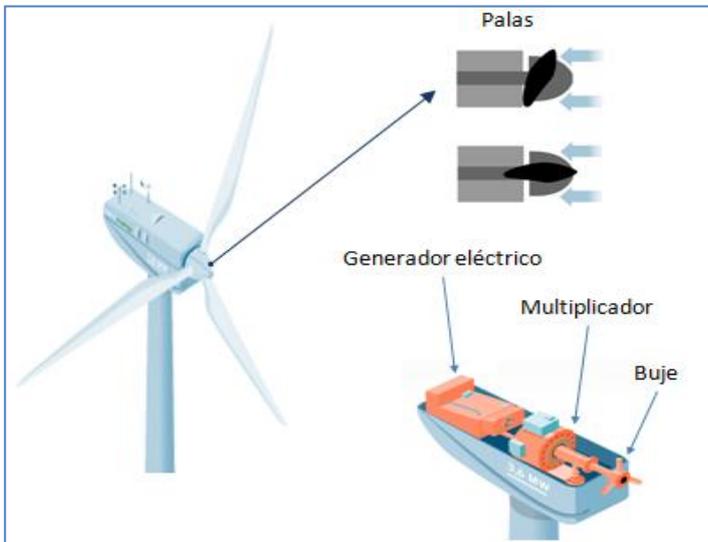


Figura 30: Parte interior de un aerogenerador. Fuente: Youtube. Elaboración Propia.

Los aerogeneradores tienen en su parte superior dos instrumentos que miden la velocidad (anemómetro) y la dirección (veleta) del viento. Cuando el viento cambia de dirección, los motores giran la góndola y las palas se mueven con ella para ponerse de cara al viento. Las aspas también se inclinan o se ponen en ángulo para asegurar que se extrae la cantidad óptima de energía a partir del viento.

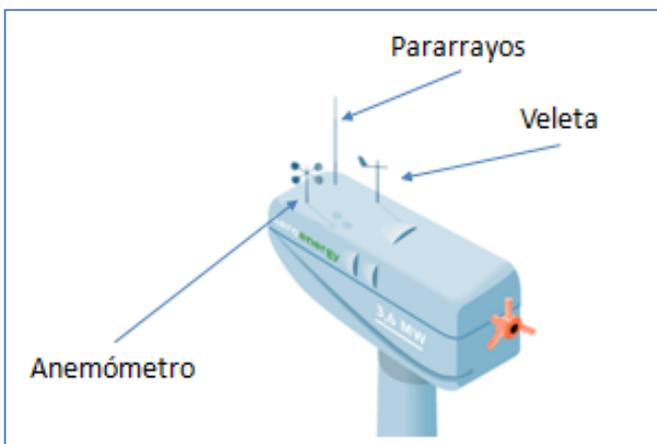


Figura 31: Sensores de un aerogenerador. Fuente: Youtube. Elaboración propia

Fundamentos físicos

La energía eólica está asociada a la masa de aire en movimiento. Por lo tanto el aerogenerador producirá más o menos electricidad según la potencia del aire generado por la energía cinética del viento.

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot m \cdot V^2$$

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot [\rho_{aire} \cdot Vol_{aire}] \cdot V^2$$

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho_{aire} \cdot A \cdot x \cdot V^2$$

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho_{aire} \cdot A \cdot V \cdot t \cdot V^2$$

$$P_{AIRE} = E_c/t = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho_{aire} \cdot A \cdot V^3$$

Siendo:

E_c = Energía cinética

m = Masa del aire

V = Velocidad del viento

ρ_{aire} = Densidad del aire

Vol_{aire} = Volumen de la masa de aire que pasa por el aerogenerador.

t = Tiempo que transcurre la masa del viento por el aerogenerador

Sin embargo, según la Ley de Betz, no toda la potencia es aprovechable por una turbina eólica, “Sólo puede convertirse como máximo 16/27 (alrededor del 60%) de la energía cinética del viento en energía mecánica utilizando un aerogenerador”. Este porcentaje de aprovechabilidad de la potencia se ha incrementado con la evolución de la tecnología utilizada en los aerogeneradores. No obstante, debemos fijarnos en el coeficiente de potencia C_p , característico de cada uno si queremos adquirir una de estas instalaciones.

$$P_{aerogenerador} = C_p \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho_{aire} \cdot A \cdot V^3$$

En función del molino

En función del aire de la zona

La fórmula anterior refleja lo que hay que valorar para el diseño de un parque eólico. Teniendo en cuenta que la potencia obtenida varía con respecto al cubo de la velocidad del viento, se deduce que es fundamental elegir una ubicación adecuada. Observando la fórmula vemos que se obtendrá un mayor rendimiento en los lugares de mayor velocidad (además una velocidad constante mejora ese rendimiento).

También sabemos que la velocidad aumenta con la altura, mientras que las zonas obstáculos interfieren y alteran su potencia y dirección.

Otro punto de importancia radica en la estabilidad que presente el viento; dado que se pueden presentar situaciones de variaciones imprevistas que harán arrancar y parar el molino alternativamente, se diseñan con ciertas características de aprovechamiento, que dependen del régimen máximo y mínimo de rotación. Por ello, por debajo del régimen mínimo el sistema dejará de generar energía, pues podría darse el caso que la que generase fuese inferior a la que consumiese, dando un rendimiento negativo.

Por otro lado, un régimen excesivo no generará mayor energía, con objeto de mantener la máxima linealidad; este hecho es evidentemente un desperdicio de energía, que se descarta a favor de la máxima estabilidad del sistema. En caso de niveles de viento excesivo, el molino suele desactivarse para evitar que el esfuerzo de los dispositivos terminen por destruirlo.

Tampoco hay que olvidar que, al igual que en la elección del lugar para cualquier instalación de esta dimensión, hay que tener en cuenta a la población, los lugares protegidos, las características del terreno y la accesibilidad a la zona. En los siguientes apartados del capítulo se explica cómo se ha modelado la velocidad del viento y las restricciones tenidas en cuenta para obtener información de utilidad dirigida a empresas u organismos interesados en las instalaciones de energía eólica.

5.1.1.1 Análisis del recurso eólico

En primer lugar se debe generar un modelo del recurso en la zona de estudio, el País Vasco. Concretamente se necesita conocer la velocidad del viento a la altura de los aerogeneradores ya que son estos los que transformarán la energía mecánica del viento en energía eléctrica.

En el mercado existen diferentes programas para la realización de mapas eólicos como por ejemplo el MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), utilizado

por el IDAE, un modelo numérico de predicción del estado de la atmósfera que ha sido desarrollado en los últimos 20 años por el Meso Inc. como herramienta de investigación y como plataforma de generación de productos meteorológicos comerciales. Otro ejemplo es el WASP, herramienta muy común en la industria de la energía eólica para simular el flujo que sigue el viento sobre el terreno y estima la producción de energía.

Estos sistemas requieren procesadores de gran potencia de cálculo y una gran capacidad de almacenamiento para generar mapas eólicos en un tiempo razonable. Por ello se decidió hacer un estudio del recurso y llevar a cabo un análisis geográfico con el programa ArcGIS.

Antes de representar el fenómeno, es importante hacer notar la diferencia entre los vientos de altura, es decir, los formados en las capas altas de la atmósfera y debidos a la circulación general de la atmósfera, y los vientos de superficie, más relacionados con las condiciones locales del clima y con la topografía y lo accidentado del terreno.

Además, la velocidad del viento real, lo que realmente interesa del recurso, es la resultante de varias fuerzas llamadas: viento de gradiente (proporcional al gradiente barométrico), fuerza geostrófica (debida a la rotación de la Tierra y al efecto de Coriolis o que resulta de ella), fuerza ciclostrófica (fuerza centrífuga que actúa, sobre todo, sobre los vientos ciclónicos de fuerte curvatura) y por último la fuerza de Fricción o Rozamiento que empieza a actuar cerca de la superficie terrestre hasta que llega a altitudes aproximadas de 500 a 1.000 m, donde se encuentra el límite de fricción atmosférica.

Considerando lo anterior y sabiendo que los aerogeneradores de los parques eólicos no superan los 500 metros de altura, se deduce que para modelar el fenómeno no sólo debemos de tener en cuenta el relieve del terreno sino también la fuerza de rozamiento, es decir el tipo de suelo o terreno de la zona geográfica donde queramos representar el viento.

A continuación se explica el método utilizado para representar el fenómeno a la altura de los aerogeneradores a lo largo de toda la extensión del País Vasco, partiendo de datos de estaciones meteorológicas puntuales.

Datos de partida

Se descargaron datos diarios de velocidad y dirección del viento, de todas las estaciones meteorológicas del País Vasco. Además datos de 3 estaciones meteorológicas externas a la comunidad para poder interpolar valores en las zonas cercanas a los límites del área considerada. En total se dispone de las siguientes 53 estaciones meteorológicas.

Todos los datos cumplen las recomendaciones de la Organización Mundial Meteorológica (OMM). Según ésta, la dirección se debe indicar en grados a partir del Norte geográfico y en el sentido de las agujas del reloj. La dirección del viento es aquella desde la que sopla, y se redondea a la decena de grados más próxima, dentro de una rosa de los vientos de 36 direcciones. La unidad en la que se obtuvo la velocidad del viento fue m/s.

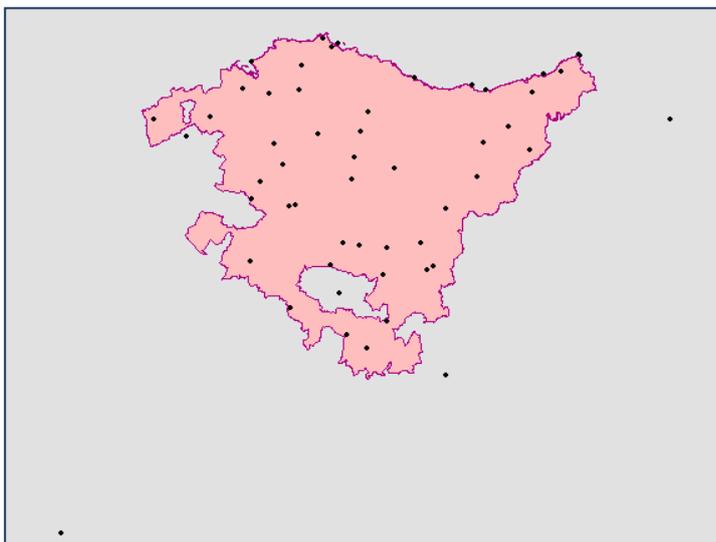


Figura 32: Estaciones Meteorológicas. Fuente: Euskalmet y AEMET

Para poder ubicar las estaciones en ArcMap, consultamos sus coordenadas y creamos una tabla que luego importamos a ArcMap para obtener una clase de entidad con el nombre de cada estación y sus coordenadas correspondientes.

Por otro lado, los datos meteorológicos de dirección y velocidad del viento de cada una de las estaciones eran diarios y para nuestro estudio lo que necesitamos son datos anuales, ya que se trata de instalar un parque eólico.

'Otxandio C054S'				
	Estacion	Día	Direccion Mensual	Velocidad Km/h
	Otxandio C054	01/01/2011	331	4
	Otxandio C054	02/01/2011	322	7,6
	Otxandio C054	03/01/2011	308	3,9
	Otxandio C054	04/01/2011	115	5,5
	Otxandio C054	05/01/2011	100	9
	Otxandio C054	06/01/2011	121	9,8
	Otxandio C054	07/01/2011	134	9,8
	Otxandio C054	08/01/2011	142	10,1
	Otxandio C054	09/01/2011	314	5,1
	Otxandio C054	10/01/2011	116	7,7
	Otxandio C054	11/01/2011	324	8,2
	Otxandio C054	12/01/2011	171	3,8
	Otxandio C054	13/01/2011	144	4,6
	Otxandio C054	14/01/2011	117	4,7
	Otxandio C054	15/01/2011	129	4,1
	Otxandio C054	16/01/2011	89	5,8
	Otxandio C054	17/01/2011	117	7,2
	Otxandio C054	18/01/2011	302	2,4

Tabla 5: Datos meteorológicos diarios del año 2011 de la estación de Otxandio. Fuente: Euskalmet. Elaboración Propia

Para calcular la moda anual de la dirección y la media de la velocidad e incorporar esos dos valores a la tabla de las estaciones meteorológicas junto con sus coordenadas, generamos un script con Python (Anexo 1). A continuación se muestra la tabla de las estaciones meteorológicas:

OBJE	Shap	Estacion	Longitud	Latitud	Altitud	Velocidad	Direccion
1	Punt	Alegria C056	538992	4743676	545	2,110806	180
2	Punt	Almike C069	521784	4806788	106	3,113706	135
3	Punt	Altube C035	510880	4757063	618	1,833562	135
4	Punt	Arboleda C061	494632	4793763	329	3,474435	45
5	Punt	Arkaute I C001	530608	4744631	517	1,873092	135
6	Punt	Arrasate C023	541442	4768876	318	1,352411	180
7	Punt	Beluntza C025	508785	4756755	687	4,987943	135
8	Punt	Berastegui C026	582965	4775170	379	1,972375	135
9	Punt	Bidania C058	568815	4777366	592	2,741835	135
10	Punt	Cerroja C065	467000	4784172	677	4,10699	135
11	Punt	Derio C003	512000	4793400	30	1,863629	135
12	Punt	Deusto C039	502705	4792288	3	3,184447	90
13	Punt	Espejo C034	496749	4739452	504	1,993819	180
14	Punt	Gasteiz C040	525491	4745317	546	2,464286	180
15	Punt	Herrera C048	526714	4716209	1188	4,6904	225
16	Punt	Higer C018	597528	4805073	43	2,888965	90
17	Punt	Igorre C033	517659	4779523	150	2,155525	135

Tabla 6: Muestra de la tabla de las estaciones meteorológicas después de ejecutar el script de Python.

Componente x e y del vector viento

Las interpolaciones llevadas a cabo por los sistemas de información geográfica están basadas en variables escalares. Por ejemplo, en la interpolación de temperaturas a partir de datos de una serie de estaciones meteorológicas sobre un área de estudio tan solo se debe considerar el valor de esa magnitud. Sin embargo, al representar fenómenos vectoriales, en los que influye no solo la magnitud de la variable sino también su sentido y dirección, como es el caso del viento, se complica la interpolación

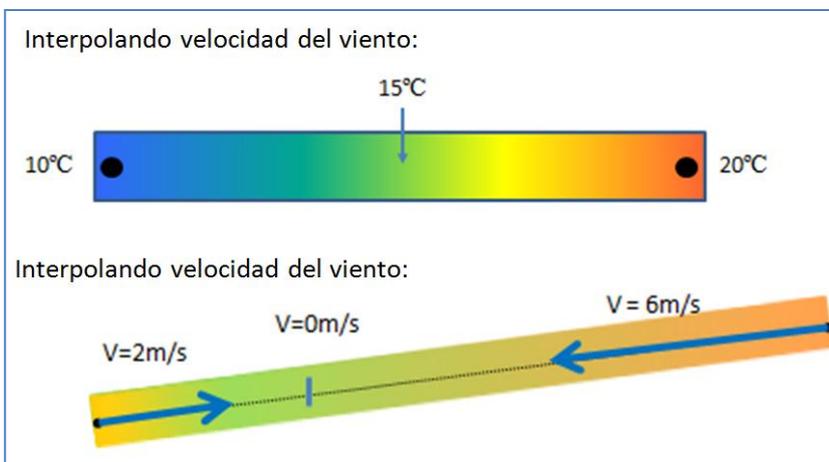


Figura 33: Interpolación de una variable vectorial y una variable escalar. Elaboración Propia.

El vector del viento se compone de dirección y sentido (el valor de la dirección del viento) y una magnitud escalar (la velocidad). Para poder interpolar en ArcGIS, descomponemos el vector en su componente *y* y su componente *x*. Después de interpolar se calculará, a partir de las superficies ráster resultado, la superficie continua de velocidad del viento.

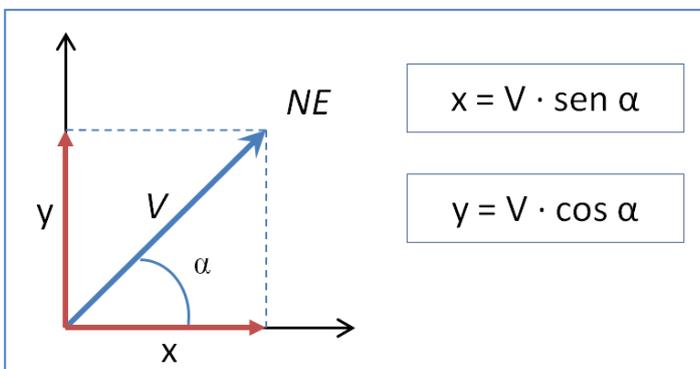


Figura 34: Descomposición del vector del viento. Elaboración propia.

Interpolación

Descompuesto el vector del viento en cada una de las estaciones, debemos elegir la interpolación adecuada para el fenómeno. Después de investigar diferentes documentos, no hemos encontrado ningún documento oficial que explique cómo interpolar el fenómeno que nos ocupa a partir de datos de estaciones puntuales mediante herramientas SIG de análisis espacial. Hemos considerado dos métodos:

A) Método *Inverse Distance Weighted* (IDW)

Propuesto por Diego González Ferreiro y Joaquín Bosque Sendra, del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá.

La interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW, en sus siglas en inglés) determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, es decir, este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra.

La utilización de este método de interpolación se debe a que parece razonable que las estaciones meteorológicas que se encuentren más alejadas del punto de cálculo tengan menos influencia que las más próximas.

Se establecieron los siguientes parámetros en el cálculo de la interpolación:

- Factor de ponderación $\text{peso}(d) = \frac{1}{d^p}$

El exponente p , que afecta a la distancia, tiene el efecto de disminuir, al hacerse más grande, la influencia que en el cálculo de la interpolación ejercen los puntos muestrales más alejados del punto a calcular. Se eligió un factor de potencia $p=2$.

- Tamaño de la **vecindad**

El tamaño de la vecindad determina el número de puntos que deben ser incluidos para obtener la interpolación sobre un punto determinado. Este tamaño de la vecindad se puede especificar por medio de un radio alrededor del punto a interpolar, a través de un número determinado de puntos más cercanos o combinando ambas posibilidades. En nuestro caso, hemos

especificado una cantidad de 10 puntos, los más próximos, para realizar la interpolación.

A continuación se muestran los resultados de la interpolación de las dos componentes y el resultado final de la Velocidad del viento.

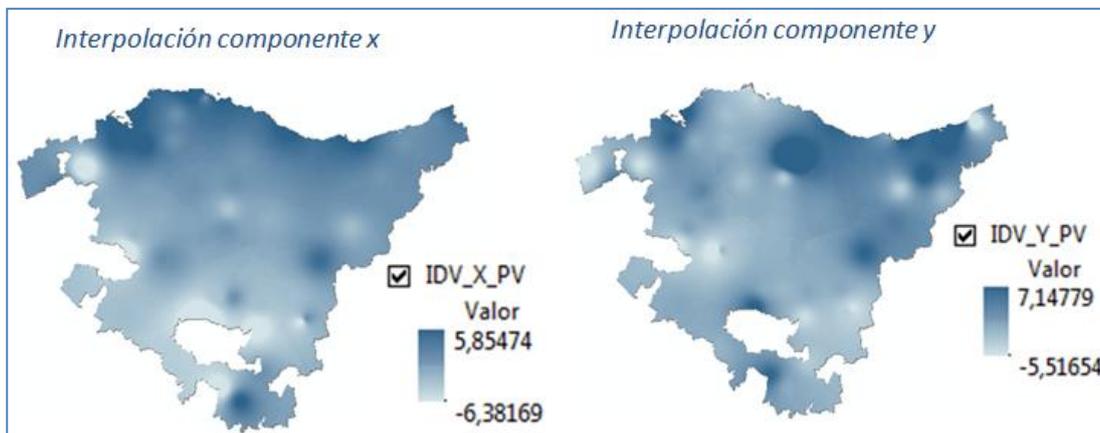


Figura 35: Interpolación de las componentes x e y del vector viento con IDW. Elaboración propia

A partir de estas dos superficies ráster se genera la superficie continua de la velocidad del viento con la calculadora ráster de ArcGIS.

$$V = \sqrt{x^2 + y^2}$$

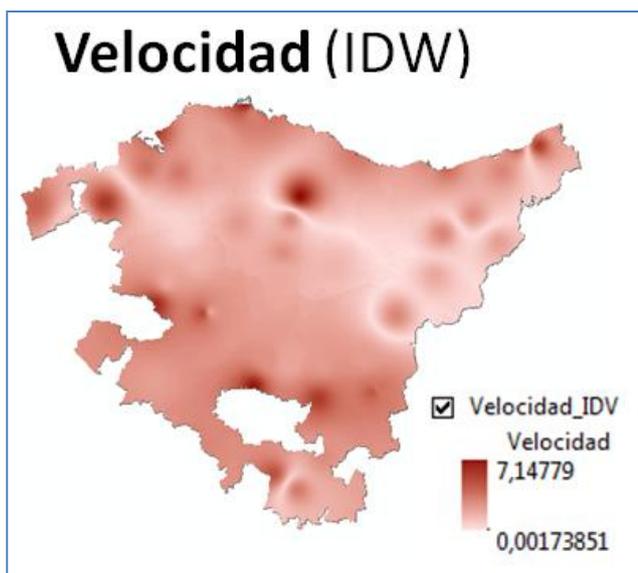


Figura 36: Velocidad del Viento, interpolada con IDW. Elaboración propia.

B) Método **Path Distance Allocation**: Considera el relieve y el tipo de terreno

Esta herramienta calcula la fuente más cercana a cada celda en función del coste acumulativo teniendo en cuenta también la distancia en superficie. Se obtiene una superficie ráster que representa las zonas en las que se dispersaría una variable puntual teniendo en cuenta una superficie de costes. A cada una de estas zonas generadas se le asigna el valor de la variable puntual.

En nuestro caso, queremos saber cómo se distribuye el viento en el País Vasco a partir de los valores de las estaciones meteorológicas. Debemos considerar el relieve de la zona a la hora de ver por dónde se dispersa el valor de las estaciones meteorológicas (los valores de las componentes x,y del viento) ya que, como se ha dicho anteriormente, las montañas u obstáculos geográficos similares influyen en la forma en la que se dispersa el viento. Esto se hace evidente en las zonas de valle donde el viento aumenta su velocidad longitudinalmente y en cambio no hay apenas flujo de corriente en sentido transversal. Igualmente debemos considerar el tipo de terreno que haya en la superficie del área de estudio ya que el viento discurre más rápido sobre hielo o agua que sobre edificios o árboles.

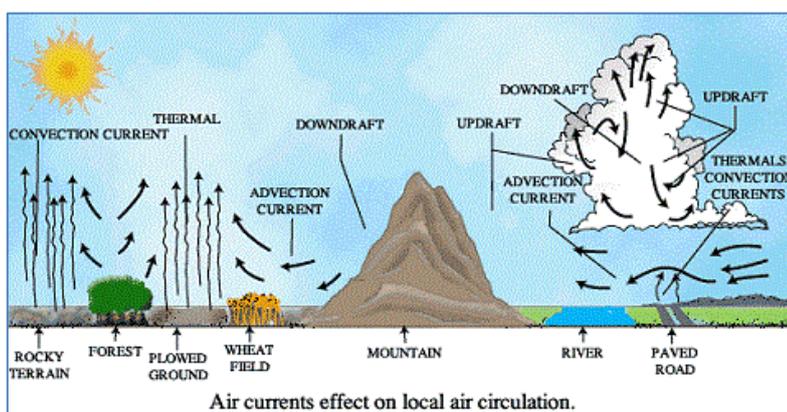


Figura 37: Imagen que muestra factores que influyen en las corrientes de aire.

Además la herramienta deja incorporar factores horizontales y verticales. Los factores horizontales influyen en el coste total, o dificultad, para moverse de una celda a otra teniendo en cuenta cualquier elemento de fricción horizontal. En nuestro análisis hemos considerado oportuno añadir como factor horizontal la dirección del viento.

En resumen, estos fueron los valores considerados para los parámetros de la herramienta:

- Datos fuente: Las estaciones meteorológicas
- Campo que dará valor a las zonas generadas por la herramienta: Las componentes x, y del vector del viento. Ejecutando la herramienta primero con el valor de x y luego con el valor de y.
- Ráster de superficie de entrada: Modelo Digital del Terreno del País Vasco.
- Ráster de coste: Superficie continua con los valores de rugosidad asociados a cada uno de los tipos de suelo que hay a lo largo de toda la comunidad.

