

Metodología para Determinar la Capacidad de Acogida de Infraestructuras Energéticas Fotovoltaicas Conectadas a la Red en Euskadi mediante el Empleo de un SIG

Iván Honrubia Reyes

- Ambientólogo y Máster TIG -

Introducción

El Cambio climático es un desafío a largo plazo, cuyas claves para neutralizarlo son: orientar la demanda energética hacia consumos más controlados, respetuosos con el medio y desarrollar nuevas energías y fomentar las renovables.

Ventajas y desventajas de las energías renovable

- ✓ emplea recursos autóctonos contribuyendo al autoabastecimiento energético evitando posibles dependencias energéticas
- ✓ menor impacto sobre el medio ambiente que otros tipos de energía
- ✓ mayoría de las instalaciones son compatibles con otras actividades
- ✗ recurso empleado (irradiación solar, viento, etc.) es variable
- ✗ se produce poca energía por unidad de superficie ocupada
- ✗ algunas instalaciones pueden alterar el paisaje

Energía solar fotovoltaica

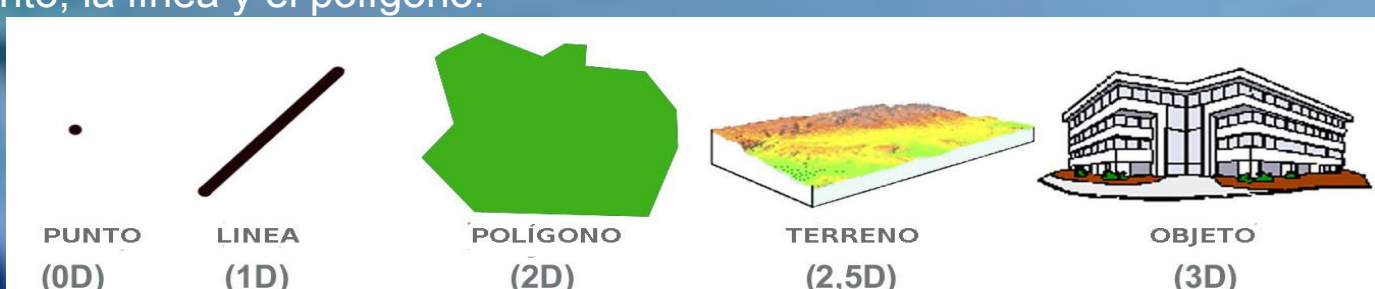
Es un tipo de energía renovable obtenida directamente de los rayos del sol gracias a foto-detección cuántica de un determinado dispositivo (célula fotovoltaica), existen fundamentalmente dos tipos:

- 1) Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica
- 2) Sistemas fotovoltaicos conectados a red

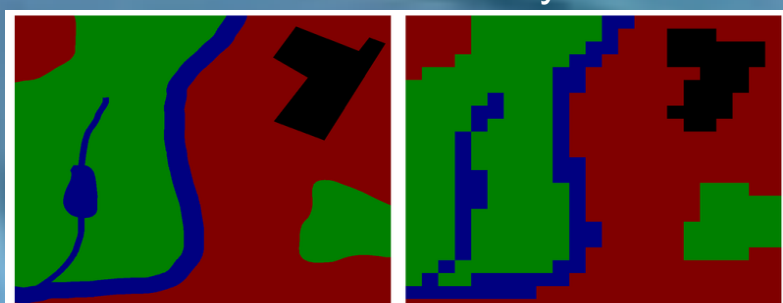


¿Qué es un Sistema de Información Geográfica (SIG)?

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.



Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.



Objetivo del proyecto

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar una metodología que combinase el empleo de los Sistemas de información Geográfica (SIG) con la Evaluación Multicriterio (EMC) para determinar la capacidad de acogida de un territorio, en este caso Euskadi, para albergar una actividad de producción energética como son las infraestructuras solares fotovoltaicas conectadas a la red.

Base metodológica de la Evaluación Multicriterio (parte I)

La Evaluación Multicriterio (EMC) es un conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen, bien sean factores o restricciones (Barredo, 1996). Los pasos seguidos en el proyecto se pueden resumir en:

- 1) Elección de los criterios, factores y restricciones
- 2) Normalización de los factores
- 3) Ponderación de los factores mediante el método Delphi
- 4) Suma Lineal Ponderada (SLP)

Elección de criterios, factores y restricciones

Deben definirse con anterioridad y es un paso determinante porque el resultado final puede variar. Principalmente hay dos tipos:

- a) condicionantes correspondientes a variables continuas, siguen la *lógica difusa*
- b) variables discretas que constituyen restricciones, siguen la *lógica booleana*