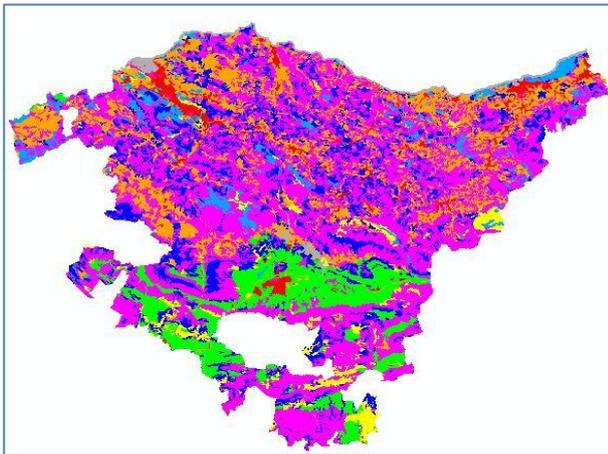


Figura 38: Superficie de tipos de suelo

- Factor horizontal: Superficie ráster de la dirección del viento. Esta superficie se calculó previamente con esta misma herramienta (ejecutándola sin factor horizontal) para obtener un valor aproximado para cada punto de la zona de estudio.

A continuación se muestran los resultados de la interpolación de las dos componentes (x,y) y el resultado.

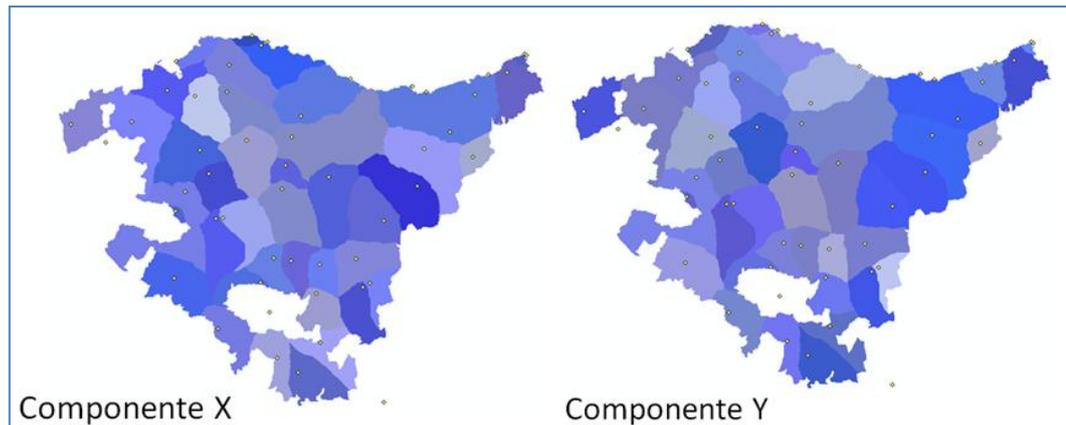


Figura 39: Resultado de ejecutar Path Distance Allocation con las componentes x e y del vector viento.
Elaboración propia.

A partir de estas dos superficies ráster se genera la superficie continua de la velocidad del viento con la calculadora ráster de ArcGIS.

$$V = \sqrt{x^2 + y^2}$$

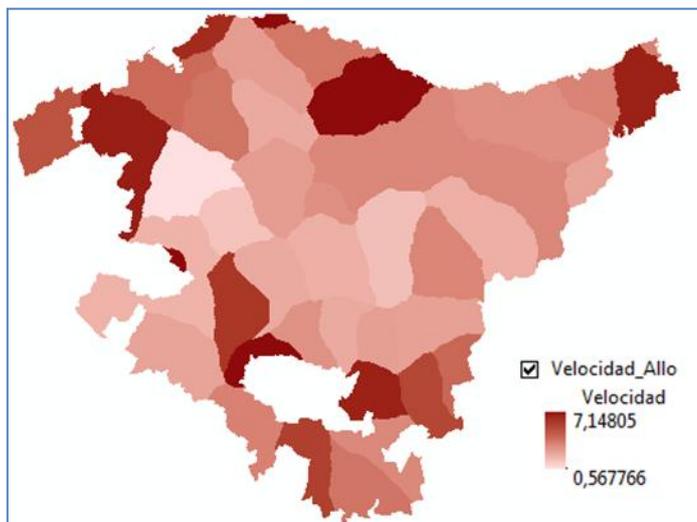


Figura 40: Velocidad del Viento, resultado con Path Distance Allocation. Elaboración propia.

De los dos resultados obtenidos escogemos el resultado de la **Interpolación por el Inverso de la Distancia (IDW)** porque es un método propuesto por la Universidad de Alcalá y, aunque a la hora de interpolar no tenga en cuenta el terreno, es posible que a 80 metros de elevación, la altura media de un aerogenerador, no influya tanto como a nivel de suelo.

No obstante, se debe recalcar que sería más preciso cualquier calcular un mapa eólico con los programas mencionados al inicio de este capítulo.

Cálculo del mapa eólico a la altura de los aerogeneradores

Elegido el método de interpolación, hemos calculado la velocidad del viento a la altura de las estaciones meteorológicas. Los aerogeneradores se sitúan encima de la torre y ésta suele medir alrededor de 80 metros de altura, por lo tanto tenemos que calcular la velocidad del viento (V) a la altura de los aerogeneradores a partir del mapa de velocidad calculado previamente (V_o).

Para ello hemos cogido la fórmula que recomienda el ministerio de industria y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):

$$V(h) = V_o \cdot \left(\frac{h}{h_o}\right)^\alpha$$

Siendo:

$V(h)$: La velocidad del viento a la altura del aerogenerador.

V_o : La velocidad de la que partimos, a la altura de las estaciones meteorológicas.

h : Altura a la que está el aerogenerador, y por ende dimensión de la torre.

h_o : Altura de las estaciones meteorológicas

α : Factor de rugosidad del terreno

El factor de rugosidad de terreno se elaboró asignando los siguientes valores a cada uno de los tipos de suelo y transformando la entidad vectorial a superficie ráster.



Figura 41:
Aerogenerador

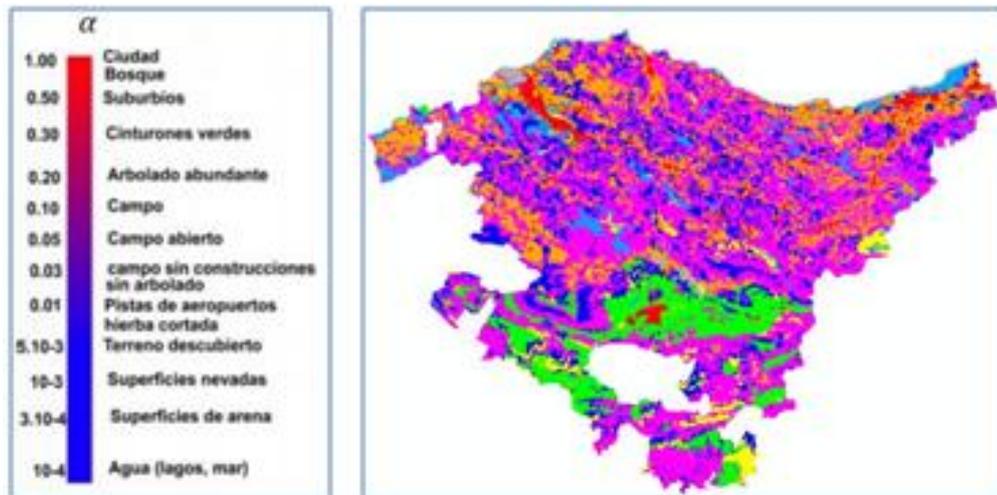


Figura 42: Tabla de valores de rugosidad asignados

Aplicando la fórmula anterior con la calculadora ráster de ArcGIS, obtenemos la superficie ráster de la velocidad del viento con valores de 0 a 32 m/s:

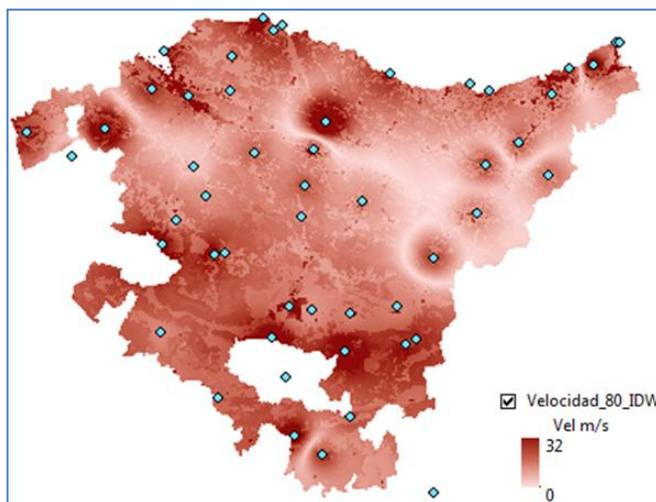


Figura 43: Imagen del mapa eólico con las estaciones meteorológicas.

Como referencia para futuros proyectos aconsejamos el mapa eólico del IDEA, que utiliza los potentes programas que se señalan al principio del capítulo:



Figura 44: Mapa eólico del País Vasco. Fuente: IDAE

5.1.1.2 Restricciones

En 2001, Tim Barry y Serwan M.J. Baban, PhD e investigador en la escuela de Ciencias Ambientales de Reino Unido, publicaron un estudio sobre la *evaluación de emplazamientos para parques eólicos en UK* tomando como base un sistema de información geográfica. Según éste, el incremento de la producción de electricidad con energía eólica no se debe sólo a la mejora de la tecnología sino también a la mejora en la localización de los parques eólicos.

El estudio de la localización del parque no sólo debe basarse en la viabilidad económica de la instalación, sino también en la reducción de los impactos ambientales locales (intrusión visual y acústica, interferencias electromagnéticas y posibilidades de colisión de aves). Por lo tanto, no sólo debemos tener en cuenta el recurso natural sino también restricciones tanto ambientales como económicas. En este proyecto, los criterios restrictivos se han desarrollado en base e este estudio de Reino Unido adaptando los criterios a las características del País Vasco.

Tim Barry y Serwan M.J. Baban realizaron una encuesta a 60 agencias públicas y 12 empresas privadas del sector de la energía eólica de Reino Unido a fin de identificar los criterios, políticas y factores utilizados por diversas organizaciones para la identificación de áreas de aprovechamiento eólico.

Los resultados mostraron que el primer grupo, las agencias públicas, destacan la proximidad a las áreas residenciales, el ruido, la topografía, aspectos ecológicos, la clasificación del suelo agrícola, las áreas de conservación y la distancia a la red eléctrica. Sin embargo, las principales restricciones de los promotores eran la velocidad del viento, el terreno sobre el que está construido el parque, la proximidad a las carreteras y el ruido. Como se puede apreciar, existen ciertas diferencias entre los criterios sociales y económicos en función de los objetivos de los dos grupos.

Teniendo en cuenta el estudio y las características del País Vasco, estos han sido los criterios y restricciones considerados en este proyecto:

- | | | |
|---|---|----------------------|
| 1. Pendiente < 10% (Binario) | } | Factores físicos |
| 2. Velocidad viento > 4 m/s | | |
| 3. Red de Carreteras < 10 Km, y no a menos de 100 m | } | Factores económicos |
| 4. Red Eléctrica < 10 Km, y no a menos de 50 m | | |
| 5. Núcleos urbanos > de 1 Km (Binario) | } | Factores ambientales |
| 6. Lugares protegidos (Binario) | | |
| 7. Respetar hidrografía (Binario) | | |
| 8. Vías Férreas > 100 m (Binario) | | |

Hay determinados factores que se consideran binarios y otros que no. Los primeros sólo tienen dos valores, que en nuestro caso serán “zonas aptas” y “zonas no aptas”. Este es el caso de las pendientes, las zonas donde las pendientes sean mayores de 10% serán no aptas y las que sean menores de 10% serán zonas aptas.

Hay otros factores a los que se les asigna un valor en función del grado de aptitud del valor que tome dicho factor en la zona. Así, la superficie que representa la distancia a las carreteras, tendrá unos valores de más aptitud en las zonas cercanas a dichas carreteras y valores de menos aptitud en las zonas más alejadas.

Para llevar a cabo el análisis con ArcGIS primero hemos tenido en cuenta los factores que se podían superponer de forma binaria, es decir indicando si el valor

del factor era apto o no. A continuación se describen los **factores** considerados como **binarios**:

- **Hidrografía:** Todos los ríos y lagos se consideran como no aptos.
- **Espacios protegidos:** Se refiere a las ZEPAs (Zonas de Especial Protección de Aves), LICs (Lugares de Interés Comunitario), ZEC (Zonas Especiales de Conservación) y a los parques naturales. Todos estos espacios se consideran lugares no aptos para este tipo de instalaciones.
- Zona de influencia de 1 km alrededor de las **Zonas urbanas:** Aunque el ruido que generan este tipo de instalaciones es pequeño (según la Universidad de Castilla La Mancha), se tiene en cuenta una zona de influencia para preservar las zonas urbanas del ruido principalmente.
- Zona de influencia de 100 metros alrededor de las **carreteras y vías férreas:** Se considera como no apta por seguridad.
- Zona de influencia de 50 metros alrededor del **cableado eléctrico:** Se considera como no apta por motivos de seguridad. Las aspas de los molinos podrían toparse con un cable si no se considerase.
- La **pendiente:** Las zonas aptas serán las que tengan una pendiente menor del 10%.

Con la herramienta “Fusionar” (en inglés “Merge”), fusionamos los factores que se representan con un tipo de dato vectorial, obteniendo la clase de entidad de polígono *AE_Restrictivos*, que representará zonas no aptas.

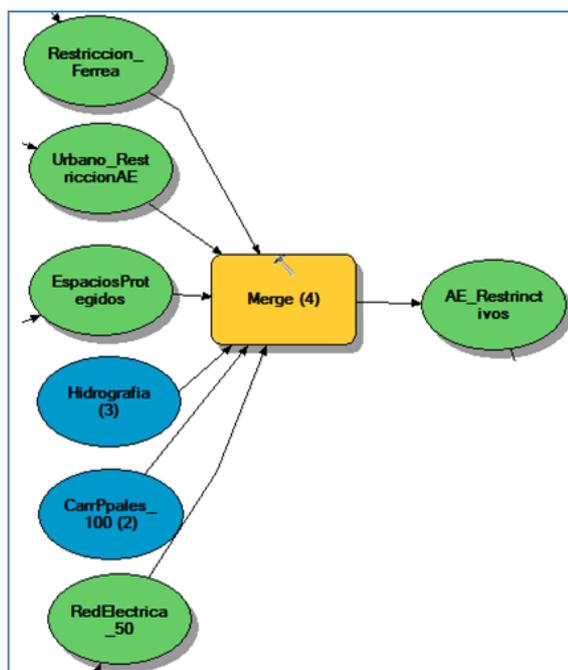


Figura 45: Herramienta Merge.

La superficie ráster que representa la pendiente es el factor que resta en esta superposición binaria. Después de reclasificarla y dar valor NoData a las zonas aptas de la pendiente, convertimos la superficie ráster reclasificada en una clase de entidad de polígonos vectorial. Obteniendo así *RestriccionPendiente*, es decir, las zonas no aptas, que no cumplen los criterios de pendiente.

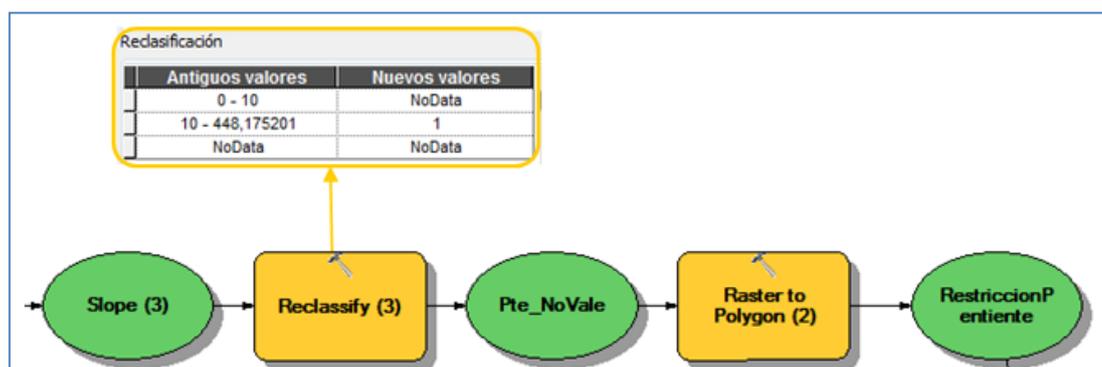


Figura 46: Parte de geoprocésamiento realizado para las pendientes en el análisis eólico.

A continuación, se hace una resta vectorial de la superficie del País Vasco menos las entidades vectoriales que representan las zonas no aptas (*RestriccionPendiente* y *AE_Restrictivos*). Se obtiene *AE_ZonasValidas*, zonas resultado de superponer de forma binaria los factores descritos anteriormente.

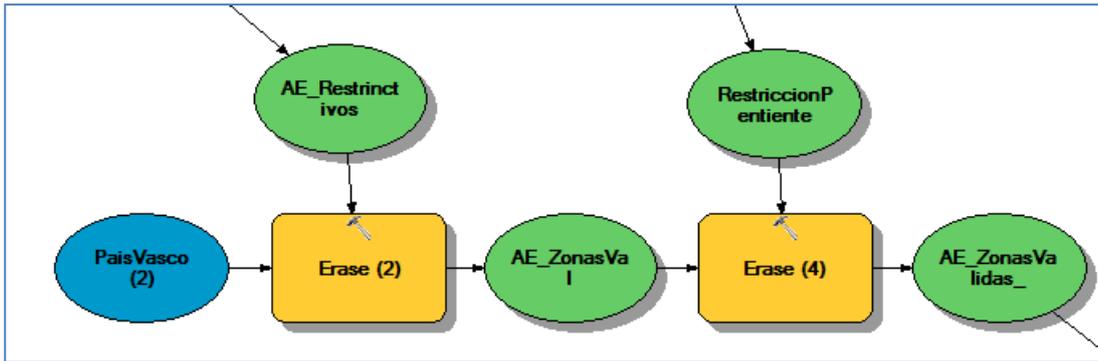


Figura 47: Imagen de ModelBuilder

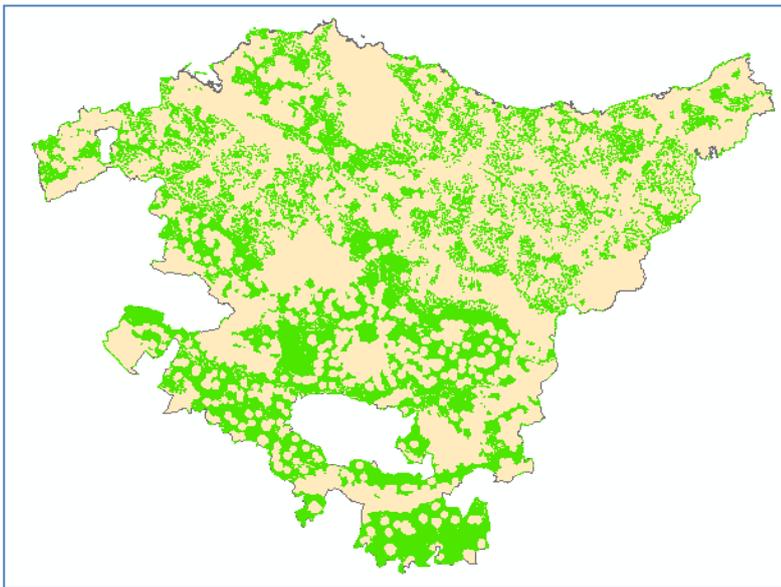


Figura 48: Zonas aptas después de tener en cuenta los factores binarios.

En segundo lugar, introducimos en el análisis los **factores no binarios** a los que hay que asignar previamente unos valores en función de su aptitud. En este caso se ha considerado una escala de valores de 0 a 10, asignando el 0 a los lugares con mayor nivel de aptitud y 10 a los lugares que no son aptos.

- **La velocidad del viento:** Para que un aerogenerador se ponga en marcha la velocidad debe ser mayor de 4m/s. La velocidad óptima para el funcionamiento de los aerogeneradores es entre 7 y 10 m/s, y a partir de 30 m/s hay aerogeneradores que dejan de rotar por seguridad. En función de estas premisas se han reclasificado los valores del ráster, asignando los valores de 0 a 10 según su grado de aptitud.

Antiguos valores	Nuevos valores
0,75472 - 4	10
4 - 7	1
7 - 15	0
15 - 18	1
18 - 22	2
22 - 26	3
26 - 30	4
30 - 35	5

Tabla 7: Reclasificación para la velocidad del viento.

- **La distancia a las carreteras:** Si bien es verdad que no se puede instalar un parque a menos de 100 m de una carretera también es verdad que la cercanía a la red de transporte es un factor clave para dar accesibilidad a un parque eólico. A partir de las carreteras se generaron anillos de influencia (buffers) cada kilómetro y luego se asignaron valores en la escala de aptitud de 0 a 10 para cada zona:

Antiguos valores	Nuevos valores
100	NoData
100 - 1000	0
1000 - 2000	1
2000 - 3000	2
3000 - 4000	3
4000 - 5000	4
5000 - 6000	5

Tabla 8: Reclasificación para la distancia a las carreteras.

- **La distancia a la REE:** Es importante tener cerca la red eléctrica de alta tensión para no tener que invertir demasiado dinero en el transporte de la energía generada en el parque a la red de transporte.

Antiguos valores	Nuevos valores
50 - 1000	0
1000 - 2000	1
2000 - 3000	2
3000 - 4000	3
4000 - 5000	4
5000 - 6000	5
6000 - 7000	6
7000 - 8000	7
8000 - 10000	8

Tabla 9: Reclasificación para distancias a la REE.

Reclasificadas las tres superficies ráster en función del grado de aptitud, se realiza una suma ráster. En esta suma no se han considerado pesos en ninguna de las capas por no disponer de ningún documento oficial que de más importancia a unos factores u a otros. No obstante, en el visor se incluye una capa informativa que consiste en los diferentes valores del factor velocidad sólo en las zonas aptas (Esta capa se describe con más detalle en el apartado de los resultados dentro de este mismo capítulo de idoneidad de parque eólicos).

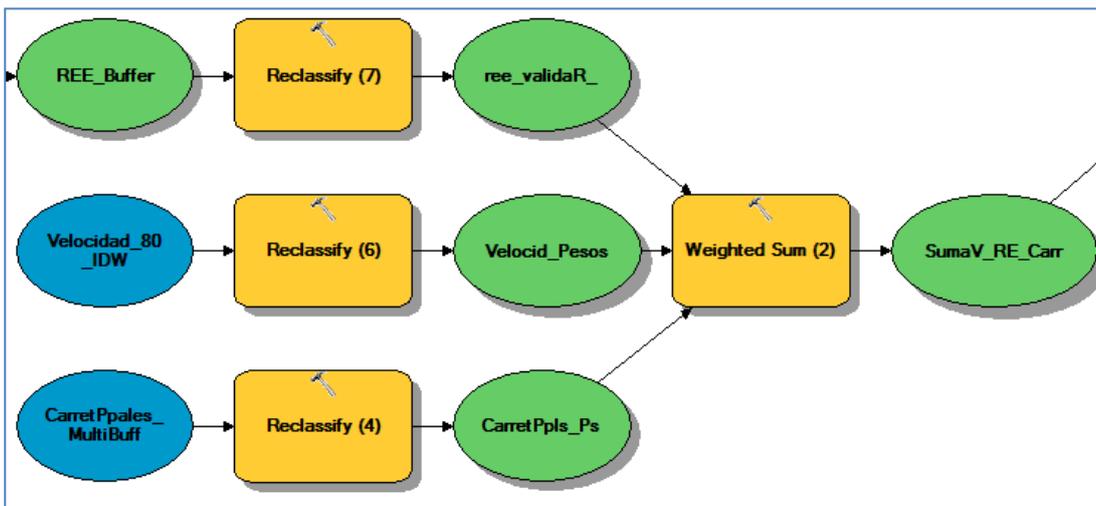


Figura 49: Diagrama de reclasificación.

La superficie obtenida, *SumaV_RE_Carr*, indica cuales son las zonas más o menos aptas en función de estos tres factores. En la siguiente imagen, el rojo representa las zonas que se deberían descartar porque o no cumplen con la velocidad del viento mínima o la distancia mínima a las carreteras o la suma de los tres factores resulta ser demasiado alta para considerarse como zona óptima. Estas zonas no aptas no serán consideradas en el análisis.

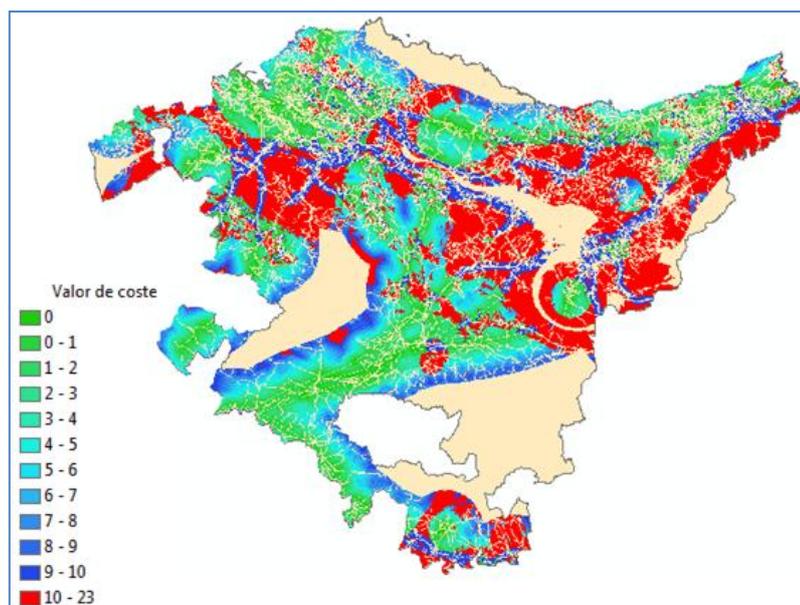


Figura 50: Resultado de la superposición de los factores Velocidad del viento, cercanía a la REE y a las carreteras. Fuente y elaboración propia

Finalmente, debemos combinar todos los factores para obtener una superficie final de zonas óptimas. Al tener una clase de entidad de tipo vectorial (obtenida por los factores binarios) y otra de tipo ráster (con los factores a los que les hemos asignado un rango de valores), utilizamos la herramienta “Extraer por máscara” para tener las zonas aptas clasificadas por su nivel de aptitud.

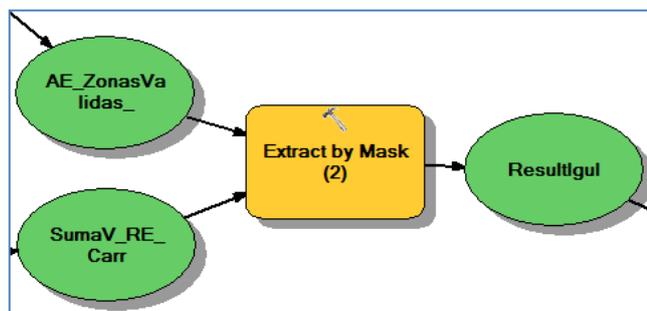


Figura 51: Imagen de ModelBuilder

Obtenemos una superficie ráster en la que se representan los valores de aptitud del 1 al 9, siendo las zonas con valor 9 (en azul) zonas menos aptas y las zonas con valor 1 (en verde) las zonas más adecuadas para la instalación de un parque eólico.

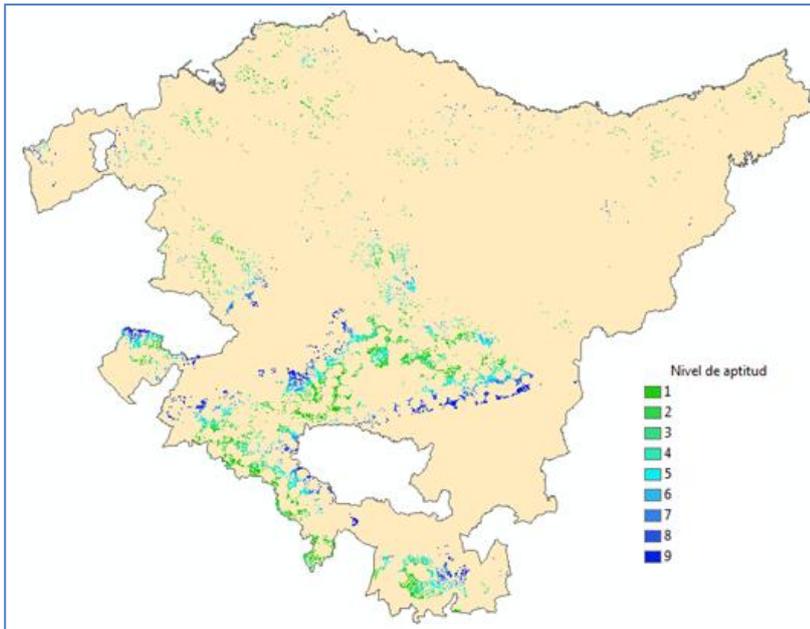


Figura 52: Zonas aptas en función de todos los factores restrictivos según el nivel de aptitud.

5.1.1.3 Resultados

Habiendo modelado la velocidad del viento con el método propuesto por Diego González Ferreiro y Joaquín Bosque Sendra (Universidad de Alcalá) y calculado las zonas más óptimas según el método de Tim Barry y Serwan M.J. Baban adaptado al País Vasco, se procede ahora a decidir qué información tomaremos como resultado para publicar en el visor.

La capa que consideramos fundamental es la que representa las zonas aptas en función de todos los factores incluyendo la velocidad del viento. Esta información es imprescindible para cualquier persona o empresa que decida instalar un parque eólico en la zona de estudio ya que permite saber de un simple vistazo, no sólo dónde no se aconseja poner un parque, sino también qué zonas serían más rentables considerando la accesibilidad a la red de transporte, la cercanía a la red eléctrica, la velocidad del viento, etc.

También creemos conveniente publicar el mapa de la velocidad del viento porque da una visión general de cómo se distribuye el recurso eólico a lo largo de la comunidad y podría servir incluso para otro tipo de análisis.

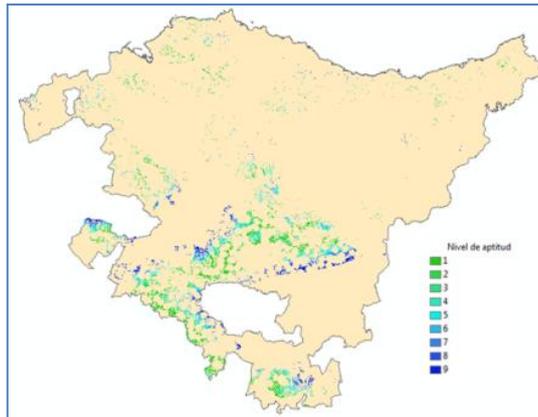


Figura 53: Zonas aptas en función de su nivel de aptitud

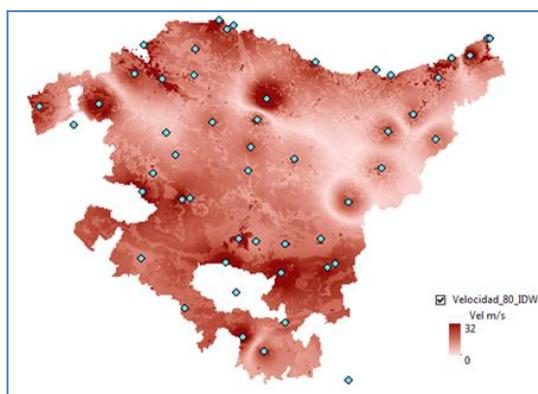


Figura 54: Velocidad del viento (m/s)

También hemos generado una capa informativa sin tener en cuenta todos los factores no binarios. Simplemente elimina las zonas en las que no se puede instalar una parque eólico por motivos legales y/o geográficos (hay una zona urbana, un río, una carretera, etc.) y muestra la velocidad del viento en cada punto geográfico del País Vasco que no tuviese este tipo de restricciones.

Para calcularlo, se han cogido los valores aptos de los factores que consideramos binarios, y se ha hecho una extracción por máscara del ráster de velocidad.

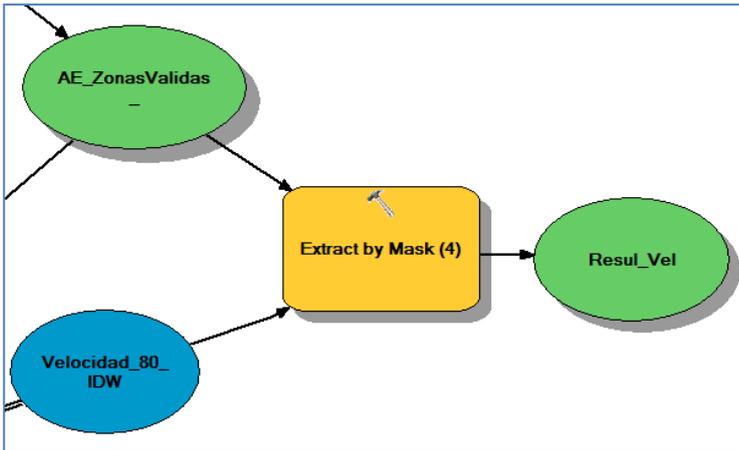


Figura 55: Imagen de ModelBuilder

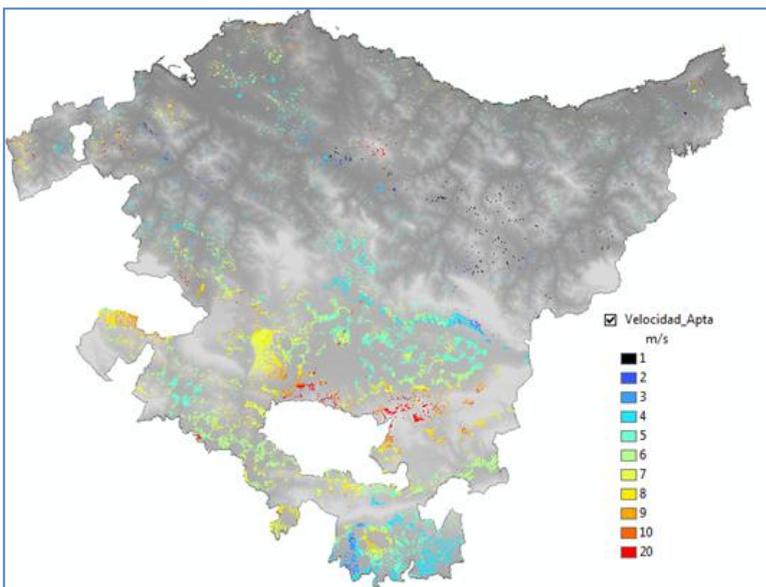


Figura 56: Velocidad del viento en (m/s) en las zonas aptas

A partir de los resultados observamos que las zonas más apropiadas están en la parte central sur de la comunidad; esto se debe principalmente a que es una zona con apenas relieve. En la parte del norte sería más productivo instalar aerogeneradores en la costa, sobre todo en la zona de Bilbao.

Hacemos hincapié en el hecho de que no se ha conseguido generar un modelo del recurso lo suficientemente preciso como para basar un estudio real en la información obtenida a partir del mapa eólico generado en este proyecto. Se recomienda utilizar uno de los programas dedicados a generar mapas del viento.

5.1.2. Idoneidad de Instalaciones Fotovoltaicas

Entre las Renovables disponibles, se va a hacer especial mención a la **Energía Solar Fotovoltaica (ESF)**, ya que constituye una tecnología muy apropiada para electrificar gran parte de las regiones de España debido a la producción de energía eléctrica obtenida directamente a partir de los rayos del sol,

España es uno de los países con más horas de irradiación solar en todo el Mediterráneo. La mayor parte de su territorio, excluyendo Canarias, recibe más de 2.500 horas de sol al año.

El conocimiento de las características de la radiación solar en un punto determinado es imprescindible para evaluar la viabilidad de estos sistemas, así como para el dimensionamiento correcto de las instalaciones y la predicción del aporte energético solar obtenido.

A la hora de clasificar una instalación de ESF, podemos usar varios criterios:

- **Instalación aislada:** La electricidad se emplea para el autoconsumo de viviendas familiares, explotaciones agrícolas y ganaderas, extracción de agua, etc., en lugares donde el abastecimiento eléctrico de la red implica un elevado coste económico.
- **Instalaciones conectadas a red:** Vierten la energía producida a la red de distribución, obteniendo un beneficio económico.

La ESF consiste en el aprovechamiento de la luz del sol para producir energía eléctrica por medio de células fotovoltaicas. La célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico basado en semiconductores de silicio, que genera una corriente eléctrica de forma directa al recibir luz solar, por medio del efecto fotoeléctrico.

Las células fotovoltaicas se combinan en serie, para aumentar la tensión (V) o en paralelo, para aumentar la corriente, dando lugar a los paneles comerciales que suelen incorporar varias decenas de células individuales encapsuladas en un mismo

marco consistente. Los paneles a su vez pueden combinarse en serie y paralelo para conseguir los voltajes y potencias adecuados a cada necesidad.

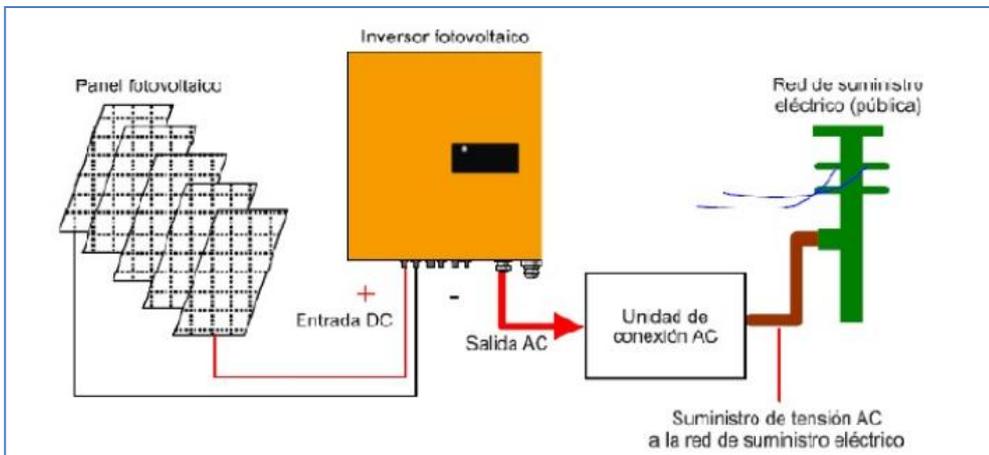


Figura 57: Esquema de una instalación ESF conectada a la red.

A diferencia de las energías producidas por los combustibles fósiles, con la solar no hay ninguna emisión, ni olor, ni ruidos, no contamina y, sobre todo, su duración es inagotable.

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.

Las plantas fotovoltaicas han experimentado una importante expansión en España en la última década y han dado lugar a la aparición de problemas de naturaleza territorial, ambiental y, especialmente, paisajística. Su localización en entornos rurales, la extensa superficie ocupada, al menos respecto a fuentes de energía convencionales, así como la singularidad tipológica de sus instalaciones, ha dado lugar a bruscos cambios paisajísticos en las zonas donde se han ubicado. La transformación del paisaje se ha producido, además, de una forma acelerada y en escaso tiempo, por lo que las posibles medidas de planificación y ordenación territorial han ido a remolque de esta intensa expansión. Por otra parte, la energía fotovoltaica cuenta con un imagen positiva entre la población y entre los gobernantes políticos, por su carácter de energía limpia y renovable. Surge, por

tanto, una *paradoja medioambiental*: instalaciones potencialmente impactantes sobre el paisaje, pero percibidas como medioambientalmente positivas.

Las centrales fotovoltaicas tienen una evidente dimensión paisajística, provocando su aparición intensas transformaciones del paisaje. Entre los factores que interviene en la afección al paisaje se encuentra, en primer lugar, su singularidad tipológica. Los materiales empleados y su disposición y distribución aumentan la intensidad de la incidencia visual.

Esta singularidad tipológica se ve reforzada por su localización en zonas rurales, donde la introducción de este nuevo uso del suelo provoca fuertes contrastes paisajísticos con los usos agrarios dominantes. La extensión que alcanzan estas plantas, que requieren un volumen de terreno muy importante, y su orientación en terrenos de alta insolación refuerza su protagonismo paisajístico. Finalmente, su intensa profusión aleja a estas instalaciones de un tratamiento paisajístico individualizado y las acerca más a su consideración como un nuevo uso del suelo.

En este sentido, un estudio apropiado de la selección del emplazamiento se vuelve indispensable.

Como se ha comentado con anterioridad, la materia prima de este tipo de energía es la irradiación solar. La cantidad de este recurso en un lugar, depende de factores tales como la pendiente del terreno, que influirá en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y las zonas de umbría, que lo harán 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/m² de diferencia influye directamente en la eficiencia de la instalación. 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. 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 el cálculo de mapas de irradiación solar y en la selección de potenciales emplazamientos, por su idoneidad, para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, basando todos nuestros criterios en fuentes oficiales.

5.1.2.1 *Análisis del Recurso Solar.*

No se han encontrado bases de datos continuas del recurso para realizar análisis territorial a partir de las mismas, es por ello que se ha optado por interpolar datos de satélite mediante la técnica geoestadística denominada *kriging simple*, de la que posteriormente, se detallara el proceso.

Para conocer este dato se han tratado las distintas fuentes de información que se detallan a continuación.

Se han elegido dos fuentes de datos sobre recurso solar a partir de imágenes de satélite, que pasamos a detallar:

SODA, Solar Radiation Data.

Es el resultado de un proyecto Europeo que contiene diferentes servicios o recursos sobre la radiación solar. Se va a utilizar la base de datos Helioclim 3-v², que únicamente tiene datos públicos del año 2005. Las cuadrículas son de 4 km², y los valores de irradiación se han obtenido por el método Heliosat-2.

PV-GIS, Photovoltaic Geographical Information System.

Los datos que ofrecen PV-GIS han sido obtenidos de imágenes del satélite Meteosat utilizando el método Heliosat-2. A partir de esta base de datos, la irradiación global horizontal, ha sido obtenida utilizando el método PV-GIS, basado en un modelo de cielos despejados, interpolación del índice del cielo despejado, y el sombreado del terreno, la resolución espacial original de Helioclim-1 a 15', ha sido mejorada a 2 km. (Huld, 2005)

Se ha elegido una muestra representativa de unos 56 valores, con información de radiación global horizontal, puntos que luego se interpolaran para obtener una base de datos territorial con información para toda el área objeto de estudio.

Para obtener la suma anual de la irradiación global horizontal, kwh/m²/año, se ha tenido en cuenta la irradiación media mensual. Este dato se debe multiplicar por el número de días del mes y dividirlo entre mil para obtener Kw/m²/año.

Irradiación asociada a las estaciones

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
ID Estacion	NOMBRE Estacion	X_UTM	Y_UTM	Longitud	Latitud	Cota(m)	Irradiance	Top of Atmo	Clear-Sky	Irradiation	Irradiation	Irradiation	Irradiation	Fecha	Fuente
1	B092	Puerto de Bermeo	523588	4807955	-2,70859	43,42412	481	1,9	3,8	2,6	46,3	3858,33333	16,7	2005	SODA
2	B093	Puerto de Ondarroa	547478	4797364	-2,41439	43,32762	0	1,8	3,8	2,6	43,9	3658,33333	15,8	2005	SODA
3	B094	Puerto de Getaria	565244	4795273	-2,19552	43,30746	0	1,9	3,8	2,6	44,8	3733,33333	16,1	2005	SODA
4	B096	Puerto de Pasaja	587143	4799035	-1,92494	43,39111	0	1,9	3,8	2,6	45	3750	16,2	2005	SODA
5	B097	Puerto de Hondarribia	598145	4804855	-1,78820	43,39015	6	1,9	3,8	2,6	46,1	3841,66667	16,6	2005	SODA
6	C04	Orotko	506844	4769797	-2,91592	43,08083	211	1,9	3,8	2,7	45,5	3791,66667	16,4	2005	SODA
7	C001	Arkaure I	530608	4744631	-2,62537	42,85365	515	1,8	3,8	2,7	49	4083,33333	17,6	2005	SODA
8	C002	Arteaga	527783	4799414	-2,65720	43,34707	8	1,8	3,8	2,7	44,2	3683,33333	15,9	2005	SODA
9	C003	Derio	512000	4793400	-2,85207	43,29333	67	1,8	3,8	2,7	43,9	3658,33333	15,8	2005	SODA
10	C007	Santa Clara	581216	4797047	-1,99835	43,32188	1	1,8	3,8	2,6	43,8	3650	15,4	2005	SODA
11	C017	Miramon	583464	4793182	-1,97121	43,28684	106	1,8	3,8	2,7	42,6	3550	15,4	2005	SODA
12	C018	Higer	597528	4805073	-1,79578	43,39220	5	1,9	3,8	2,6	46,1	3841,66667	16,6	2005	SODA
13	C019	Matxirako	519236	4809650	-2,76230	43,49950	394	1,9	3,8	2,6	46,1	3841,66667	16,6	2005	SODA
14	C020	Trebiño	524451	4729542	-2,70138	42,71799	567	2,1	3,8	2,7	49,6	4133,33333	17,9	2005	SODA
15	C021	Roitegi	551597	4766976	-2,36967	42,78359	958	2,1	3,8	2,8	50	4166,66667	18	2005	SODA
16	C022	Urkioia	528860	4772196	-2,64534	43,10194	712	1,9	3,8	2,7	46,5	3875	16,7	2005	SODA
17	C023	Arassate	541442	4768876	-2,49097	43,07146	341	1,9	3,8	2,7	45,6	3800	16,4	2005	SODA
18	C024	Beluntza	553614	4738189	-2,34441	42,79437	973	2,1	3,8	2,8	50,1	4175	18	2005	SODA
19	C025	Beluntza	508785	4756755	-2,89228	42,96399	646	2	3,8	2,7	47,9	3991,66667	17,3	2005	SODA
20	C026	Berastegi	582965	4775170	-1,98007	43,12472	394	1,8	3,8	2,7	44,4	3700	16	2005	SODA
21	C027	Llodio	504100	4776607	-2,94958	43,14220	166	1,9	3,8	2,7	44,7	3725	16,1	2005	SODA
22	C028	Zegama	557322	4756460	-2,29721	42,95863	487	1,9	3,8	2,7	45,3	3775	16,3	2005	SODA
23	C029	Zizurkil	576346	4782336	-2,06044	43,18994	105	1,8	3,8	2,7	43,9	3658,33333	15,8	2005	SODA
24	C030	Salvatierra	549518	4745236	-2,39387	42,85811	586	1,8	3,8	2,7	48,2	4016,66667	17,4	2005	SODA
25	C033	Igorre	517659	4779523	-2,78275	43,16826	159	1,8	3,8	2,7	44,2	3683,33333	15,9	2005	SODA
26	C034	Espejo	496749	4739452	-3,03976	42,80762	503	2,1	3,8	2,8	50,2	4183,33333	18,1	2005	SODA
27	C035	Altube	510880	4757063	-2,86659	42,96614	618	2	3,8	2,7	48	4000	17,3	2005	SODA
28	C036	Isturra	530732	4780526	-2,62187	43,17687	165	1,9	3,8	2,7	44,9	3741,66667	16,2	2005	SODA
29	C039	Deusto	502705	4792288	-2,96666	43,28341	-3	1,8	3,8	2,7	43,9	3658,33333	15,8	2005	SODA

Tabla 10: Puntos y sus valores de irradiación asociada. Fuente: SODA y PV-GIS. Elaboración propia.

Tras la obtención de la tabla Excel con los datos de irradiación solar, se crea una Clase de Entidad, con un esquema de tabla idéntico al esquema de la tabla de nuestra Excel.

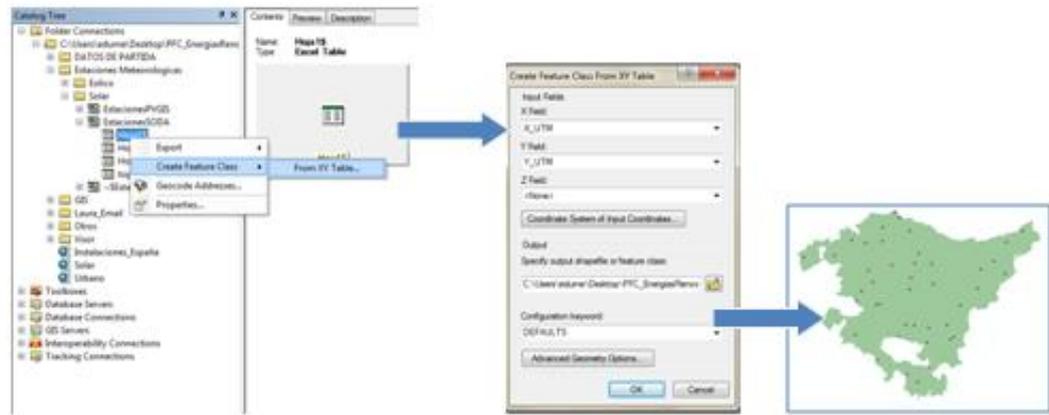


Figura 58: Metodología a seguir para crear la clase de entidad

Tras la creación de esta clase de entidad, se introdujo en la Geodatabase de fichero PFC_Renovable.gdb y paso a formar parte de nuestro GIS.

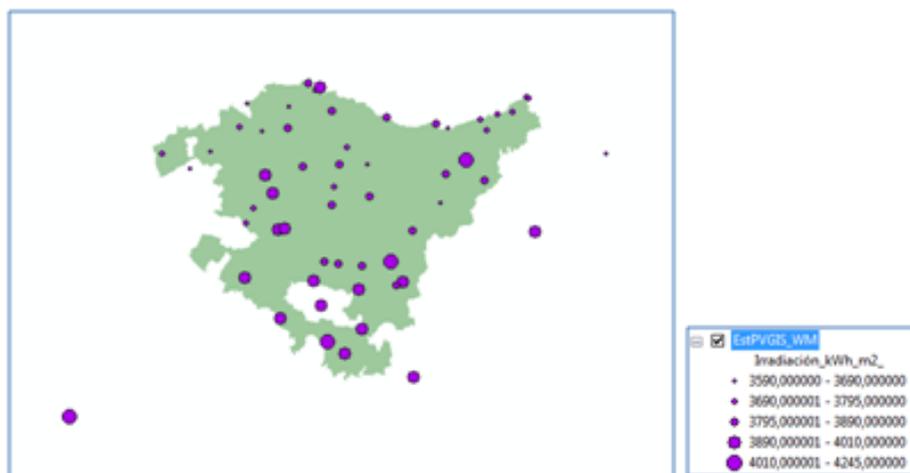


Figura 59: Ubicación de los puntos de muestreo con simbología graduada expresando la irradiación recibida. Fuente: Elaboración propia.

Estudio geoestadístico de los datos de SODA y PV-GIS.

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 interpolación.

Como análisis exploratorio de los datos espaciales, utilizaremos el histograma, el gráfico de probabilidad normal, el análisis de la tendencia y el gráfico del semivariograma.

ANALISIS 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 kurtosis, cuanto más cercana a tres este 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 planimétrica.



Figura 60: Histograma de los datos. Fuente: SODA y PVGIS. Elaboración propia.

Atendiendo a los datos mostrados con anterioridad, mencionar que la media y la mediana son prácticamente idénticas, lo que apuntaría una distribución normal, al igual que el coeficiente de asimetría y la *kurtosis* que se acercan a los valores de cero y tres respectivamente.

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 mayor sea el ajuste, la muestra se acercara más a una distribución normal.

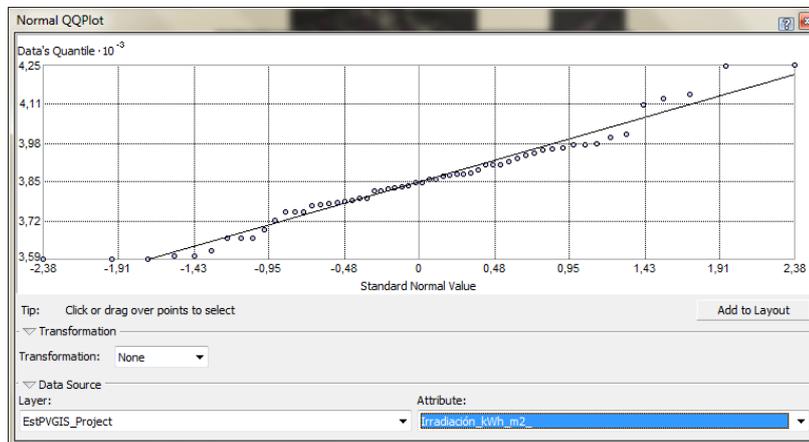


Figura 61: Probabilidad normal de los datos. Fuente: SODA y PVGIS. Elaboración Propia.

Los datos observados se ajustan a los esperados, con lo que se reafirma la idea de que los datos tienen una distribución normal.

SEMIVARIOGRAMA EMPIRICO.

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 en interpolación, y por extensión al *kriging*.

Con el semivariograma se asume el principio de estacionalidad de segundo orden, que requiere que la media y la covarianza sean invariables en la traslación. Se representan 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 agruparan en intervalos (*lags*), de cuyo número y amplitud dependerá que la nube de puntos adopte una forma u otra. Deberíamos de optar por una amplitud adecuada para no perder autocorrelación de pequeño alcance ni crear intervalos vacíos o con pocos pares de datos.

El modelo seleccionado de semivariograma influye en la predicción de los valores desconocidos, en particular cuando la forma de la curva cercana al origen difiere

significativamente. Cuanto más pronunciada sea la curva cercana al origen, más influirán los vecinos más cercanos en la predicción. Como resultado, la superficie de salida será menos suave. Cada modelo está diseñado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa.

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

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

Cada punto rojo, representa la semivarianza de los puntos que hay en cada *lag*.

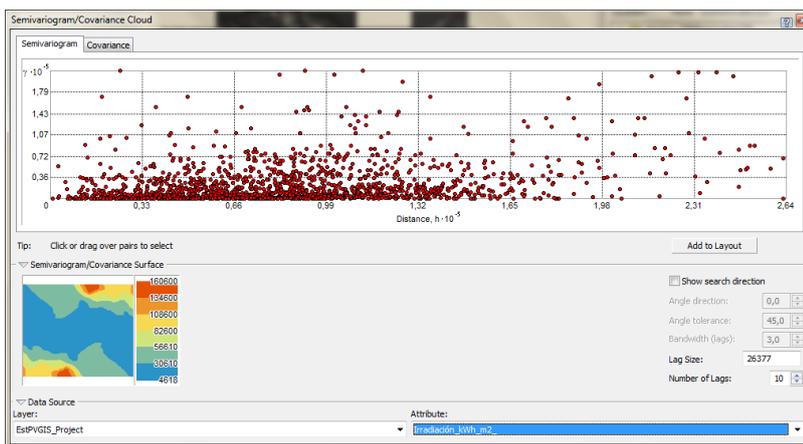


Figura 62: Semivariograma empírico de los datos. Fuente: SODA y PV-GIS. Elaboración propia.

A partir de la gráfica anterior se comprueba cómo cuando la distancia entre estaciones aumenta, la relación en la semivarianza también aumenta. Esto implica que La autocorrelación espacial cuantifica un principio básico de geografía: es más probable que las cosas que están más cerca sean más parecidas que las que están más alejadas. Entonces, los pares de ubicaciones que están más cerca (extremo izquierdo del eje X de la nube de semivariograma) deberían tener valores más similares (parte inferior en el eje Y de la nube de semivariograma). A medida que los pares de ubicaciones estén más separados entre sí (hacia la derecha en el eje X de la

nube de semivariograma), deberían ser más distintos y tener una diferencia cuadrada más grande (hacia arriba en el eje Y de la nube de semivariograma).

INTERPOLACION. METODO DE KRIGING.

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.

El método kriging es similar al de IDW en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Donde:

$Z(s_i)$ = el valor medido en la ubicación i

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 = la ubicación de la predicción

N = la cantidad de valores medidos

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.

Al tener una muestra con datos de entrada anisótrópicos, la forma de búsqueda tendrá que ser una elipse. El software ArcGIS 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 dividida la elipse.

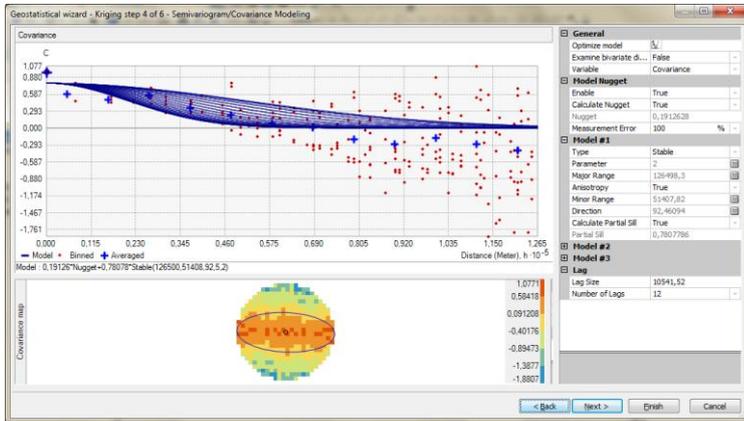


Figura 63: Semivariograma aplicando la búsqueda de vecindad por elipse. Fuente: SODA y PV-GIS. Elaboración propia.

La Validación.

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

En nuestro proyecto se va a utilizar la validación cruzada, que 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.

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 obtiene la mejor bondad de ajuste.

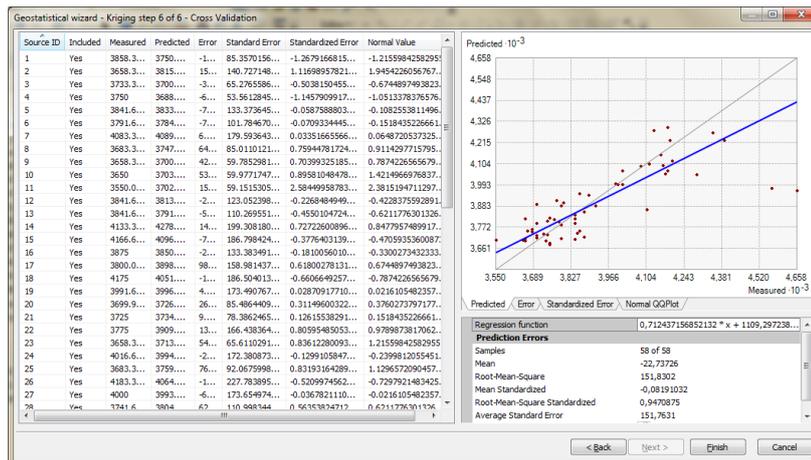


Figura 64: Validación Cruzada y estadísticos asociados del Kriging. Fuente: SODA y PV-GIS. Elaboración propia.

La validación del modelo da como resultado una media estandarizada de -0.008 y un error cuadrático medio estandarizado de 0,947.

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.

A continuación mostramos, la superficie de interpolación obtenida a partir del modelo generado con el *kriging*.

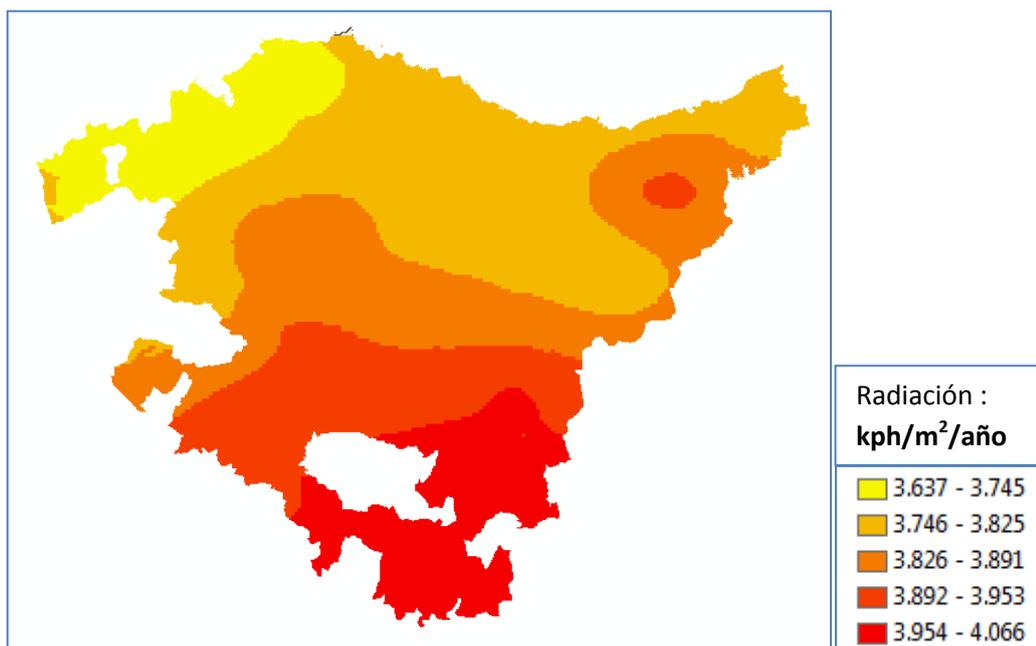


Figura 65: Superficie interpolada a partir de la muestra de datos de radiación. Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2.2 Restricciones y Zonas Viables.

A continuación se muestran las restricciones, así como el resultado de su aplicación sobre cada factor y las zonas viables, que serán aquellas que respeten las restricciones introducidas y en las que se podrán ubicar las futuras y posibles instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.

Espacios Naturales Protegidos.

Se van a tener en cuenta todas las figuras de protección existentes, ZEC, ZEPA y LIC, obtenidas gracias al proyecto Corine Land Cover. Aparte hemos incluido una capa de parques Naturales sacados de la Red Natura 2000. Toda la información geográfica ha sido juntada mediante un *MERGE* (Herramienta que combina datasets de entrada múltiples del mismo tipo de datos en un nuevo dataset de salida único).



Figura 66: Zonas restringidas por factores ENO y Red Natura 2000. Fuente: Elaboración Propia.

Usos del Suelo.

Los criterios adoptados para determinar la disponibilidad de terreno para esta tecnología han sido los siguientes, según nomenclatura Corine Land Cover 2006:

Uso de Suelo Apto:

- Tejido Urbano discontinuo.
- Zonas industriales, comerciales y de transporte.
- Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción.
- Zonas de verdes artificiales no agrícolas.
- Praderas.
- Landas y matorrales templados oceánicos.
- Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso.
- Zonas quemadas
- ...

Adicionalmente apto: Este tipo de usos del suelo se refiere a tierras de labor de secano, en las que debido a la baja productividad de la biomasa energética puede resultar más apropiada la instalación de una central de energía solar.

- Tierras de labor en secano con precipitación entre los 400-600 mm/año.

Uso de Suelo no apto:

- Zonas asociadas a Espacios Naturales (estudio realizado aparte, debido a la gran importancia de no construir en dichas áreas).
- Tejido urbano continuo.
- Arrozales.
- Cultivos permanentes.
- Bosques.
- Playas, dunas y arenales.
- Roquedos.
- Glaciares y nieves permanentes.
-

Para la obtención de una clase de entidad con la clasificación de usos del suelo mencionada arriba, se realizó una reclasificación en raster de la capa CLC_2006, capa de entidad la cual se convirtió a raster, ya que la información descargada se encontraba en forma vectorial.

En la reclasificación se optó por dar valor **0** a los usos de suelo no aptos, valor **1** a los usos de suelo aptos y, por último, valor **2** a los usos de suelo adicionalmente aptos.

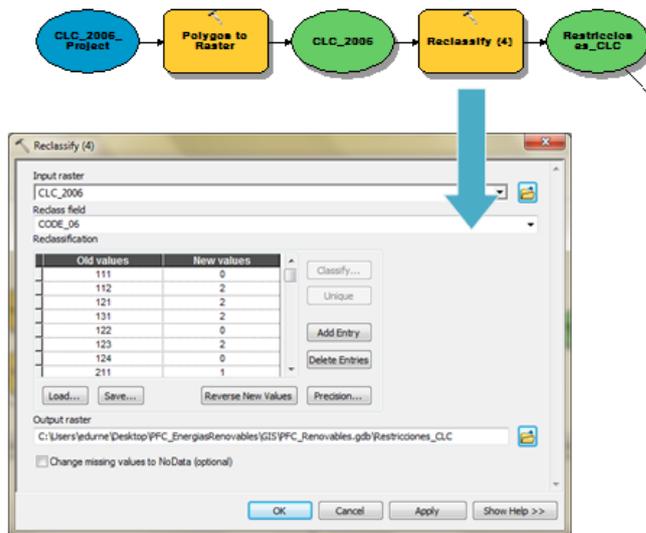


Figura 67: Reclasificación del Raster de Usos del Suelo.

Como resultado de la reclasificación se obtienen las zonas restringidas por el factor de usos del suelo, tal como puede observarse en la siguiente figura.

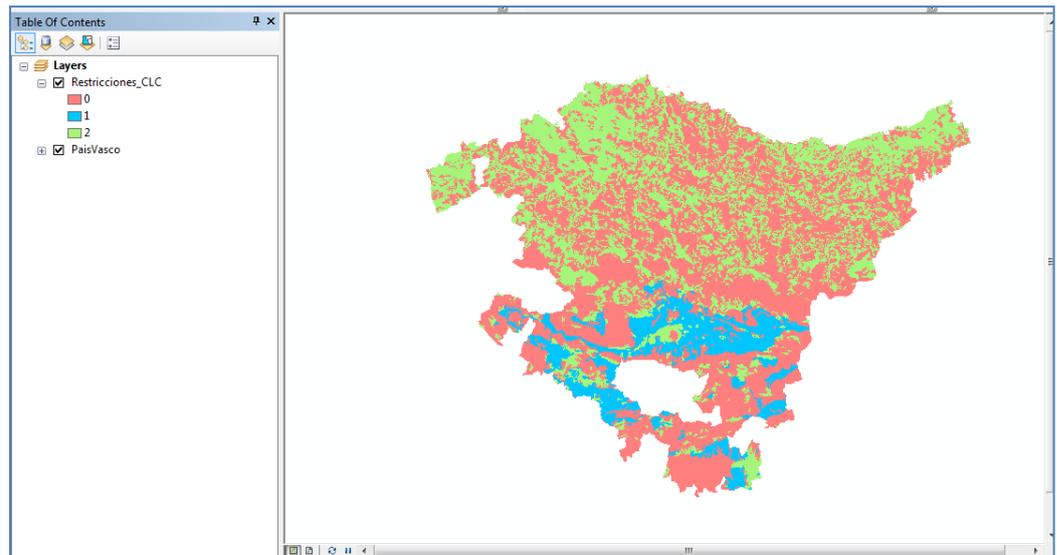


Figura 68: Zonas clasificadas según el uso del suelo en función de la valía para una instalación Solar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendientes y Orientaciones.

Para la obtención del mapa de orientación y del mapa de pendiente, es necesario el modelo digital del terreno.

Con dicho modelo, el programa de ArcGIS tiene varias herramientas, una es *Slope* y la otra *Aspect*, que nos permite respectivamente obtener un mapa de pendientes y un mapa de orientación.

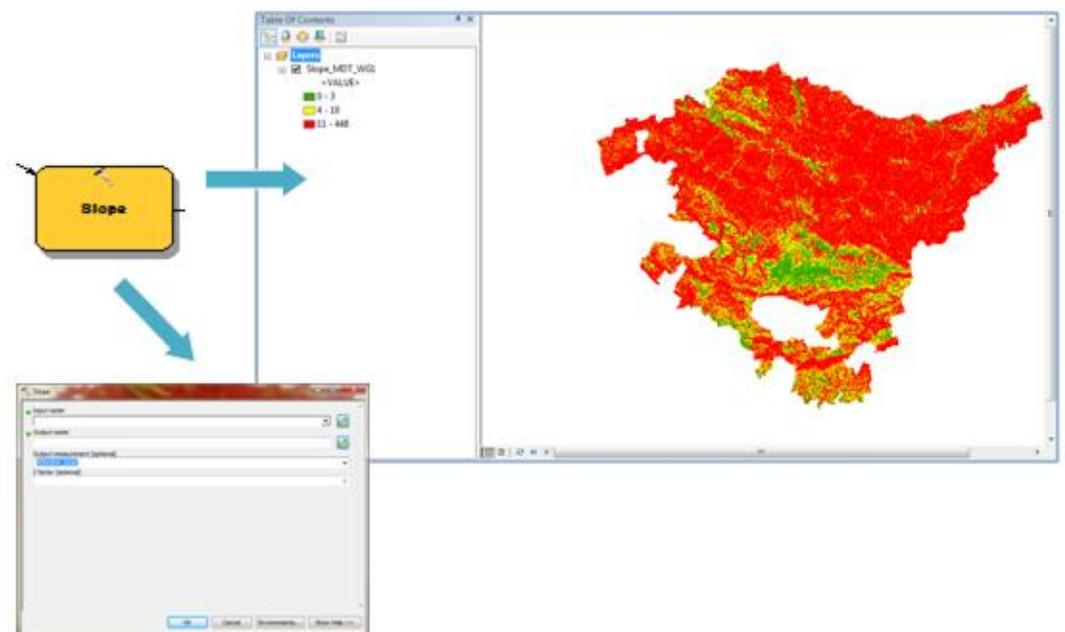


Figura 69: Metodología para la obtención de un mapa de pendientes. Fuente: Elaboración Propia.

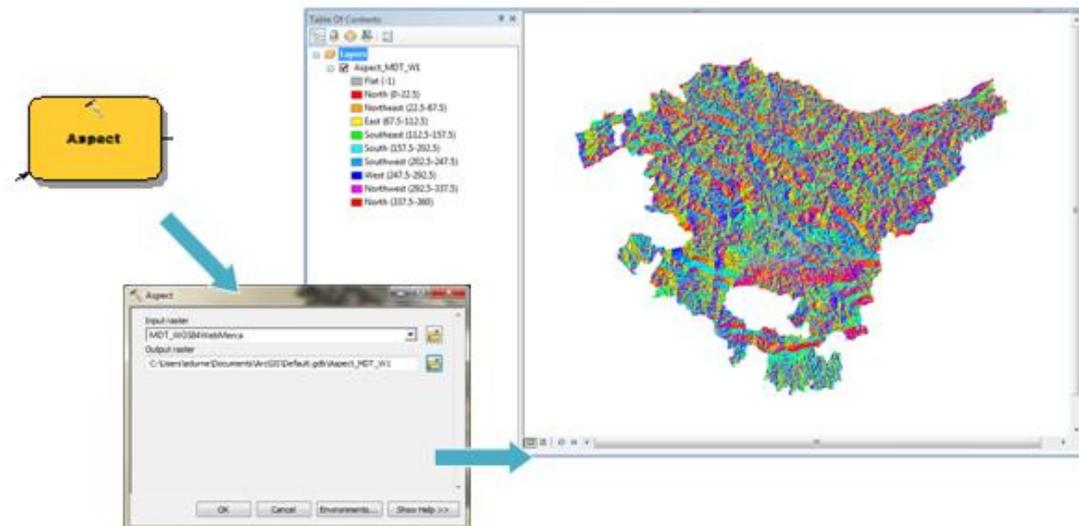


Figura 70: Metodología para la obtención de un mapa de orientación. Fuente: Elaboración Propia.

A posteriori se han restringido las zonas según varios criterios aportados en el estudio de Renovables 2050 realizado por Greenpeace. Son los siguientes:

- Terrenos con pendiente inferior al 3%: validas todas las orientaciones de la pendiente.
- Terrenos con pendiente comprendida entre el 3% y el 10%: solo validas las pendientes con orientación de SE a SW.
- Terrenos con pendiente superior al 10%: no aptos.

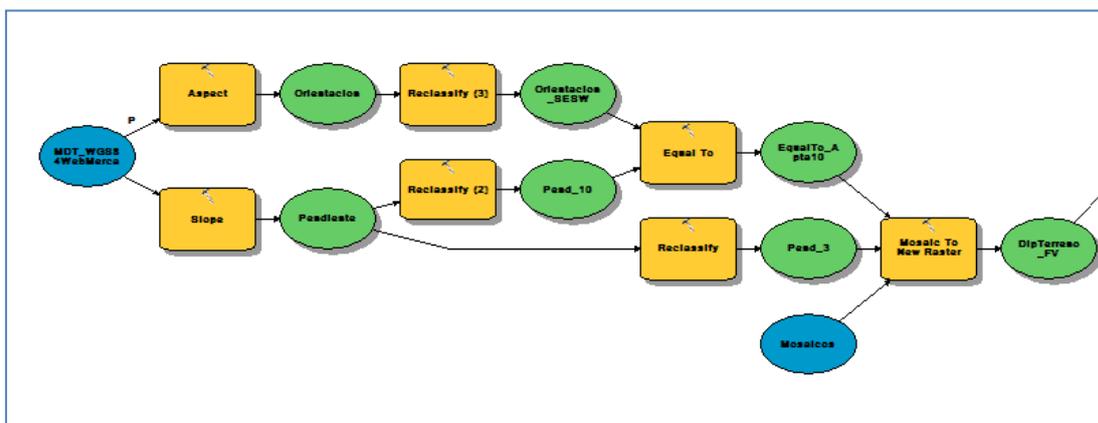


Figura 71: Geoprocesamiento para obtención de superficie apta según pendiente y orientación. Fuente: Elaboración Propia.

Como resultado del geoprocésamiento que podemos ver arriba, obtendremos una capa de entidad, DispTerreno_FV, en la que se podrá identificar las zonas con una orientación y una pendiente adecuada para ubicar una instalación de energía solar fotovoltaica.

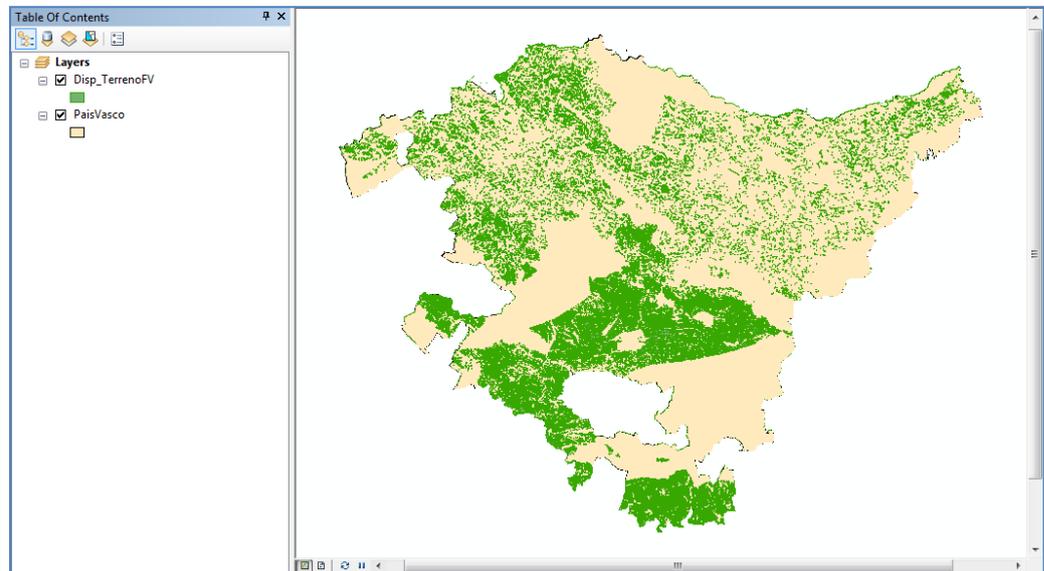


Figura 72: Zonas aptas según pendiente y orientación para la ubicación de instalaciones ESF.
Fuente: Elaboración Propia.

Red Viaria y ferroviaria.

Para este factor se van a tener en cuenta dos restricciones al mismo tiempo, una de protección de la propia infraestructura y otra 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.

Para ello hemos obtenido una capa de entidad con las carreteras principales del País Vasco.

Se realizó una búsqueda por atributos, a partir de BTA_TRA_EJES_REDVIARIA, creando posteriormente con esta selección una entidad denominada CarreterasPpales.

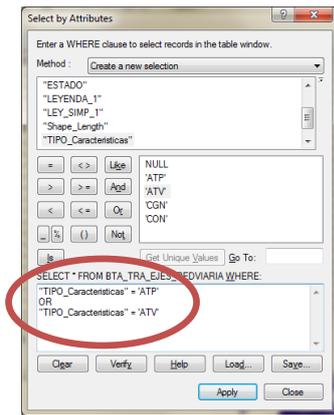


Figura 73: Selección por atributos

A continuación obtuvimos las zonas de influencia de dicha capa de carreteras mediante un Buffer (Herramienta que crea polígonos de zona de influencia alrededor de entidades de entrada a una distancia especificada. Una disolución opcional se puede realizar para combinar zonas de influencia superpuestas).

Se estableció como restricción, una distancia inferior a los 150 m y una superior a los 5km (Rodríguez, 2010), para ello se realizaron dos Zonas de influencia de 150 m y 5 km.

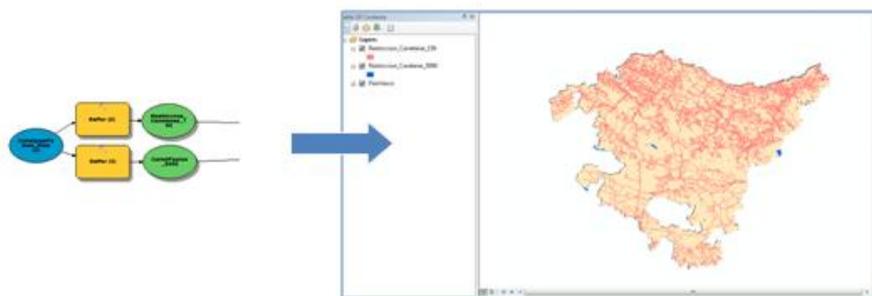


Figura 74: Zonas restringidas por factores de la Red Viaria. Fuente: Elaboración Propia.

Lo mismo se hizo con la capa de entidad BTA_TRA_VIAS_FERREAS. Se realizo un Buffer de 100 m, como distancia mínima de restricción.

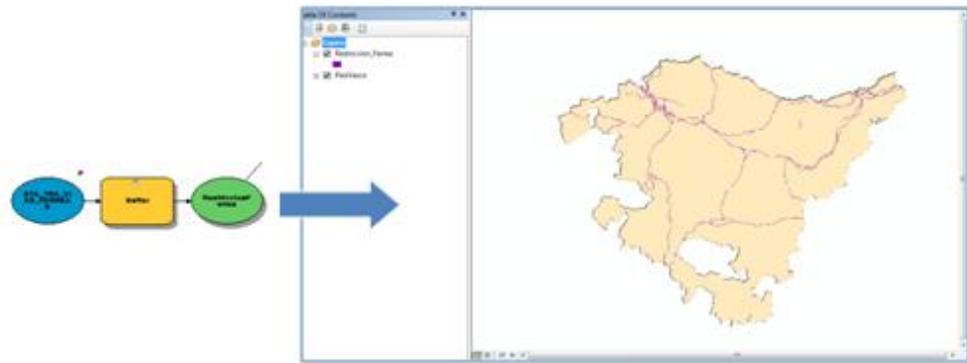


Figura 75: Zonas restringidas por factores de la Red Ferroviaria. Fuente: Elaboración Propia.

Red Eléctrica.

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).

Partiendo de la clase de entidad *BTA_SER_INSTALACIONES_RedElectrica*, se creó una nueva capa de entidad de la selección de la red eléctrica de alta y media-alta tensión, ya que los demás tipos de instalaciones no son validas para transportar la energía producida por este tipo de instalaciones.

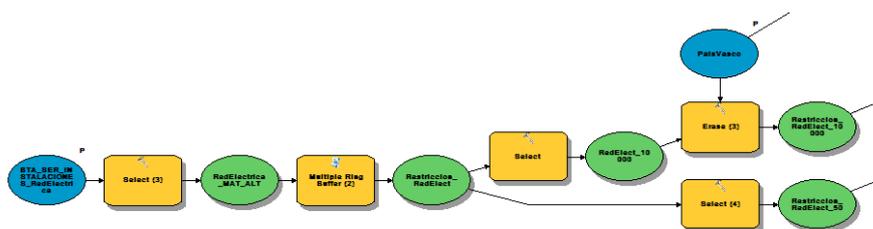


Figura 76: Parte del Geoprocesamiento utilizado para obtener la Idoneidad Solar.

Tras obtener la clase de entidad *RedElectrica_MAT_ALT*, se paso a obtener las zonas de influencia donde las instalaciones se verían afectadas por este factor.

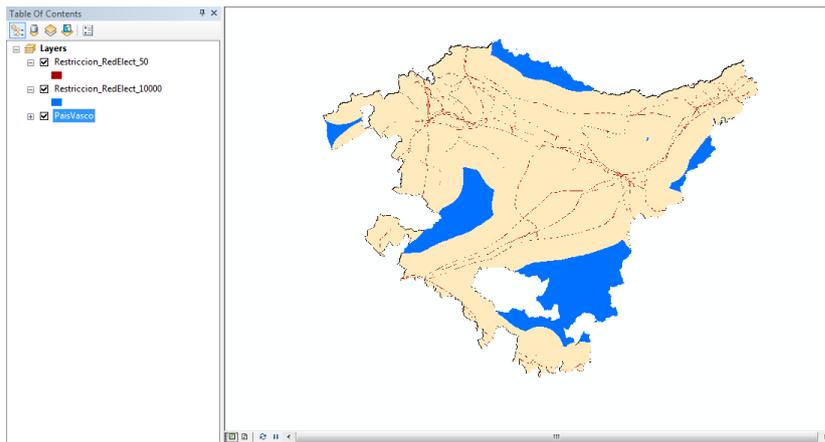


Figura 77: Zonas restringidas por factores de la Red de Alta y Media-Alta tensión. Fuente: Elaboración Propia

5.1.2.3 Resultados.

El resultado de la superposición y la intersección mediante diferentes herramientas de ArcGIS, de todos los factores anteriores explicados es el Mapa de Viabilidad para instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.

Tras el estudio de todos los factores se ha procedido a su unión para la obtención de una capa de entidad definitiva que nos muestre las zonas validas para nuestro análisis.

Capas de Superposición: Zonas validas de orientación y pendiente, Zonas validas de Usos del suelo, Zona de influencia de Red Viaria (150m – 50km), zona de influencia de la red eléctrica (50m -10 km)

Capas de Intersección: Hidrografía, Núcleos de Población y Espacios Protegidos, Zona de Influencia de la Red Ferroviaria.

Se ha tenido que superponer todas las capas de entidad pertenecientes al grupo de Capas de Superposición, con la ayuda del GIS y una herramienta llama *MERGE*, que nos permite unir toda la información geográfica.

Posteriormente se ha procedido a eliminar todas aquellas capas de entidad que corresponden al grupo de Capas de Intersección, ya que representan las zonas que hay que restringir de Euskadi.

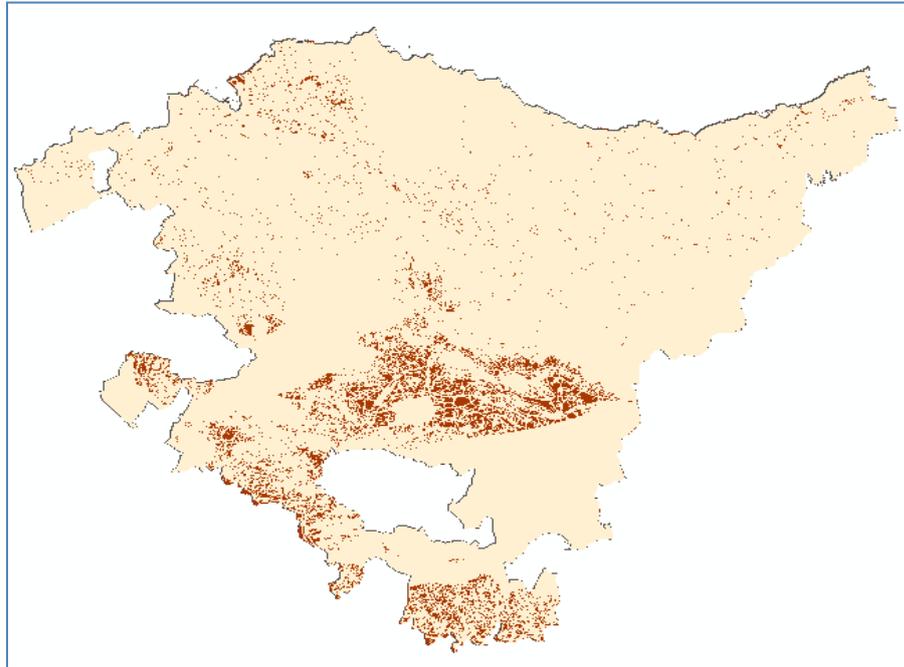


Figura 78: Zonas óptimas para la ubicación de instalación ESF en Euskadi. Fuente: Elaboración propia.

Por último deberíamos dar pesos a nuestras zonas óptimas, para poder determinar las zonas de idoneidad. Debido a la falta de recursos y de información no se ha podido determinar un método de ponderación de los diversos factores, por tanto se ha optado por determinar los pesos de idoneidad según la radiación solar que se tenga en una zona determinada, tomando la media de cada polígono que se ha formado en nuestra capa de entidad de Zonas óptimas final.

Para esta representación solo hemos necesitado realizar una extracción por máscara de la superficie de interpolación de radiación solar, obtenida por el método de *kriging*.

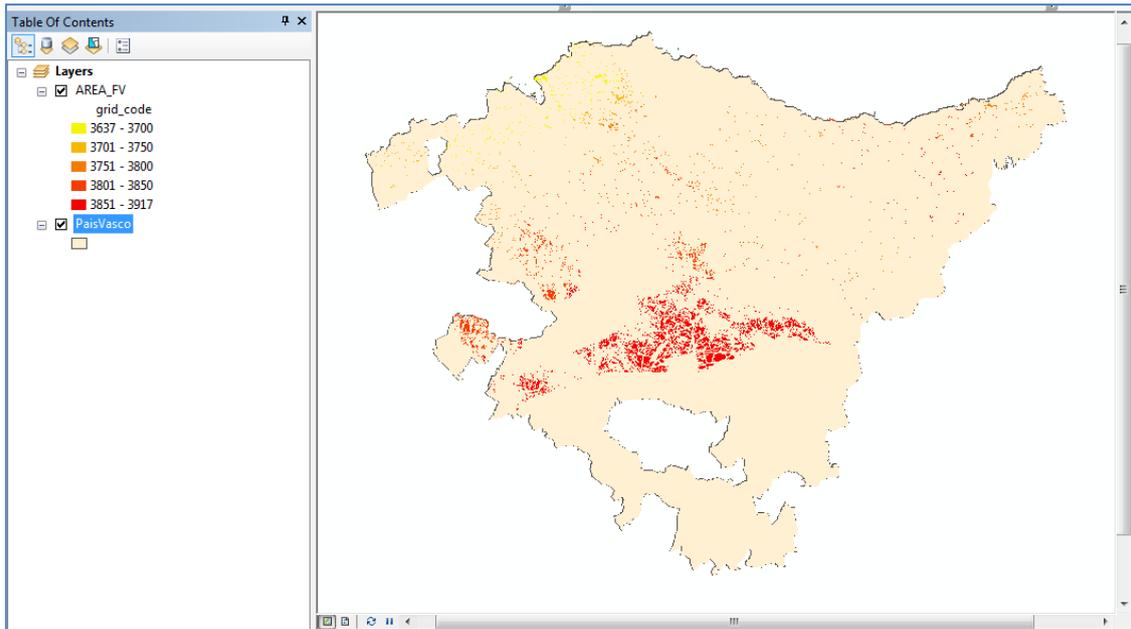


Figura 79: Mapa de viabilidad con información sobre el recurso solar. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que en el resultado no se han obtenido como viables grandes extensiones de terreno, 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 compatible. Este tipo de energía renovable, denominada energía urbana, la trataremos a continuación, poniendo como ejemplo la ciudad de Vitoria.

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

En cuanto a los resultados de la interpolación con el método utilizado, sabiendo que el objetivo final no se basa en el conocimiento de la bondad de los resultados obtenidos. Comentaremos que la precisión de estos resultados, al solo realizar el análisis a partir de una variable (el valor del recurso solar) y no teniendo en cuenta la altitud

(valor con una aportación grandísima en la distribución del recurso solar sobre la superficie), no es la más óptima.

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, dicho resultado se aleja de la realidad. Posiblemente, a pesar de la documentación previa realizada, el desconocimiento en profundidad de las energías renovables haya ocasionado la no obtención de unos resultados más cercanos a los esperados que hubiera sido lo deseado.

5.2 Análisis Solar Urbano

Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía suficiente equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía eléctrica.. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte (que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total) y la dependencia energética.

Esta parte del proyecto se centra en el autoconsumo fotovoltaico, es decir, en la producción individual de electricidad para el propio consumo a través de paneles solares fotovoltaicos. Esta forma de consumo está dirigida tanto a familias como a empresas.

Existen dos tipos de sistemas de autoconsumo:

- A) Sistemas de autoconsumo aislados: Reducen el consumo instantáneo de REE (Red Eléctrica de España) o se almacena la electricidad producida en baterías para su posterior uso
- B) Sistemas de conexión a la red: Permiten verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica, lo que supone obtener el suministro de electricidad con el mecanismo de compensación diferida o “balance neto”. Este mecanismo es un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red, los excesos de producción del sistema de autoconsumo.

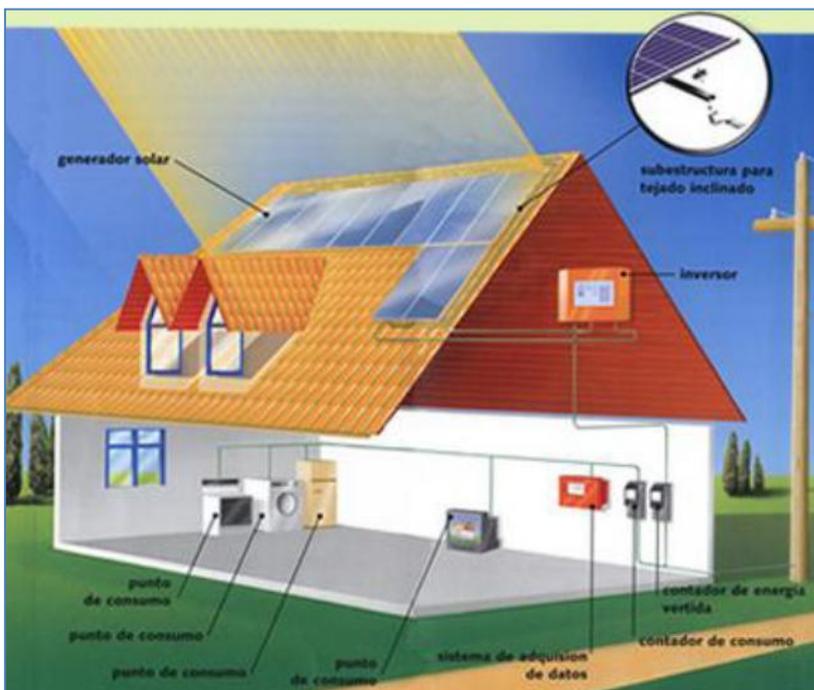


Figura 80: Elementos de la energía solar urbana. Fuente: blog Bio-renovable

El objetivo que se persigue es servir a los ciudadanos información para identificar la posibilidad de incorporar en sus cubiertas, paneles solares fotovoltaicos y poder estimar la cantidad de energía que podrían generar.

A continuación, se explica cómo se ha obtenido la energía fotovoltaica que recibe cada tejado de Vitoria-Gasteiz para

posteriormente publicar la información mediante un visor web y que sea de utilidad a la ciudadanía. Además, para facilitar a cada individuo la búsqueda del edificio de su interés, se incluye un callejero.

5.2.1 Arquitectura de datos. Datos de partida

Antes de realizar el análisis, se crearon dos geodatabases de archivos en las que se almacenaron los datos utilizados en Vitoria. Por un lado, en la geodatabase “Energia_Urbana”, están todos los datos que intervienen en el análisis con el que se obtiene el potencial de cada tejado, y por otro, los datos que se utilizaron para hacer el callejero, en la geodatabase “Callejero”. Todos los datos utilizados se proyectaron a Web Mercator ya que el fin último de los resultados es la publicación online de éstos, y los mapas base elegidos para el visor web están en esta proyección. Esta elección, como se explica en capítulos anteriores, se debe a que se consigue una mayor eficiencia del visor.

La geodatabase “Callejero” contiene una serie de clases de entidad vectoriales. Para generar el callejero sólo vamos a utilizar la clase de entidad puntual “Portal_PK” que representa el lugar geográfico donde se localiza cada edificio de Vitoria. Su tabla de atributos contiene información del tipo y nombre de calle, el número de portal y la letra. Para crear el callejero de la forma más simple, creamos un campo (*Dirección*) que contiene toda esta información. Así, cuando se genere el callejero, solo se tendrá que enlazar con un campo de la tabla.

Portal_PK								
OBJECTID *	Shape *	FUENTE	TIP VIA	NOM VIA	NUM POR	LET POR	Direccion	
813	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	23	F	AVDA Olarizu, 23F	
1086	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	24	<Nulo>	AVDA Olarizu, 24	
758	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	24	F	AVDA Olarizu, 24F	
764	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	25	F	AVDA Olarizu, 25F	
1074	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	26	<Nulo>	AVDA Olarizu, 26	
730	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	26	F	AVDA Olarizu, 26F	
749	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	27	F	AVDA Olarizu, 27F	
1052	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	28	<Nulo>	AVDA Olarizu, 28	
1119	Punto	País Vasco/Euskadi	AVDA	Olarizu	2	A	AVDA Olarizu, 2A	

Tabla 11: Tabla de atributos de la clase de entidad Portal_PK. En naranja el campo añadido.

Fuente: Cartociudad. Elaboración propia.

La geodatabase “Energía_Urbana” contiene la clase de entidad o *feature class* de polígonos “EdificacionesV” que representa las cubiertas de las edificaciones de Vitoria Gasteiz. La información que aporta su tabla de atributos es la siguiente:

- OBJECTID 1: Identificador único de la clase de entidad vectorial
- Shape: Geometría vectorial asociada.
- NOMBRE: Muestra el nombre por el que se conoce a determinados edificios, si procede. Si son edificios tipo viviendas, sin nombre propio, se le asigna en este campo un “9000”.
- LEYENDA 1: Describe el tipo de edificación que representa la entidad de la tabla.
- Shape_Length y Shape_Area son la longitud de su perímetro y el área de cada identidad de la tabla.

EdificacionesV						
	OBJECTID	Shape *	NOMBRE	LEYENDA 1	Shape Leng	Shape Area
	4702	Polígono	Ajuria Enea	Edificio singular	91,559279	519,61995
	4667	Polígono	Ajuria	Edificacion generica	542,379983	4523,02065
	4674	Polígono	Aingeruak / Los Áng	Edificio religioso	466,292637	5120,1714
	3683	Polígono	Acenor	Nave	1372,159438	53344,5203
	2724	Polígono	Abetxuko ikastola	Edificacion generica	229,054007	1806,79365
	2725	Polígono	Abetxuko	Edificacion generica	175,24794	1180,1888
	7884	Polígono	Abeletxea / Granja	Nave	42,570003	70,5239
	1	Polígono	9000	Edificacion generica	66,732658	252,7698

Tabla 12: Tabla de atributos de EdificacionesV. Fuente: Geoesukadi. Elaboración propia.

También se utilizaron como datos de partida 37 modelos digitales de elevaciones (MDEH) de toda la superficie perteneciente a Vitoria con el objetivo de calcular, a partir de ellos, la radiación incidente. Estos datos l dar fueron capturados con una precisión de 1 metro, lo que se considera suficiente para este tipo de análisis.

5.2.2 Análisis de la radiación solar en tejados

Para saber la energía que pueden generar los paneles solares en un tejado debemos saber la radiación total incidente sobre la superficie de dicho tejado.

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la difusa son aprovechables. En nuestro caso nos interesa la radiación total o global, que es la suma de las dos componentes.

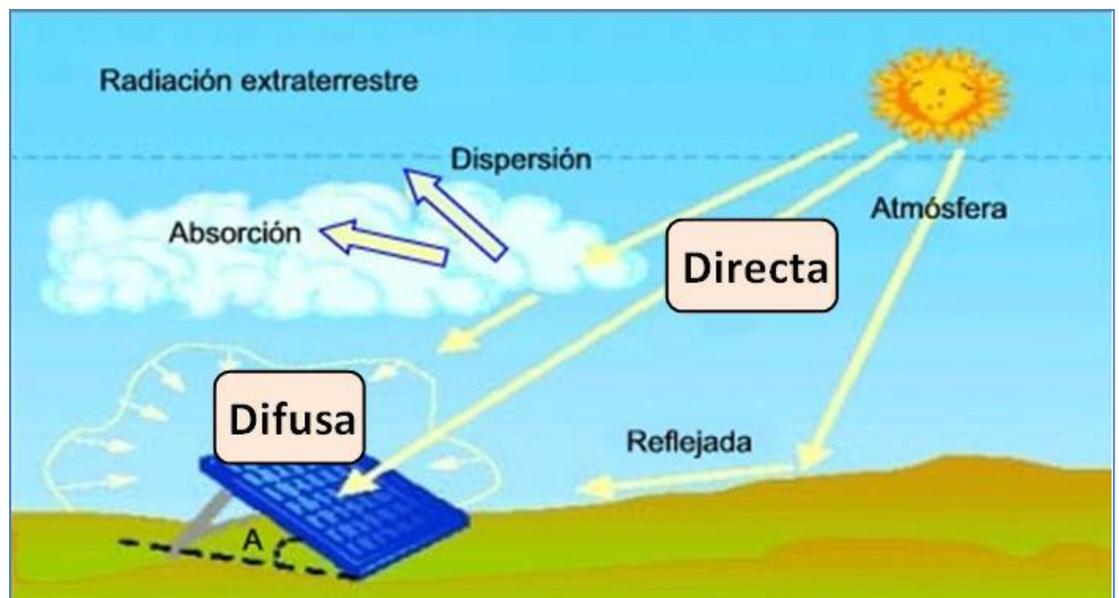


Figura 81: Componentes de la radiación total. Fuente: Internet

La herramienta de ArcGIS **Area Solar Radiation** calcula la radiación total que recibe un terreno o un lugar específico, basándose en métodos

de algoritmos de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) y ampliados por Fu y Rich (2000, 2002).

El cálculo de la insolación directa, difusa y, por ende, la global, se calcula para la ubicación de cada entidad, o para cada lugar de la superficie topográfica, lo que genera mapas de insolación para un área geográfica completa. Tiene en cuenta las sombras que proyectan unos objetos sobre otros a lo largo del día, algo fundamental en el cálculo de la radiación solar recibida en una zona de edificios, como es el caso de la ciudad de Vitoria.

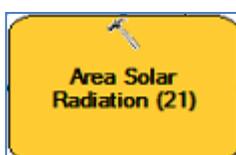


Figura 82: Imagen de herramienta en ModelBuilder.

La herramienta genera tres ficheros ráster, uno de radiación directa, otro de radiación difusa y otro de radiación global que contiene valores de celda decimales que representan los vatios hora por metro cuadrado (Wh/m^2) que recibe cada una de estas celdas.

En nuestro caso calculamos la radiación global de toda la superficie de Vitoria utilizando los modelos digitales de elevaciones (datos líder de 1 m de precisión) con la herramienta de ArcGIS **Area Solar Radiation**.

Se ha tenido en cuenta el lugar geográfico donde se encuentra la ciudad de Vitoria, latitud 43° , y el número de días nublados que tiene la ciudad a lo largo del año. La siguiente tabla muestra de datos meteorológicos a partir de los cuales se ha calculado el porcentaje de días nublados del año 2012 (se corresponde con el parámetro "Proporción Difusa" de la herramienta).

Meteorología: Días Nubosos	Días
Intervalos nubosos con nieve	4
Cubierto con lluvia	16
Muy nuboso con lluvia	57
Nuboso con lluvia	7
Intervalos nubosos con lluvia	21
Nuboso	48
Intervalos nubosos	48
Poco nuboso (86 días)	43
Nuboso con nieve	2
Cubierto con nieve	1
Suma	247
Media	68
Proporción Difusa	32

Tabla 13: Tabla de días nublados en Vitoria. Fuente: www.quetiempo.es

Como el proyecto pretende ser útil a la hora de hacer un cálculo de la rentabilidad anual en la vivienda, la radiación global calculada debe ser anual, considerando los 365 días del año 2012. A continuación una muestra de la ventana de diálogo con los valores característicos de Vitoria como parámetros.

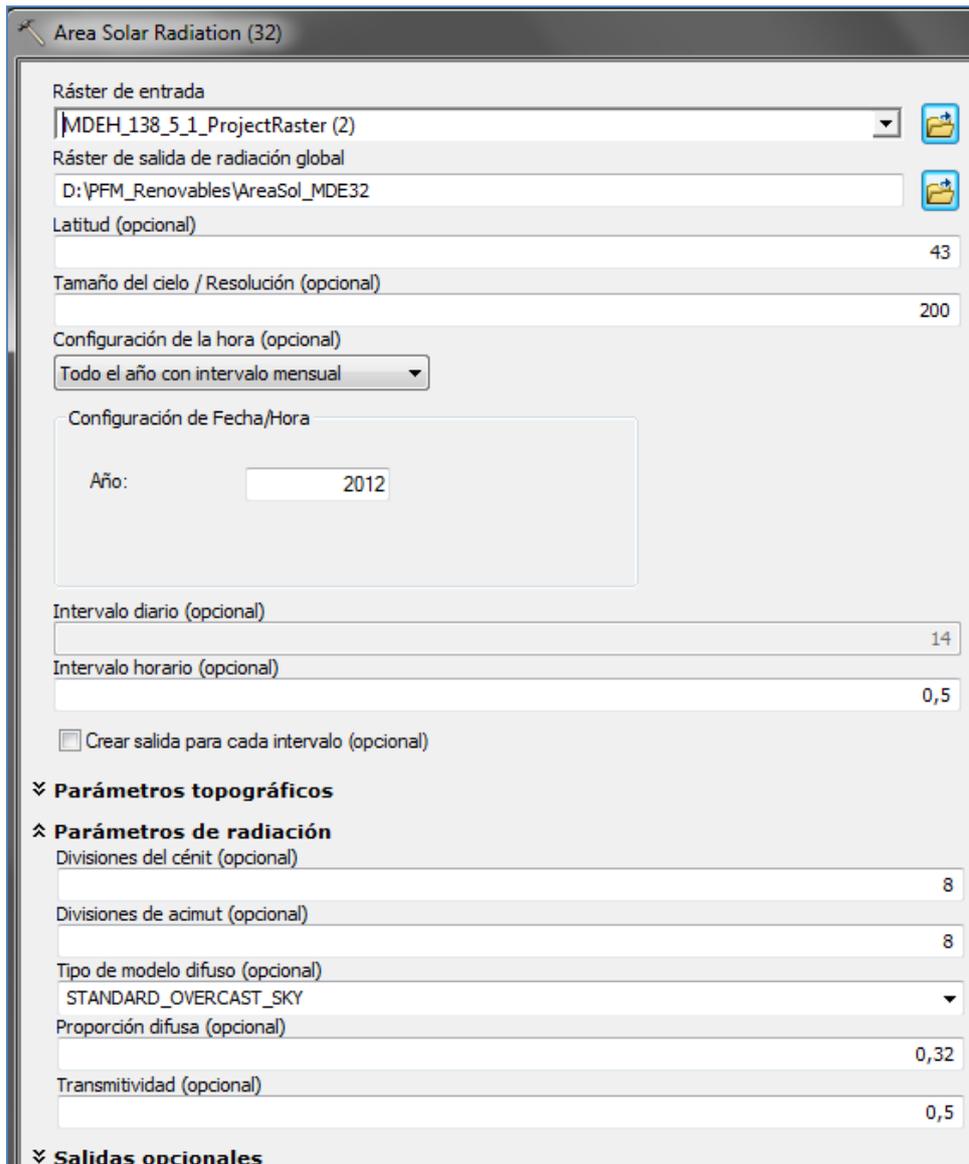


Figura 83: Ventana de diálogo de Area Solar Radiation. Fuente propia.

Al no tener disponible un equipo de suficiente potencia, se procesaron cada uno de los 37 modelos por separado, tardando en cada uno de ellos una media aproximada de 5 horas. A continuación se unieron todos los ráster en uno para agilizar el manejo del conjunto de datos de radiación de toda la ciudad

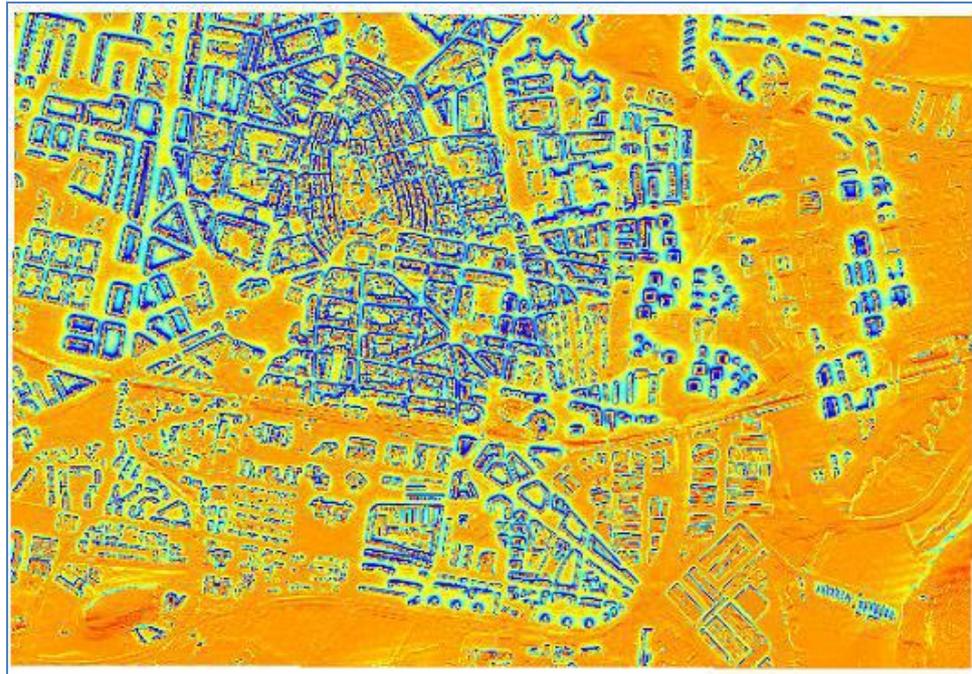


Figura 84: Resultado de la herramienta Area Solar Radiation. Fuente y elaboración propia.

Como nos interesa conocer la radiación en cada tejado, hacemos una media zonal de los datos del ráster obtenido anteriormente tomando como zonas las cubiertas de los tejados y asignamos estos valores de radiación, en (Wh/m^2) , a cada uno de los tejados de Vitoria mediante una unión espacial.

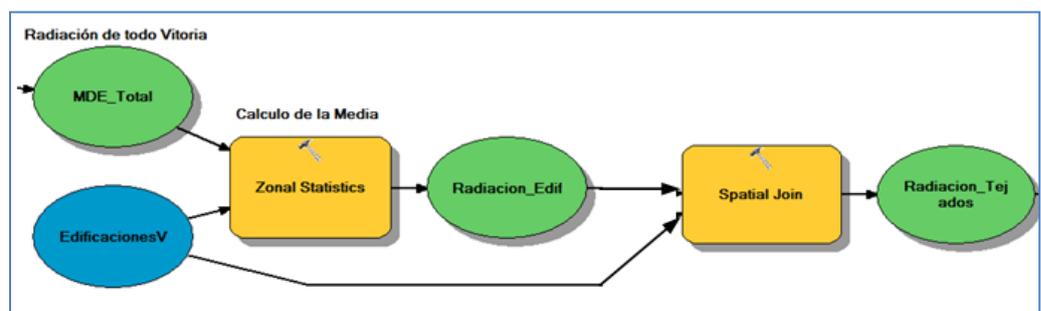


Figura 85: Imagen de ModelBuilder (Nota: Hay herramientas intermedias que se han eliminado por ser solo necesarias para posibilitar los cálculos y carecen de importancia). Fuente y elaboración propia.

Al ser estos unos datos dirigidos a la ciudadanía, debemos mostrar los datos en las unidades con las que estén familiarizados. La unidad utilizada normalmente para medir el consumo de energía eléctrica es el kWh , por ello hemos dividido el valor numérico de radiación entre 1000 y lo hemos multiplicado por la superficie, en m^2 , del tejado

correspondiente. Finalmente, se ha obtenido una clase de entidad vectorial de las cubiertas de los edificios de Vitoria con la radiación que reciben a lo largo del año en **kwh**:

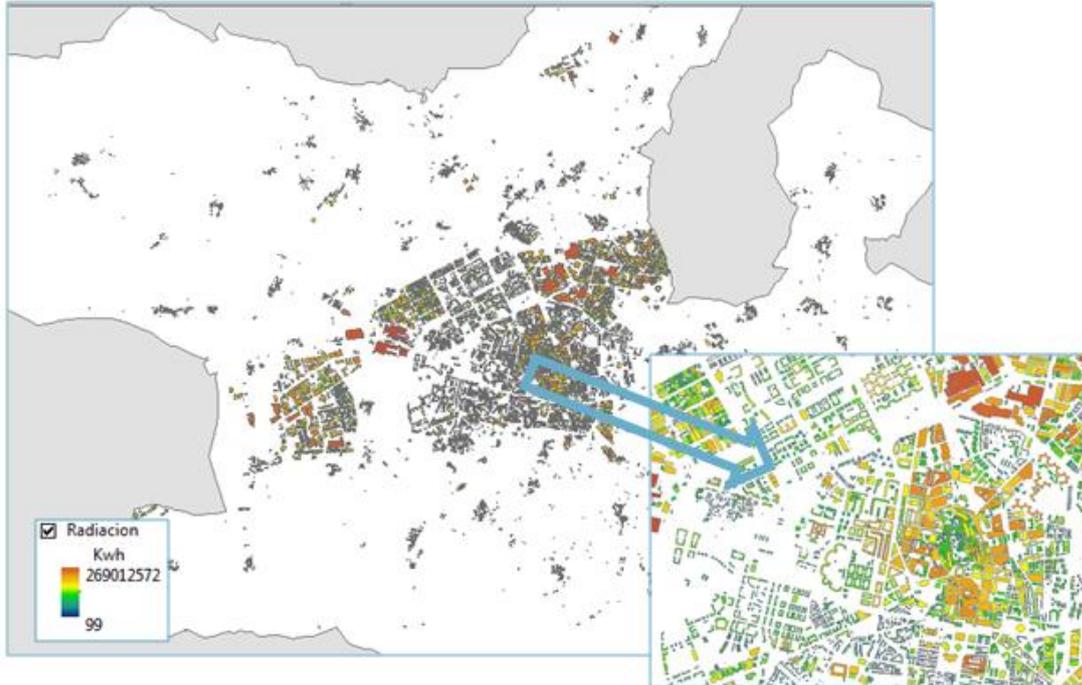


Figura 86: Radiación que reciben los tejados de Vitoria en kwh. Fuente y elaboración propia.

Abajo una muestra de la tabla de atributos obtenida en el proyecto. El campo “SunPower” muestra la radiación que recibe cada cubierta en kwh, producto de multiplicar la radiación recibida en cada metro cuadrado del tejado (la media) por la superficie del tejado.

SunPower
276530,666739
203397,568683
29582,426116
52177,596598
30501,762761
264864,880664
31594,418387
832143,814724
929409,692281
315536,606037
20552,64134
202459,248145
23150,189312
161088,636752
7701,287968
749853,10086

Tabla 14: Radiación recibida en tejados. Fuente y elaboración propia

5.2.3 Cálculo de la energía solar producida por paneles solares

Sabiendo la radiación anual que recibe un edificio en su cubierta, lo único que resta es saber las características del panel que se va a instalar para poder hacer la comparación oportuna con la factura de la luz. Concretamente necesitamos la potencia nominal y la eficiencia del tipo de panel elegido.

La potencia nominal hace referencia a la potencia que demanda el panel en condiciones de uso normales y la eficiencia es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica a partir de la luz solar total absorbida por el panel, siempre que dicha célula esté conectada a un circuito eléctrico. Estos dos valores característicos se encuentran en las fichas técnicas de los paneles y son datos que los fabricantes manejan de forma habitual.

Teniendo estos datos, es fácil saber la energía que recibirá una vivienda si pone paneles solares a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Energía (kwh)} = \text{Rad} \left(\frac{\text{kwh}}{\text{m}^2} \right) \cdot S(\text{m}^2) \cdot \text{PN (kw)} \cdot E$$

Siendo:

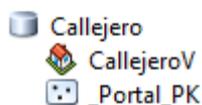
- Rad: La radiación calculada por la herramienta *Area Solar Radiation* y dividida entre 1000 para obtenerla en las unidades que nos interesan.
- S: Superficie que van a ocupar los paneles en la cubierta de una vivienda
- PN: Potencia nominal del panel o paneles que vamos a instalar en la cubierta de nuestro edificio. Los valores de este parámetro suelen darse en watts, por ejemplo 400 w, 500w.
- E: Eficiencia energética del panel que vamos a instalar en la cubierta. Los valores suelen rondar el 20%

Para que cada ciudadano, empresa o propietario pueda interactuar con los datos obtenidos, se ha desarrollado una herramienta mediante la cual el usuario, introduciendo los valores característicos del panel, puede saber qué energía se generaría en el edificio que le interese.

5.2.4 Creación del callejero

Como complemento, se ha desarrollado un callejero para que el usuario de la aplicación pueda encontrar de forma fácil y rápida el edificio de su interés.

Para ello, creamos en la geodatabase un Localizador de direcciones llamado “CallejeroV”.



Se ha escogido el estilo general de *single key* ya que éste permite crear localizadores a partir de los datos de un único campo de la tabla que contenga las direcciones.

La tabla que hemos utilizado para la geocodificación ha sido la tabla de atributos de *Portal_PK*, eligiendo el campo “Direccion” para identificar de forma inequívoca las ubicaciones de cada edificio. Así el usuario al introducir una dirección, se asociará esa selección con un punto ubicado en un edificio.

El campo “Direccion” se generó concatenando los valores de campos que contenían información del tipo de vía, el nombre de la calle, el número, el portal, etc.

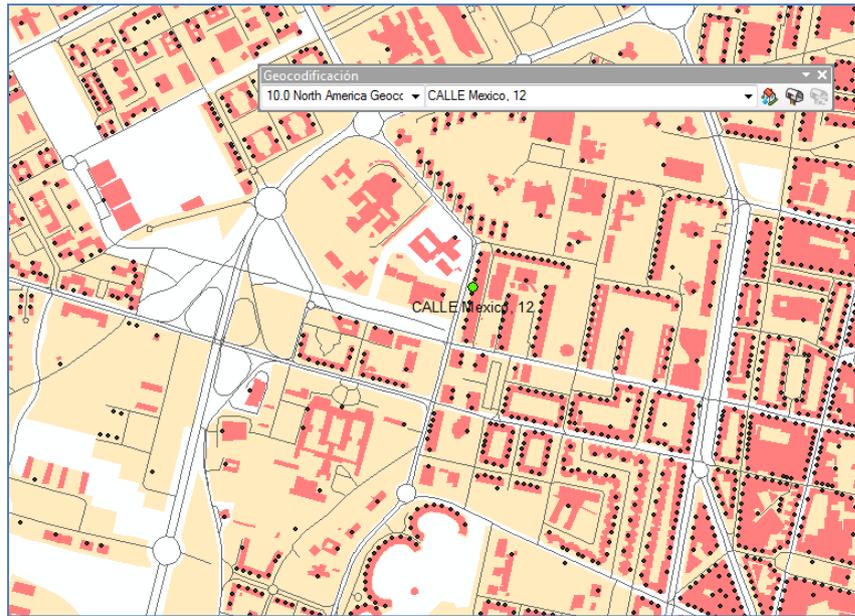


Figura 87: Funcionamiento del geocodificador en ArcMap. Fuente y elaboración propia.

6. PUBLICACIÓN DE SERVICIOS

6. PUBLICACIÓN DE SERVICIOS

Un servicio SIG es la representación de un recurso SIG que un servidor pone a disposición de otras máquinas a través de la red. En este proyecto hemos creado todos los recursos en ArcGIS Desktop (en ArcMap en su mayoría) y los hemos publicado con ArcGIS Server para que la aplicación web pueda tirar de ellos a petición del usuario.

6.1 Tecnología utilizada

Los productos ArcGIS Server y ArcSDE, de Esri, permiten publicar servicios en internet que tengan conexión con la geodatabase.

ArcGIS Server

ArcGIS Server (10.0) es una plataforma que permite compartir la información geográfica y las capacidades de los SIG con otros en forma de servicios SIG.

Un servicio es una representación de un recurso SIG que un servidor pone a disposición en otros equipos de la red. Esta red puede ser local o puede ser la red de internet. Los equipos de la red que acceden al servicio se denominan clientes.

Los recursos SIG se comparten al alojarlos en el servidor SIG (ArcGIS Server) y al permitir a las aplicaciones web de cliente utilizar e interactuar con dichos recursos. Las principales ventajas de compartir los recursos SIG en un servidor de este tipo son las mismas que compartir cualquier dato a través de cualquier clase de tecnología del servidor:

- Los datos se administran de forma centralizada
- Soporta múltiples usuarios
- Proporciona a los clientes la información más actualizada

Lo que diferencia a un servidor SIG de otro servidor es que proporciona acceso a la funcionalidad SIG que contiene el recurso. Es por esto por lo que en este proyecto se ha decidido trabajar con ArcGIS Server.

Arquitectura de ArcGIS Server:

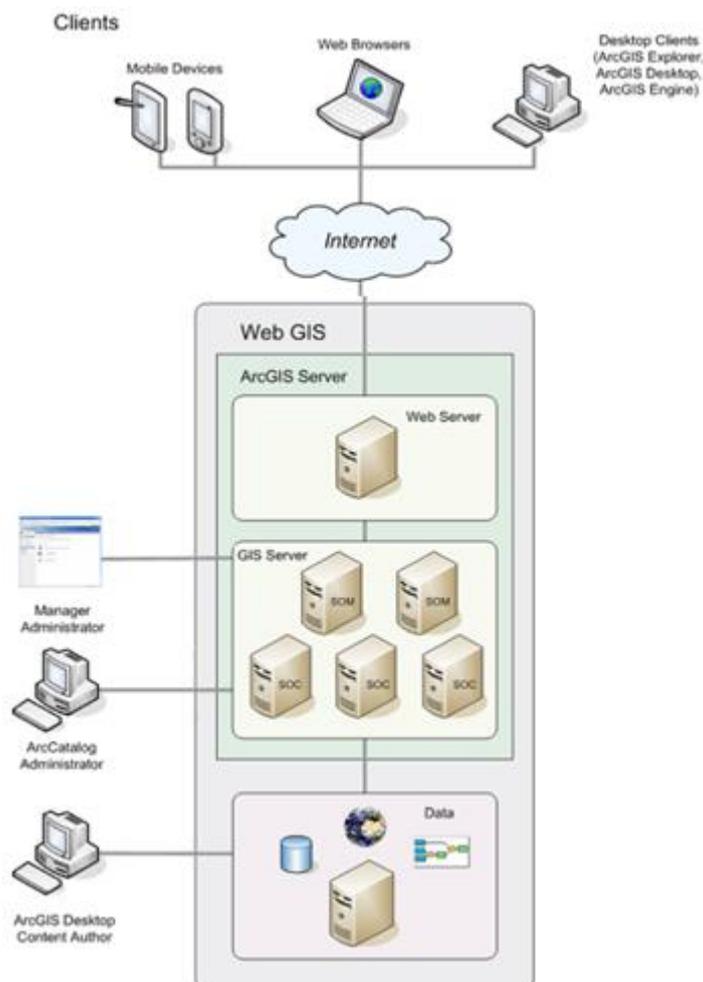


Figura 88: Arquitectura de ArcGIS Server. Fuente: Recursos de Esri

GIS Server: Es el servidor SIG que permite publicar la información de mapas, herramientas de geoprocésamiento y los diferentes recursos. Está formado por dos partes:

- El *Server Object Manager* (SOM): Administrador de los servicios que se ejecutan pudiéndose conectar a uno o

más SOC. El SOM es el encargado de aceptar y dirigir las peticiones a los diferentes servicios.

- El *Server Object Container* (SOC): Alojados los servicios que administra el SOM. Se encarga de realizar las tareas que le indica el SOM

Web Server: Se encarga de manejar los servicios y aplicaciones Web que consumen los recursos del Servidor SIG.

Clientes: Las aplicaciones que se conectan a los servicios. En este proyecto el cliente es la Web

Datos: Recursos que son consumidos por los servicios de ArcGIS Server.

Geodatabase ArcSDE

Para poder realizar edición en la aplicación web sobre las clases de entidad de los parques eólicos y los parques solares, dichas clases de entidad deben estar almacenadas en una Geodatabase de tipo ArcSDE antes de publicar el servicio con ArcGIS Server.

En el proyecto hemos utilizado hasta ahora la geodatabase de ficheros que almacena información alfanumérica y geográfica en una carpeta de ficheros binarios con una capacidad máxima de 1 TB por dataset almacenado escalable a 256 TB. Este tipo de geodatabase está pensada para un único usuario y pequeños grupos de trabajo.

En cambio, la geodatabase de ArcSDE, es multiusuario permitiendo la lectura y escritura de varios usuarios. Esto es así porque ArcSDE permite el acceso y administración de los datos geoespaciales dentro de las bases de datos relacionales. ArcSDE es un servidor de datos avanzado que proporciona capacidad de almacenamiento, gestión y acceso a datos geoespaciales dentro de las bases de datos relacionales desde cualquier aplicación ArcGIS.

ArcSDE combina la lógica de los sistemas de información geográfica con la gestión de información en Sistemas de Gestión de Bases de Datos y además soporta todo tipo de datos (tablas, datos vectoriales, ráster...), es capaz de manejar grandes volúmenes de información y garantiza la integridad al basarse en estándares OGC y ISO.

En el proyecto se ha utilizado la geodatabase de ArcSDE Workgroup que utiliza SQL Server Express 2008 como sistema gestor, un producto gratuito de Microsoft. Se ha elegido este y no otro porque el objetivo es generar un proyecto prototipo y consideramos que con 10 usuarios con permisos de lectura y escritura es suficiente. Si el producto saliera a producción se deberá utilizar una geodatabase Enterprise que no tiene límite en cuanto a usuarios.

El versionado de ArcSDE:

Al poner al servicio de la ciudadanía una base de datos espacial que se pueda editar se corre el peligro de que los datos introducidos no sean correctos. Por eso hemos hecho un versionado de la geodatabase de "Parques_Esp" que será la que editarán los usuarios, quedando la versión DEFAULT con los datos originales.

El administrador de la base de datos será el que decidirá si la edición realizada por los usuarios es válida para pasar los datos de la versión de edición a la versión DEFAULT de la geodatabase.

El versionado permite que varios usuarios que acceden a la aplicación puedan editar los mismos datos sin tener que duplicar la base de datos, viendo en cada sesión, sólo lo que ellos están editando. El usuario edita dentro de su propia vista o estado, es decir, cuando inicia la sesión de edición trabaja con su propia representación de la versión que otros usuarios que se conecten simultáneamente a la aplicación no podrán ver hasta que el usuario editor no los ha guardado.

6.2 Publicación y configuración de servicios

El flujo de trabajo para la creación de un servicio que se ha seguido en el proyecto ha sido el siguiente:

- Creación del recurso SIG con ArcGIS Desktop (ArcMap)
- Publicar el recurso como un servicio mediante ArcGIS Server
- Configurar el servicio
- Utilizar el servicio a través de una aplicación web

Los tipos de servicio y las capacidades de cada uno de ellos se han elegido teniendo en cuenta la funcionalidad que se quería dar con cada uno de ellos.

Para la edición se ha publicado el documento de mapa que representa los parques eólicos y solares y se ha habilitado la capacidad “Feature access”.

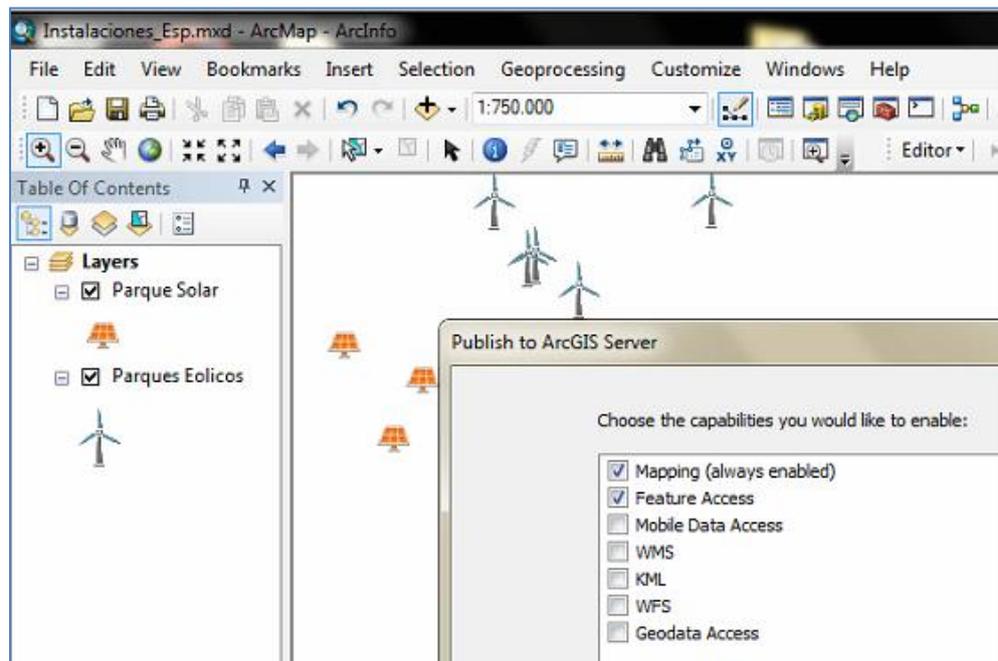


Figura 89: Publicación del servicio de edición

Antes de publicar dicho documento de mapa (mxd) se han creado unas plantillas de edición para que el usuario pudiera incluir o modificar la información referente a los parques de forma más intuitiva.

Para mostrar las capas resultado de los análisis espaciales para ubicar nuevos parques eólicos y solares en el país vasco en el lugar más idóneo hemos publicado las capas sólo a nivel de visualización como Definición de Servicio de Mapa (msd) con capacidades, relacionadas con el modo de dibujado y representación, “mapping”, “Kml” y “WMS” que usa un mapa para crear un servicio compatible con la especificación de servicio de mapas web de OGC.

Los servicios de los recursos tanto eólico como solar se incluyó también la capacidad “WCS” que usa capas ráster en un mapa para crear un servicio que es compatible con la especificación de OGC.

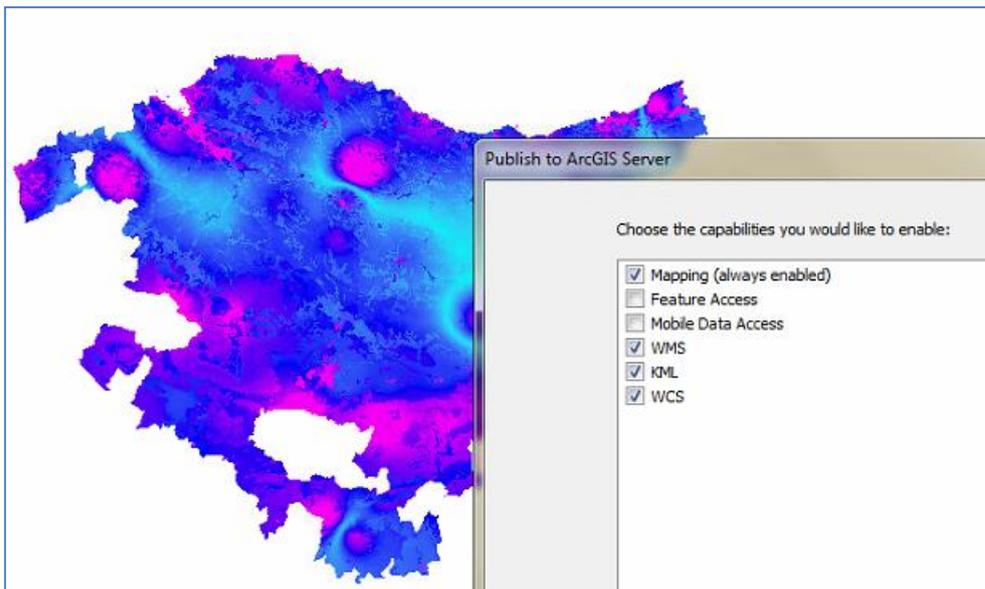


Figura 90: Publicación del recurso eólico. Capacidades habilitadas en el servicio.

Por último, para la zona de Vitoria se han publicado por un lado el msd mapa de los edificios de Vitoria mostrando la radiación incidente en cada uno de ellos con las capacidades que elegimos para el resto de servicios similares en este proyecto (“mapping”, “kml”, “WMS”) y por otro el callejero.

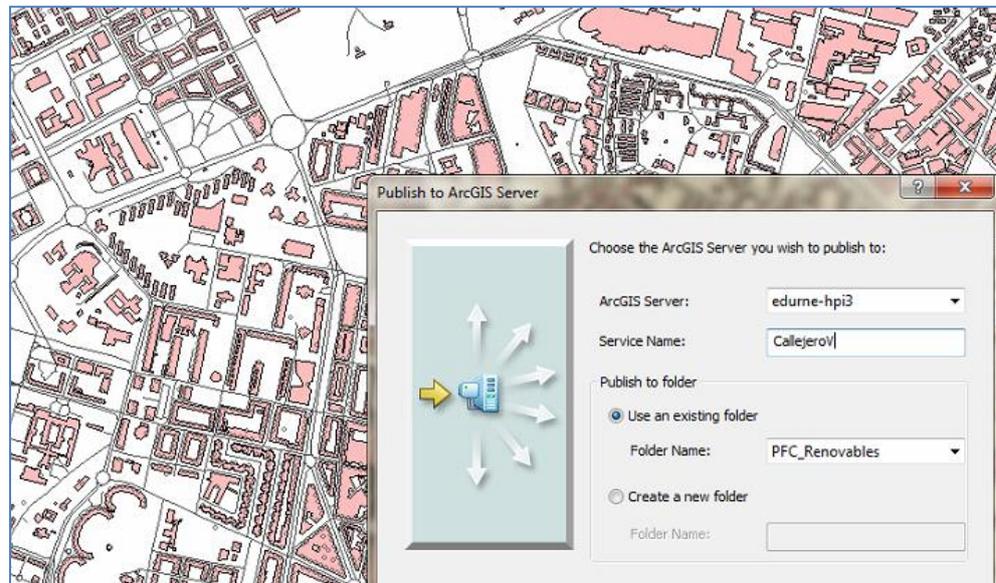


Figura 91: Publicación del Callejero de Vitoria

Tabla resumen de los servicios publicados

Propósito	Servicio	Recurso	Tipo de datos	Capacidades del servicio
Edición de parques	Edición	PanelesSolares.msdx (gdb versionada)	Vectoriales	Feature Access, Mapping
	Edición	PanelesEolicos.msdx (gdb versionada)	Vectoriales	Feature Access, Mapping
	Geometría	No se necesita ningún recurso		N/A
Análisis solar País Vasco	Imagen	RecursoSolar.msdx	Ráster	Mapping, kml, wcs
	Mapa	ZonasAptassolar.msdx	Vectorial	Mapping, kml, wms
	Mapa	IdoneidadSolar.msdx	Vectorial	Mapping, kml, wms
Análisis eólico País Vasco	Imagen	RecursoEolico.msdx	Ráster	Mapping, kml, wcs
	Mapa	ResulVel.msdx	Vectorial	Mapping, kml, wms
	Mapa	ResultadosNivelAptitud.msdx	Vectorial	Mapping, kml, wms
Análisis en Vitoria	Mapa	Radiacion_Vitoria	Vectorial	Mapping, kml, wms
	Geocodificación	CallejeroV		N/A

Tabla 15: Resumen de los servicios publicados

7. DESARROLLO VISOR WEB

7. DESARROLLO VISOR WEB

La creación de un visor web es la solución para que el público tenga acceso a los recursos SIG generados y pueda interactuar con los datos y visualizar la información geográfica que se ha obtenido después de realizar la digitalización y los análisis pertinentes.

La aplicación está pensada para un cliente ligero con arquitectura cliente-servidor que depende del servidor central que será quien ejecute las operaciones para luego enviar la respuesta a la petición que haga el usuario. De esta forma el usuario que quiera hacer uso de la aplicación no va a necesitar instalarse nada en su equipo, le valdrá con una conexión a la red.

7.1 Tecnología utilizada

Se ha utilizado la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de ArcGIS para Silverlight para el diseño de la aplicación web ya que da como resultado visores atractivos e interactivos.

Para poder hacer uso de la dicha API se ha instalado Microsoft Visual Web Developer 2010 junto con Microsoft Silverlight 4 tools for Visual Studio 2010 que es un paquete de complemento que proporciona funcionalidad de herramientas para Microsoft Silverlight y amplía las posibilidades para crear aplicaciones usando C#.

También se ha usado Microsoft Expression Blend SDK for Silverlight, una herramienta orientada al diseño de la aplicación, que instala librerías y compilador. Integra fragmentos de código empaquetados que se pueden utilizar simplemente arrastrando el objeto que desees utilizar y luego personalizando sus propiedades.

En definitiva, la plataforma utilizada para el desarrollo del visor ha sido .NET y hemos trabajado con el lenguaje C# y XAML en el entorno de Visual Studio 2010.

7.2 Diseño de la aplicación

Como se ha dicho, la aplicación web debes ser ante todo intuitiva y atractiva para que los usuarios tengan una buena experiencia a la hora de usarla. Además se han elegido unos colores y un logo de aplicación relacionados con la energía renovable.

El proceso general que se ha llevado a cabo a la hora de construir la aplicación con Silverlight implicó una serie de pasos:

1. Añadir las librerías necesarias a la aplicación y declararlos en la página XAML

```
xmlns:userControls="clr-namespace:ESRI.ArcGIS.SilverlightMapApp"
```

2. Añadir controles y elementos de diseño a la aplicación, como botones o paneles. En Silverlight se puede hacer de forma visual además de a través de la escritura de código
3. Añadir código a la aplicación agregando propiedades XAML o implementando eventos de los controles y elementos de diseño. (Este código añadirá funcionalidad a la aplicación, no sólo diseño y se verá en el siguiente apartado)

La aplicación tiene dos paneles que aparecen visibles nada más arrancar la aplicación que dan lugar al resto de paneles de la aplicación a través de unos botones. La principal, en la esquina superior derecha, muestra el título, el logo y 5 botones (ToggleButtons) relacionados cada uno con un tema específico del proyecto.



Figura 92: Panel principal de la aplicación

El primero de los botones de la ventana principal simboliza la ubicación de paneles solares. Este botón activa una ventana de edición

que permite agregar paneles, eliminarlos y modificar los atributos de los ya existentes.

Como se ha explicado en el capítulo anterior esto se hace mediante tecnología ArcSDE y la información no pasaría a la base de datos original sino a una versionada. Los administradores de la geodatabase serían los que deben dar el visto bueno para que la información que introduzcan los usuarios pase a formar parte de la base de datos de origen o principal. De esta forma, aseguramos una fiabilidad de la base de datos.

El siguiente botón simboliza la ubicación de parques eólicos, y hace lo mismo que el anterior pero con este tipo de parques.

El siguiente se relaciona con la ubicación idónea de parques solares y parques eólicos en el País Vasco. Al pulsarlo aparece una ventana que permite elegir el tipo de energía renovable de interés.



Figura 93: Ventana de idoneidad de parques solares y eólicos

El cuarto es el de energía solar urbana, que activará la ventana correspondiente para que se introduzcan los datos del panel solar que se quiere colocar y, a través de ella, si el usuario quiere, puede acceder al callejero para encontrar más fácilmente el edificio.



Figura 94: Ventanas de energía solar urbana

Por último, aparece el botón de información mediante el cual se accede a la información de la aplicación y se muestra el nombre de las autoras.

En la esquina superior izquierda se muestra el panel de la barra de herramientas en la que se puede activar o desactivar la visualización de coordenadas del cursor en el mapa, cambiar el mapa base según interés del usuario y mostrar o no la leyenda de las capas que se ven en el mapa.



Figura 95: Barra de herramientas

7.3 Funcionalidad de la aplicación

Una vez hecha la estructura de diseño de la aplicación se procedió a implementar cada uno de los eventos necesarios para que la aplicación cumpliera con los objetivos marcados en el planteamiento del proyecto.

7.3.1 funcionalidad genérica

En primer lugar, se ha desarrollado la funcionalidad propia de un visor que surja a partir de un Sistema de Información Geográfica y que muestre distintas capas cartográficas informativas. Las siguientes herramientas son el fundamento de cualquier visor web de estas características:

Escala:

Es imprescindible saber las dimensiones que estás observando en el mapa. En el proyecto hemos elegido una escala gráfica, que representa visualmente lo que mide un determinado segmento a medida que te acercas o te alejas con el zoom.



Figura 96: Escala gráfica

Leyenda:

Al ser este un visor con varias capas informativas de diferentes zonas y características hemos decidido dividir la leyenda en dos partes. Por un lado, la funcionalidad referente a la activación y desactivación de cada una de las capas del mapa a la que le hemos añadido también un control para que se pueda modificar la transparencia de cada capa operacional del mapa.

Por otro lado, la leyenda propiamente dicha con la explicación de la simbología que mostrará solo la información que en cada momento interese, es decir, mostrará la leyenda de los edificios de la radiación de

Vitoria cuando pulsemos el botón que abre las ventanas de diálogo con las herramientas relacionadas con esta temática y la leyenda de las capas del recurso eólico del País Vasco cuando se quiera estudiar la zona idónea para ubicar un nuevo parque eólico.

Visualización de coordenadas planimétricas:

También hemos incluido la funcionalidad de que se puedan ver las coordenadas del ratón por el lugar por donde pases.

Es posible que esta herramienta no tenga demasiada utilidad a nivel de ciudadanía pero a nivel empresarial puede ser de gran ayuda saber las coordenadas planimétricas de un lugar. Por eso esta funcionalidad se puede desactivar pulsando el botón de activación/desactivación.

Esta funcionalidad se ha implementado haciendo uso de unos de los comportamientos que vienen incorporados en la API.

```
#region Boton que muestra coordenadas
private void btnMostrarCoordenadas_Click(object objeto, RoutedEventArgs e)
{
    BehaviorCollection comportamientos = Interaction.GetBehaviors(Map);
    if (comportamientos.Count == 1)
    {
        comportamientos.RemoveAt(0);
    }
    else
    {
        comportamientos.Add(new ESRI.ArcGIS.Client.Behaviors.ShowCoordinatesBehavior());
    }
}
# endregion
```

Figura 97: Código en C# para mostrar las coordenadas

Mapas Base:

Hemos incluido dos mapas de referencia para que el usuario pueda elegir el que sea más conveniente en cada momento: Uno de calles y otro de imágenes.

Esto es de gran utilidad ya que en la aplicación se muestran capas informativas en las que puede interesar ver con detalle el callejero de la zona y en otras ver el relieve, si es zona de cultivo, etc.

Por ejemplo, si un ciudadano quiere situar un parque solar que ha visto yendo por la A-4 camino de Córdoba que está justo detrás de un relieve característico puede activar primero el mapa de referencia de las calles para situarse y luego el mapa de imágenes para situar el parque correctamente.

Se ha implementado con la propiedad "SetLauyerUrlAction", asignándole la url del servicio del mapa base de calles o la url del servicio de imágenes.

7.3.2 Funcionalidad específica

Nos referimos en este apartado a la funcionalidad característica de esta aplicación y que ha sido desarrollada para cumplir los objetivos de este proyecto.

Edición:

Para la edición hemos utilizado, además de la base de datos de ArcSDE un servicio de geometría y para facilitar la edición al usuario hemos utilizado un *EditorWidget* que incluye una barra de herramientas para agregar, borrar, seleccionar y un *FeatureDataForm* que permite editar los atributos de la tabla entidad que hayas seleccionado en el mapa de forma sencilla.

Cálculo Vitoria

Para el cálculo de la electricidad que se genera en cada edificio se ha desarrollado una consulta espacial de forma que al hacer clic sobre el edificio que se quiere estudiar, éste se seleccione y se obtenga el valor del campo "sunpower" de la tabla de la clase de entidad

Una vez ejecutada la consulta, y a partir del valor de “sunpower” y los valores de potencia nominal y eficacia del panel que se va a colocar (introducidos por el usuario), la aplicación calcula la electricidad y muestra el resultado un una venta de diálogo.

```
//Declaramos la consulta, le asignamos propiedades
Query query = new Query();
query.OutSpatialReference = Map.SpatialReference;
query.OutFields.Add("*");
query.Geometry = args.Geometry;
query.ReturnGeometry = true;

//Servicio sobre el que hacemos la consulta
QueryTask queryTask = new QueryTask("http://edurne-hpi3/ArcGIS/rest/services/PFC_Renovables/Radiacion_Vitoria/MapServer/");
queryTask.ExecuteCompleted += new EventHandler<QueryEventArgs>(query_Circle_ExecuteCompleted);

//que se ejecute de forma asincrona
queryTask.ExecuteAsync(query);
```

Figura 98: Consulta espacial al servicio de Radiacion_Vitoria

```
//Resultado
result = sunpower * PotenciaNominal / 1000 * Eficacia/100;
MessageBox.Show("La electricidad anual en el tejado elegido es de " + result.ToString() + "Kwh")
```

Figura 99: Calculo de la electricidad

Callejero

Para localizar el edificio sobre el que queremos hacerla consulta para saber la electricidad, tiramos del servicio de geocodificación que hemos creado en ArcMap. Le introducimos la dirección que introduce el usuario como parámetro de entrada y la aplicación nos acercara al edificio y incluirá un símbolo para que se identifique el edificio de forma inequívoca.

```
//CALEJERO Boton para buscar la direccion en Vitoria
private void ButBuscarDirV_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
{
    _locatorTask = new Locator("http://edurne-hpi3/ArcGIS/rest/services/PFC_Renovables/CallejeroV/GeocodeServer");
    _locatorTask.AddressToLocationsCompleted += new EventHandler<AddressToLocationsEventArgs>(_locatorTask_AddressToLc
    _locatorTask.Failed += new EventHandler<TaskFailedEventArgs>(_locatorTask_Failed);

    //Parametros del callejero
    AddressToLocationsParameters addressParams = new AddressToLocationsParameters()
    {
        OutSpatialReference = Map.SpatialReference
    };

    Dictionary<string, string> address = addressParams.Address;

    if (!string.IsNullOrEmpty(NombreCalle.Text))
        address.Add("SingleKey", NombreCalle.Text);

    _locatorTask.AddressToLocationsAsync(addressParams);
}
```

Figura 100: Parte del código de localización de calle

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Revisión de objetivos. Conclusiones

Con este proyecto hemos hecho posible la participación del ciudadano gracias a la funcionalidad de edición de parques eólicos y solares que hemos incorporado en el visor. Así, cualquier usuario que sepa de la existencia de un parque energético, ya sea cercano a su población habitual o que haya descubierto en un viaje, puede insertarlo en la base de datos colaborando así con información de utilidad para el sector. Además, como la aplicación permite editar los atributos, las empresas encargadas de esos parques eólicos pueden agregar características que ellos conocen, no conocidas por el ciudadano.

La problemática que puede aparecer es que haya usuarios que inserten información errónea. Por ello, se ha decidido versionar la base de datos original y que la edición se haga sobre la base de datos versionada. Así el administrador de la base de datos puede revisar los datos antes de validarlos y que pasen a la base de datos original. De esta forma, se puede conseguir una base de datos actualizada de las instalaciones solares y eólicas a nivel estatal.

Otro de los objetivos que nos marcamos al principio del proyecto fue dar una herramienta al ciudadano para que pudiese evaluar si le es rentable o no la instalación de paneles solares en su edificio. Esto se ha conseguido y simplemente introduciendo las características propias del panel que se quiere instalar en un edificio se pueden saber los kilovatios por hora (*kwh*) que se generarían en el edificio sobre el que se quiera hacer la valoración y comparar éstos con la factura habitual de la luz.

En cuanto a la información que se decidió facilitar a las empresas y al sector dedicado a este tipo de energías para que le fuera más fácil

encontrar un lugar idóneo para la instalación de un nuevo parque, se han logrado las siguientes capas informativas:

- La representación del fenómeno
- Las zonas que son aptas en base a criterios ambientales, sociales y económicos
- Zonas aptas para la instalación ponderadas según la radiación, en el caso de la energía solar, y según velocidad del viento, en el caso de la energía eólica.

En general, la aplicación es intuitiva y de fácil manejo consiguiendo ser útil y atractiva para la gran mayoría de ciudadanos.

Aunque haría falta sacarla a producción, consideramos que el visor final consigue fomentar el uso de estas dos energías no percederas ya que no sólo informa sino que también permite interactuar a diferentes niveles.

En definitiva, se ha realizado un proyecto prototipo, poniendo en práctica el conocimiento y habilidades adquiridas en la carrera de Topografía, que pretende ponerse al servicio de las energías renovables para responder unas necesidades que creemos demanda la sociedad en general y el mundo energético en particular.

8.2 Revisión de objetivos

El proyecto desarrollado proporciona herramientas funcionales y útiles. No obstante, a continuación se presentan algunas de las mejoras posibles:

- Estudiar otras energías renovables en el entorno urbano como son la energía de biomasa, la minieólica y la termosolar. A posteriori se podría hacer un estudio de qué tipo de energía convendría más según la ubicación y morfología del edificio o entorno urbano.

- Estudiar de forma más exhaustiva la morfología de cada tejado en la energía solar urbana. Por ejemplo, en el caso de ser un tejado a dos aguas habría que considerar la inclinación y orientación de cada una de ellas.
- Mejorar el análisis de los recursos estudiados en este proyecto, tanto solar como eólico. En el caso del eólico, si se tiene acceso, se debería utilizar otro programa más orientado a fenómenos como el viento.
- Analizar, añadiendo la componente espacial, los factores que determinan la ubicación idónea para la instalación de otro tipo de energía renovable como la hidráulica, la eólica marina, biomasa, etc.
- Hacer extensible este proyecto a otros lugares geográficos (ciudades, comunidades autónomas o países) investigando y analizando las características del lugar.
- Desarrollar una aplicación móvil para que la edición sea más fácil al poder utilizar el GPS del dispositivo para la ubicación de parques eólicos y solares. La precisión de las coordenadas no sería inconveniente ya que no se pretende sino informar del lugar aproximado donde se encuentra el parque.

9. PRESUPUESTO

9. PRESUPUESTO

A continuación se muestra el coste económico que supone el proyecto realizado asignando unos valores presupuestarios aproximados a cada una de las acciones y elementos que han intervenido.

Hardware:

- 1 equipo HP ProBook 4530S.....	600 €
- 1 equipo Acer Aspire 5820TG.....	460 €
Total.....	1.060 €

Software:

- Windows 7 Professional (x 2).....	244 €
- ArcGIS Desktop Advanced (ArcInfo) 10.0	21.000 €
- Extensión Spatial Analyst	4.500 €
- Extensión Data Interoperability	4.500 €
- Extensión Statistics	4.500 €
- ArcGIS Server (Workgroup) 10.0.....	18.500 €
- Microsoft Office 2007 (x2).....	260 €
- Adobe Acrobat Profesional.....	265 €
Total.....	53.769 €

Mantenimiento:

- Mantenimiento equipos informáticos (10%)	106 €
- Servicio técnico (10%).....	5376,9 €
Total.....	5.482,9 €

TOTAL (Hardware + Software + Mantenimiento) = 60.312 €

Recursos humanos:

El sueldo medio mensual de un analista GIS con conocimientos de desarrollo es de 2000 €. De aquí se deduce que la hora se paga aproximadamente a 30 €, que será el valor utilizado para la realización de este presupuesto.

Las horas invertidas en hacer este proyecto han sido las siguientes:

- Planificación del proyecto.....	40 h
- Documentación y estudio de la materia específica.....	80 h
- Recopilación de datos necesarios para el proyecto.....	60 h
- Completar los datos, digitalización de parques eólicos	90 h
- Evaluación, integración y homogenización de los datos.....	30 h
- Análisis espacial para la ubicación idónea de los parques....	120 h
- Análisis espacial energía urbana.....	70 h
- Generación y publicación de servicios.....	60 h
- Desarrollo aplicación web.....	120 h
- Redacción memoria.....	70 h
Total horas.....	740 h
Total (740 h x 30 € x 2 técnicos).....	44.400 €

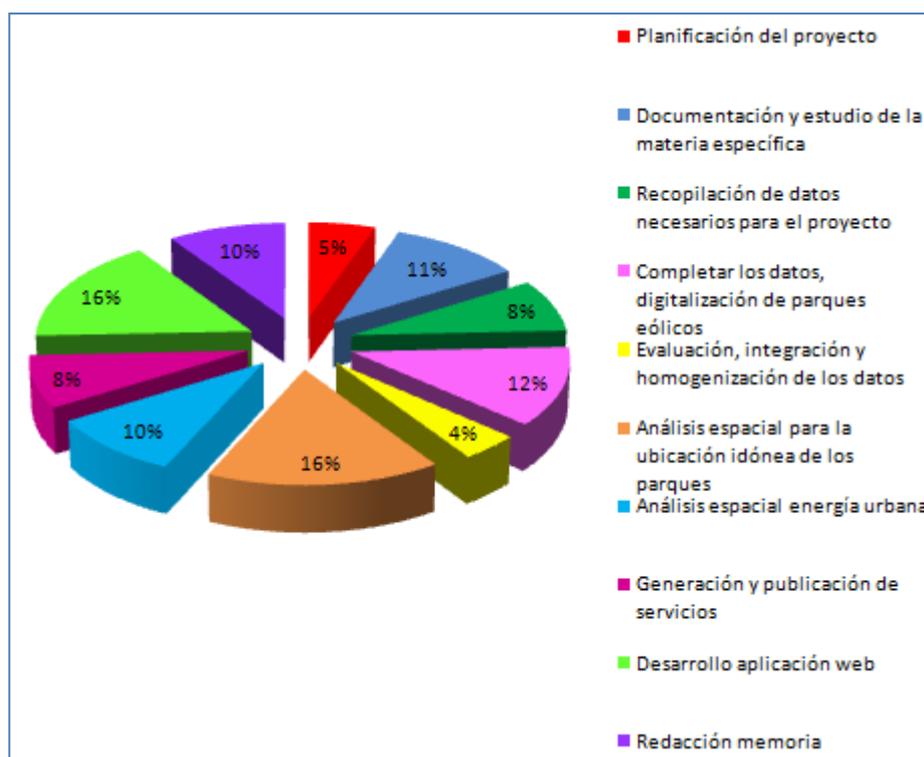


Figura 101. Porcentaje de horas invertidas en cada parte del proyecto

COSTE FINAL:

Después de sumar el coste de los equipos informáticos y de los recursos humanos, debemos aplicar un beneficio empresarial (tomaremos un 15%) y aplicar el IVA (21%).

	€
Hardware	1.060
Software	53.769
Mantenimiento	5.482,90
Recursos Humanos	44.400
Coste Final	104.712
Beneficio Empresarial (15%)	15.707
IVA (21%)	3.298
Total Presupuesto	123.717

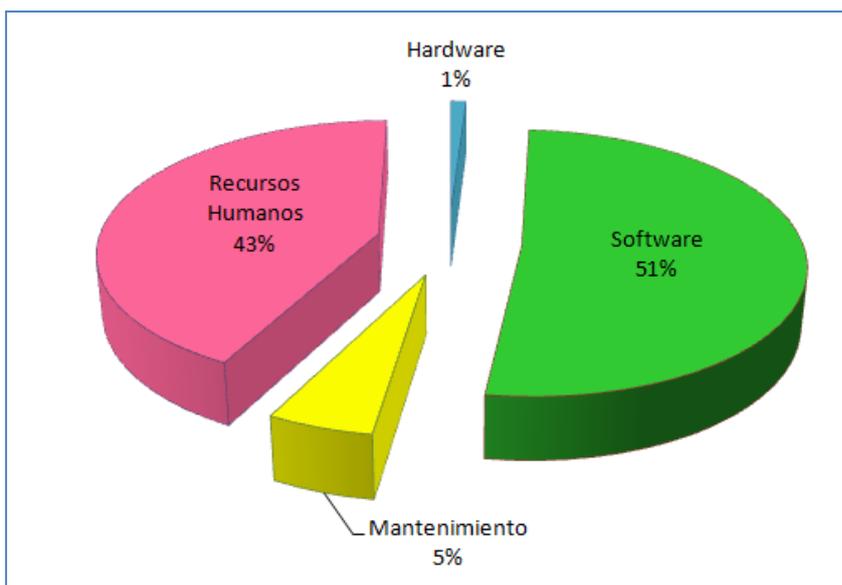


Figura 102: Porcentaje de de costes que intervienen en el presupuesto

Como se ve en el gráfico representativo de los valores obtenidos, el coste final es elevado, 123.717 €, debido principalmente al coste que supone el software utilizado. Es evidente que para la realización de un sólo proyecto de este tipo no se habría comprado el software de Esri ya que no saldría rentable sino que se hubiese utilizado software libre.

Si el proyecto lo hubiese llevado a cabo una organización o empresa el coste del software se podría repartir entre el resto de proyectos que se hubiesen hecho con él, obteniendo un coste mucho menor por la realización de este proyecto.

En nuestro caso, el proyecto se ha realizado para la E.T.S.I de Topografía, Geodesia y Cartografía de la UPM, que utiliza el software de Esri en otros proyectos y departamentos. Al no tener información de todos los proyectos que está desarrollando la UPM actualmente no podemos incluir este dato en el análisis del presupuesto.

10. BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- “Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables de la España peninsular” de Greenpeace.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- CENER (Centro Nacional de Energías Renovables)
- PROTERMOSOLAR, Asociación Española de la Industria Solar Termoeléctrica (Información de la ubicación de parques energéticos termosolares).
- SUNPOWER (Datos de partida para la ubicación de parques solares)
- Asociación Empresarial Eólica (aee) (Datos de partida para la ubicación de parque eólicos)
- “Locating Sites for Photovoltaic Solar Panels. Pilot study uses DEM derived from LiDAR”. Autores: Andrea Chaves and A. Terry Bahill. University of Arizona, Tucson.
- “Location analysis for solar panel by LiDAR-Data with Geoprocessing-SUN – AREA”. Autores: Drothe Ludwig, Sandra Lanig, Martina Klärle
- “La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas de información geográfica”. Autor: Francisco Javier Domínguez Bravo. Facultad de Geografía e Historia (UCM).
- “Generación de un mapa de vientos en un SIG”. Autores: Diego González Ferreiro y Joaquín Bosque Sendra. Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá.
- “Curso de energía eólica. Máster Europeo en Energías Renovables y Eficiencia energética”. Autor: Joaquín Mur Amada. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza.
- “Developing and applying GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK” Autores: Serwan M.J Baban y Tim Parry. Department of Surveying and Land Information, The University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad, Trinidad and Tobago.

School of Natural and Environmental Sciences, Coventry University,
Priory Street, Coventry, UK.

- Manual de energía eólica. Autores: IDAE y Ministerio de Industria, Turismo y comercio.
- Manual de energía solar. Autores: IDAE y Ministerio de Industria, Turismo y comercio.
- "Application of Spatial Data Modeling and Geographical Information Systems (GIS) for identification of Potential Sitting Options for Various Electrical Generation Sources". Autor: OAK Ridge National Laboratory, Tennessee. Prepared for Electric Power Research Institute (EPRI).
- Propuesta metodológica de selección de emplazamientos viables para instalaciones de energía solar fotovoltaica Lanzarote". Autora: Verónica Hung González. Universidad Complutense de Madrid
- Artículos académicos Rich et al. 1994.
- Cuarto informe de Evaluación (CIE) del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC): "Cambio climático 2007"
- Informe de 2012 del Foro de la Industria Nuclear Española
- Informes de la Comisión Nacional de Energía atómica (CNEA)
- "GIS for Renewable Energy". Autor: Esri USA
- Diferentes páginas de la ayuda de Esri:

@ Extensión de geoestadística:

<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/003100000008000000/> (Último acceso Febrero, 2013)

@ Herramientas estadísticas:

<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005p00000002000000/> (Último acceso Febrero, 2013)

@ Herramientas de interpolación

<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z0000000690000000/> (Último acceso Febrero, 2013)

- @ Cálculo de la radiación solar incidente:
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000t5000000> (Último acceso Febrero, 2013)
- @ Guía de instalación ArcGIS Server:
http://help.arcgis.com/es/arcgisserver/10.0/install_guide/arcgis_server_net_install_guide/index.html (Último acceso Febrero, 2013)
- @ Edición de datos en ArcGIS Server:
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/About_editing_data_from_ArcGIS_Server/001t00000112000000/ (Último acceso Febrero, 2013)
- @ Librería de referencia de la API de ArcGIS para Silverlight
http://help.arcgis.com/en/webapi/silverlight/apiref/api_start.htm (Último acceso Febrero, 2013)

11. ANEXOS

11. ANEXOS

11.1 Anexo I: Script de Python

Script de Python para el cálculo de la moda de la dirección del viento y la media de la velocidad:

```
miTabla = arcpy.GetParameterAsText(0)

# Create a search cursor Direccion
rowsDir = arcpy.SearchCursor(miTabla, "", "", "DirCardin", "DirCardin A")

listaDir=[]
for row in rowsDir:
    i_Dir=row.getValue("DirCardin")
    listaDir.append(i_Dir)

#Analizamos si la moda es unica o no
def Frecuencia(lista):
    #Indica el numero de veces que aparece un elemento
    Frec0=lista.count(0)
    Frec45=lista.count(45)
    Frec90=lista.count(90)
    Frec135=lista.count(135)
    Frec180=lista.count(180)
    Frec225=lista.count(225)
    Frec270=lista.count(270)
    Frec315=lista.count(315)

    ListFrecuencias=[Frec0,Frec45,Frec90,Frec135,Frec180,Frec225,Frec270,Frec315]

    Frecuencia= max(ListFrecuencias)

#Analiza el numero de frecuencias maximas.
cont=0
for i in range(0,len(ListFrecuencias)-1):
    if (Frecuencia== ListFrecuencias[i+1]):
        cont = cont + 1
```

```

    if cont>1:
        #Mas de una moda
        return False
    else:
        #Moda unica
        return True

def ModaLista(lista):
    aux = 0
    cont = 0
    moda = -1
    #Establecemos el valor de la moda en funcion de las veces que se repita el elemento
    for i in range(0,len(lista)-1):
        if (lista[i] == lista[i+1]):
            cont = cont + 1
            if cont >= aux:
                aux = cont
                moda = lista[i]
        else:
            cont=0
    if (Frecuencia(lista)== True):
        return moda
        #arcpy.SetParameter(1, moda)
    else:
        return 1000
        #arcpy.SetParameter(1, 1000)

# Create a search cursor Velocidad
rowsVel = arcpy.SearchCursor(miTabla, "", "", "Vel_m_s")

listaVel=[]
for row in rowsVel:
    i_Vel=row.getValue("Vel_m_s")
    listaVel.append(i_Vel)

def VelocidadMedia(lista):
    suma=sum(lista)
    media =suma/(len(lista)-1)
    return media
    #arcpy.SetParameter(1, media)

#Estaciones meteorologicas
miTabla2 = arcpy.GetParameterAsText(1)
#miTabla2 = "XYEstacionesMeteo_WebMerc"
rowsEstacion = arcpy.SearchCursor(miTabla, "", "", "Estacion")

for row in rowsEstacion:
    EstacionNombre=row.getValue("Estacion")

clausulaWhere="Estacion=" + ""+EstacionNombre+""

#Hacer cursor cogiendo Velocidad y direccion de las estaciones meteorologicas
rows2=arcpy.UpdateCursor(miTabla2,clausulaWhere,"", "Velocidad;Direccion")

for row2 in rows2:
    row2.setValue("Velocidad",VelocidadMedia(listaVel))
    row2.setValue("Direccion",ModaLista(listaDir))
    rows2.updateRow(row2)

```

11.2 Anexo II: Índice de figuras.

A	
FIGURA 1: EMISIONES MUNDIALES DE GASES EFECTO INVERNADERO TOTALES, POR TIPO DE GAS Y POR SECTORES. 2004. FUENTE: CUARTO INFORME DE EVALUACIÓN (CIE) DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC).	9
FIGURA 2: EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DEL INFORME DE REE DEL 2011	10
FIGURA 3: EVOLUCIÓN ANUAL DE LA ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN NETA PENINSULAR.	11
FIGURA 4: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN NETA DEL RÉGIMEN ESPECIAL.	11
FIGURA 5: POTENCIA EÓLICA INSTALADA EN ESPAÑA HASTA 2011	12
FIGURA 6: POTENCIA SOLAR INSTALADA EN ESPAÑA HASTA 2010	12
FIGURA 7: COBERTURA DE LA DEMANDA ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	13
FIGURA 8: MAPA DE INSTALACIONES EÓLICAS Y SOLARES DE ESPAÑA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	24
FIGURA 9: UBICACIÓN DE EUSKADI RESPECTO DE ESPAÑA.	25
FIGURA 10: UBICACIÓN DE VITORIA RESPECTO DEL PAÍS VACO.	25
FIGURA 11: CONTRIBUCIÓN DE CADA TECNOLOGÍA EN EL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA (2009). FUENTE: MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.	27
FIGURA 12: MAPA DE RADIACIÓN GLOBAL ANUAL DE VITORIA. FUENTE: POLIS.	29
FIGURA 13: MAPA SOLAR DE ESPAÑA. FUENTE: IDEA, 2009.	31
FIGURA 14: POTENCIA EÓLICA INSTALADA EN ESPAÑA EN 2010 POR CCAA. FUENTE: AEE.	31
FIGURA 15: MAPA DE LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS DE EUSKADI. FUENTE: RED NATURA 2000	33
FIGURA 16: CONJUNTO DE CAPAS QUE CONSTITUYEN UN SIG.	39
FIGURA 17: TIPOS DE DATOS ADMITIDOS POR UNA GDB.	40
FIGURA 18: LOGO DE GEOEUSKADI.	44
FIGURA 19: DIRECTORIO DE DATOS DEL IDE DE EUSKADI.	44
FIGURA 20: PÁGINA DE INICIO DEL CENTRO DE DESCARGAS DEL IGN.	45
FIGURA 21: LOGO DE RED NATURA 2000.	45
FIGURA 22: PROCESO DE DIGITALIZACIÓN CON GOOGLE MAPS.	47
FIGURA 23: LOGO DE CARTOCIUDAD.	50
FIGURA 24: ESTRUCTURA DE DATOS DEL SIG.	51
FIGURA 25: PROCESO DE CONVERSIÓN DE DATOS EN FORMATO*.KML A CLASE DE ENTIDAD DE ESRI.	51
FIGURA 26: DOMINIOS DE PARQUES ESPAÑA.GDB Y SUBTIPOS DE LA CLASE DE ENTIDAD EOLICO_España.	53
FIGURA 27: ESTRUCTURA DE PARTIDA DE PFC_ENERGIA RENOVABLE.GDB	53
FIGURA 28: ALMACENAMIENTO DE GEOPROCESAMIENTOS.	54
FIGURA 29: ESTRUCTURA DE ENERGIA_URBANA.GDB	55
FIGURA 30: PARTE INTERIOR DE UN AEROGENERADOR. FUENTE: YOUTUBE. ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 31: SENSORES DE UN AEROGENERADOR. FUENTE: YOUTUBE. ELABORACIÓN PROPIA	60
FIGURA 32: ESTACIONES METEOROLÓGICAS. FUENTE: EUSKALMET Y AEMET	64
FIGURA 33: INTERPOLACIÓN DE UNA VARIABLE VECTORIAL Y UNA VARIABLE ESCALAR. ELABORACIÓN PROPIA.	66
FIGURA 34: DESCOMPOSICIÓN DEL VECTOR DEL VIENTO. ELABORACIÓN PROPIA.	66
FIGURA 35: INTERPOLACIÓN DE LAS COMPONENTES X E Y DEL VECTOR VIENTO CON IDW. ELABORACIÓN PROPIA	68
FIGURA 36: VELOCIDAD DEL VIENTO, INTERPOLADA CON IDW. ELABORACIÓN PROPIA.	68
FIGURA 37: IMAGEN QUE MUESTRA FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS CORRIENTES DE AIRE.	69
FIGURA 38: SUPERFICIE DE TIPOS DE SUELO	70

FIGURA 39: RESULTADO DE EJECUTAR PATH DISTANCE ALLOCATION CON LAS COMPONENTES X E Y DEL VECTOR VIENTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	71
FIGURA 40: VELOCIDAD DEL VIENTO, RESULTADO CON PATH DISTANCE ALLOCATION. ELABORACIÓN PROPIA.....	71
FIGURA 41: AEROGENERADOR.....	72
FIGURA 42: TABLA DE VALORES DE RUGOSIDAD ASIGNADOS.....	73
FIGURA 43: IMAGEN DEL MAPA EÓLICO CON LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	73
FIGURA 44: MAPA EÓLICO DEL PAÍS VASCO. FUENTE: IDAE.....	74
FIGURA 45: HERRAMIENTA MERGE.....	77
FIGURA 46: PARTE DE GEOPROCESAMIENTO REALIZADO PARA LAS PENDIENTES EN EL ANÁLISIS EÓLICO.....	77
FIGURA 47: IMAGEN DE MODELUILDER.....	78
FIGURA 48: ZONAS APTAS DESPUÉS DE TENER EN CUENTA LOS FACTORES BINARIOS.....	78
FIGURA 49: DIAGRAMA DE RECLASIFICACIÓN.....	80
FIGURA 50: RESULTADO DE LA SUPERPOSICIÓN DE LOS FACTORES VELOCIDAD DEL VIENTO, CERCANÍA A LA REE Y A LAS CARRETERAS. FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.....	81
FIGURA 51: IMAGEN DE MODELUILDER.....	81
FIGURA 52: ZONAS APTAS EN FUNCIÓN DE TODOS LOS FACTORES RESTRICTIVOS SEGÚN EL NIVEL DE APTITUD.....	82
FIGURA 53: ZONAS APTAS EN FUNCIÓN DE SU NIVEL DE APTITUD.....	83
FIGURA 54: VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S).....	83
FIGURA 55: IMAGEN DE MODELUILDER.....	84
FIGURA 56: VELOCIDAD DEL VIENTO EN (M/S) EN LAS ZONAS APTAS.....	84
FIGURA 57: ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN ESF CONECTADA A LA RED.....	86
FIGURA 58: METODOLOGÍA A SEGUIR PARA CREAR LA CLASE DE ENTIDAD.....	91
FIGURA 59: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO CON SIMBOLOGÍA GRADUADA EXPRESANDO LA IRRADIACIÓN RECIBIDA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	91
FIGURA 60: HISTOGRAMA DE LOS DATOS. FUENTE: SODA Y PVGIS. ELABORACIÓN PROPIA.....	92
FIGURA 61: PROBABILIDAD NORMAL DE LOS DATOS. FUENTE: SODA Y PVGIS. ELABORACIÓN PROPIA.....	93
FIGURA 62: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE LOS DATOS. FUENTE: SODA Y PV-GIS. ELABORACIÓN PROPIA.....	94
FIGURA 63: SEMIVARIOGRAMA APLICANDO LA BÚSQUEDA DE VECINDAD POR ELIPSE. FUENTE: SODA Y PV-GIS. ELABORACIÓN PROPIA.....	96
FIGURA 64: VALIDACIÓN CRUZADA Y ESTADÍSTICOS ASOCIADOS DEL KRIGING. FUENTE: SODA Y PV-GIS. ELABORACIÓN PROPIA.....	97
FIGURA 65: SUPERFICIE INTERPOLADA A PARTIR DE LA MUESTRA DE DATOS DE RADIACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	97
FIGURA 66: ZONAS RESTRINGIDAS POR FACTORES ENO Y RED NATURA 2000. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	98
FIGURA 67: RECLASIFICACIÓN DEL RASTER DE USOS DEL SUELO.....	100
FIGURA 68: ZONAS CLASIFICADAS SEGÚN EL USO DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA VALÍA PARA UNA INSTALACIÓN SOLAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	101
FIGURA 69: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE UN MAPA DE PENDIENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	101
FIGURA 70: METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE UN MAPA DE ORIENTACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	102
FIGURA 71: GEOPROCESAMIENTO PARA OBTENCIÓN DE SUPERFICIE APTA SEGÚN PENDIENTE Y ORIENTACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	102

FIGURA 72: ZONAS APTAS SEGÚN PENDIENTE Y ORIENTACIÓN PARA LA UBICACIÓN DE INSTALACIONES ESF. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	103
FIGURA 73: SELECCIÓN POR ATRIBUTOS.....	104
FIGURA 74: ZONAS RESTRINGIDAS POR FACTORES DE LA RED VIARIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	104
FIGURA 75: ZONAS RESTRINGIDAS POR FACTORES DE LA RED FERROVIARIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	105
FIGURA 76: PARTE DEL GEOPROCESAMIENTO UTILIZADO PARA OBTENER LA IDONEIDAD SOLAR.	105
FIGURA 77: ZONAS RESTRINGIDAS POR FACTORES DE LA RED DE ALTA Y MEDIA-ALTA TENSIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	106
FIGURA 78: ZONAS ÓPTIMAS PARA LA UBICACIÓN DE INSTALACIÓN ESF EN EUSKADI. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	107
FIGURA 79: MAPA DE VIABILIDAD CON INFORMACIÓN SOBRE EL RECURSO SOLAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	108
FIGURA 80: ELEMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR URBANA. FUENTE: BLOG BIO-RENOVABLE	110
FIGURA 81: COMPONENTES DE LA RADIACIÓN TOTAL. FUENTE: INTERNET	113
FIGURA 82: IMAGEN DE HERRAMIENTA EN MODELUILDER.....	114
FIGURA 83: VENTANA DE DIÁLOGO DE AREA SOLAR RADIATION. FUENTE PROPIA.	116
FIGURA 84: RESULTADO DE LA HERRAMIENTA AREA SOLAR RADIATION. FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.	117
FIGURA 85: IMAGEN DE MODELUILDER (NOTA: HAY HERRAMIENTAS INTERMEDIAS QUE SE HAN ELIMINADO POR SER SOLO NECESARIAS PARA POSIBILITAR LOS CÁLCULOS Y CARECEN DE IMPORTANCIA). FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.	117
FIGURA 86: RADIACIÓN QUE RECIBEN LOS TEJADOS DE VITORIA EN KWH. FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.	118
FIGURA 87: FUNCIONAMIENTO DEL GEOCODIFICADOR EN ARCMAP. FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.	121
FIGURA 88: ARQUITECTURA DE ARCGIS SERVER. FUENTE: RECURSOS DE ESRI	126
FIGURA 89: PUBLICACIÓN DEL SERVICIO DE EDICIÓN.....	129
FIGURA 90: PUBLICACIÓN DEL RECURSO EÓLICO. CAPACIDADES HABILITADAS EN EL SERVICIO.	130
FIGURA 91: PUBLICACIÓN DEL CALLEJERO DE VITORIA.....	131
FIGURA 92: PANEL PRINCIPAL DE LA APLICACIÓN	136
FIGURA 93: VENTANA DE IDONEIDAD DE PARQUES SOLARES Y EÓLICOS	137
FIGURA 94: VENTANAS DE ENERGÍA SOLAR URBANA.....	138
FIGURA 95: BARRA DE HERRAMIENTAS	138
FIGURA 96: ESCALA GRÁFICA.....	139
FIGURA 97: CÓDIGO EN C# PARA MOSTRAR LAS COORDENADAS.....	140
FIGURA 98: CONSULTA ESPACIAL AL SERVICIO DE RADIACION_VITORIA.....	142
FIGURA 99: CALCULO DE LA ELECTRICIDAD	142
FIGURA 100: PARTE DEL CÓDIGO DE LOCALIZACIÓN DE CALLE.....	143
FIGURA 101. PORCENTAJE DE HORAS INVERTIDAS EN CADA PARTE DEL PROYECTO	155
FIGURA 102: PORCENTAJE DE DE COSTES QUE INTERVIENEN EN EL PRESUPUESTO.....	156

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: EVOLUCIÓN DEL GRADO DE AUTOABASTECIMIENTO DESDE 1978.....	27
TABLA 2: CLIMATOLOGÍA DE VITORIA.	35
TABLA 3: ESQUEMA DE TABLA UTILIZADO PARA LOS PANELES SOLARES DE ESPAÑA. (SOLARES_ESPAÑA)	52
TABLA 4: ESQUEMA DE TABLA UTILIZADO PARA LOS PARQUES EÓLICOS DE ESPAÑA. (EOLICOS_ESPAÑA)	52
TABLA 5: DATOS METEOROLÓGICOS DIARIOS DEL AÑO 2011 DE LA ESTACIÓN DE OXTANDIO. FUENTE: EUSKALMET. ELABORACIÓN PROPIA	65
TABLA 6: MUESTRA DE LA TABLA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DESPUÉS DE EJECUTAR EL SCRIPT DE PYTHON.....	65
TABLA 7: RECLASIFICACIÓN PARA LA VELOCIDAD DEL VIENTO.	79
TABLA 8: RECLASIFICACIÓN PARA LA DISTANCIA A LAS CARRETERAS.....	79
TABLA 9: RECLASIFICACIÓN PARA DISTANCIAS A LA REE.	79
TABLA 10: PUNTOS Y SUS VALORES DE IRRADIACIÓN ASOCIADA. FUENTE: SODA Y PV-GIS. ELABORACIÓN PROPIA.	90
TABLA 11: TABLA DE ATRIBUTOS DE LA CLASE DE ENTIDAD PORTAL_PK. EN NARANJA EL CAMPO AÑADIDO. FUENTE: CARTOCIUDAD. ELABORACIÓN PROPIA.....	111
TABLA 12: TABLA DE ATRIBUTOS DE EDIFICACIONESV. FUENTE: GEOESUKADI. ELABORACIÓN PROPIA.	112
TABLA 13: TABLA DE DÍAS NUBLADOS EN VITORIA. FUENTE: WWW.QUETIEMPO.ES.....	115
TABLA 14: RADIACIÓN RECIBIDA EN TEJADOS. FUENTE Y ELABORACIÓN PROPIA.....	118
TABLA 15: RESUMEN DE LOS SERVICIOS PUBLICADOS.....	132



Energías Renovables

Proyecto dedicado a las energías solar y eólica



- Red Viaria
- Mapa geografico
- Imagenes aereas



Ubicación de nuevas instalaciones

Elige el tipo de intalacion objeto de estudio:

- Paneles solares
- Aerogeneradores



14 4 5



493920 Metros