Criterios	Factores de evaluación multicriterio (EMC)
Climatológicos	Temperatura media (°C)
	Irradiación media diaria (MJ/m ²)
	Precipitación anual acumulada (l/m ²)
Orográficos	Pendiente
	Orientación
	Sombras
	Elevación
Locacionales	Accesibilidad a la red de carreteras
	Accesibilidad a la red eléctrica
	Distancia a núcleos urbanos
Ambientales	Calidad paisajística
	Calidad ambiental
	Estabilidad litológica
Geológicos	Erosión
	Permeabilidad

Factores restrictivos	Indicadores
Puntos de Interés Geológico	Dentro de la zona de protección (50 m)
	Fuera de la zona de protección (50 m)
Ríos y embalses	Dentro de la zona de servidumbre (100 m)
	Fuera de la zona de servidumbre (100 m)
Zonas de inundabilidad	Dentro de la zona inundable
	Fuera de la zona inundable
Corredores biológicos	Dentro del corredor
	Fuera del corredor
Espacios Naturales Protegidos	Dentro del ENP
	Fuera del ENP
Zonas arqueológicas o de interés cultural	Dentro de la zona arqueológica o de interés cultural
	Fuera de la zona arqueológica o de interés cultural

Normalización

Una vez identificados los factores y restricciones, se procede a la preparación de los mismos. Es aquí donde los factores y restricciones comienzan a tratarse de forma diferente. De esta manera, con independencia de las unidades de medida iniciales y del recorrido de cada variable, se generan mapas en los que la variable es sustituida por un determinado valor de adecuación, ya que las capas pueden tener rangos de valores muy diversos y dichos valores no son comparables entre sí. Para eliminar este se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_i = \frac{(v_i - v_{min})}{(v_{max} - v_{min})} * c$$

v_i - Son los diferentes valores que presente el raster en los diferentes píxeles

v_{min} - Es el valor mínimo del raster

v_{max} - Es el valor máximo del raster

c - Es el rango de estandarización. Si introducimos el valor $c=5$, el raster normalizado saldrá con un valor máximo de 5 y un valor mínimo de 0

Las restricciones se normalizan mediante reclasificación a mapas binarios donde ciertas categorías se consideran adecuadas para el objetivo estudiado -valor 1-, mientras que otras se excluyen -valor 0-.

Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) integrados con las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), adquieren gran importancia en estudios de análisis territorial. De hecho, aplicar la sumatoria lineal ponderada en problemas de objetivo simple y múltiples criterios, genera valiosa información que ayuda a la toma de decisiones, particularmente en problemas de asignación de actividades y gestión territorial como es el caso. Además, basar la localización en una amplia gama de criterios ofrece ventajas: se producen menores costes de mantenimiento durante la vida útil de la instalación al tener en cuenta factores como la accesibilidad a la red eléctrica; se reducen los impactos sobre el medio ambiente, la sociedad y las infraestructuras existentes; etc. Los sectores señalados como candidatos o de alta capacidad de acogida, aunque son el resultado de la múltiple evaluación y cumplen con la integración de los factores incluidos en el estudio, responden principalmente a dos criterios incluidos en la evaluación: los criterios climatológicos y los ambientales, no en vano son los que más peso tiene de acuerdo con la Delphi. Finalmente, es importante destacar que la metodología planteada permite ser extrapolada a otros municipios y escenarios, pudiendo involucrar nuevas variables que permitirán enriquecer cada vez más los resultados obtenidos. Sin embargo, resulta vital que quienes están encargados de tomar decisiones territoriales conozcan y tomen conciencia de que las técnicas de Evaluación Multicriterio son una base técnica de gran valor para estudios de planificación y gestión territorial.

Base metodológica de la Evaluación Multicriterio (parte II)

Ponderación

No todos los factores tienen la misma importancia, cada factor asume un peso relativo que hará que ciertas variables incidan en mayor o menor medida, para otorgar los pesos se empleó el Método Delphi. Este método, es un método general de prospectiva basado en la consulta a expertos. Utiliza como fuente de información un grupo de personas a las que se supone un conocimiento elevado de la materia (energías renovables). Posee 3 características: 1) anonimato; 2) iteración y realimentación controlada; y, 3) respuesta del grupo de expertos en forma estadística. Los pesos que se obtuvieron fueron los siguientes:

Criterio	Factor EMC	% peso total
Climatológicos	Temperatura media (°C)	11,88
	Irradiación media diaria (MJ/m ²)	14,51
	Precipitación anual acumulada (l/m ²)	5,28
Orográficos	Pendiente	2,50
	Orientación	7,00
	Sombras	7,00
	Elevación	3,50
Locacionales	Accesibilidad a la red de carreteras	3,13
	Accesibilidad a la red eléctrica	6,88
	Distancia a núcleos urbanos	5,00
Ambientales	Calidad paisajística	15,56
	Calidad ambiental	11,11
	Estabilidad litológica	3,06
Geológicos	Erosión	1,94
	Permeabilidad	1,67

Criterios	% peso
Climatológicos	31,67
Orográficos	20,00
Locacionales	15,00
Ambientales	26,67
Geológicos	6,67

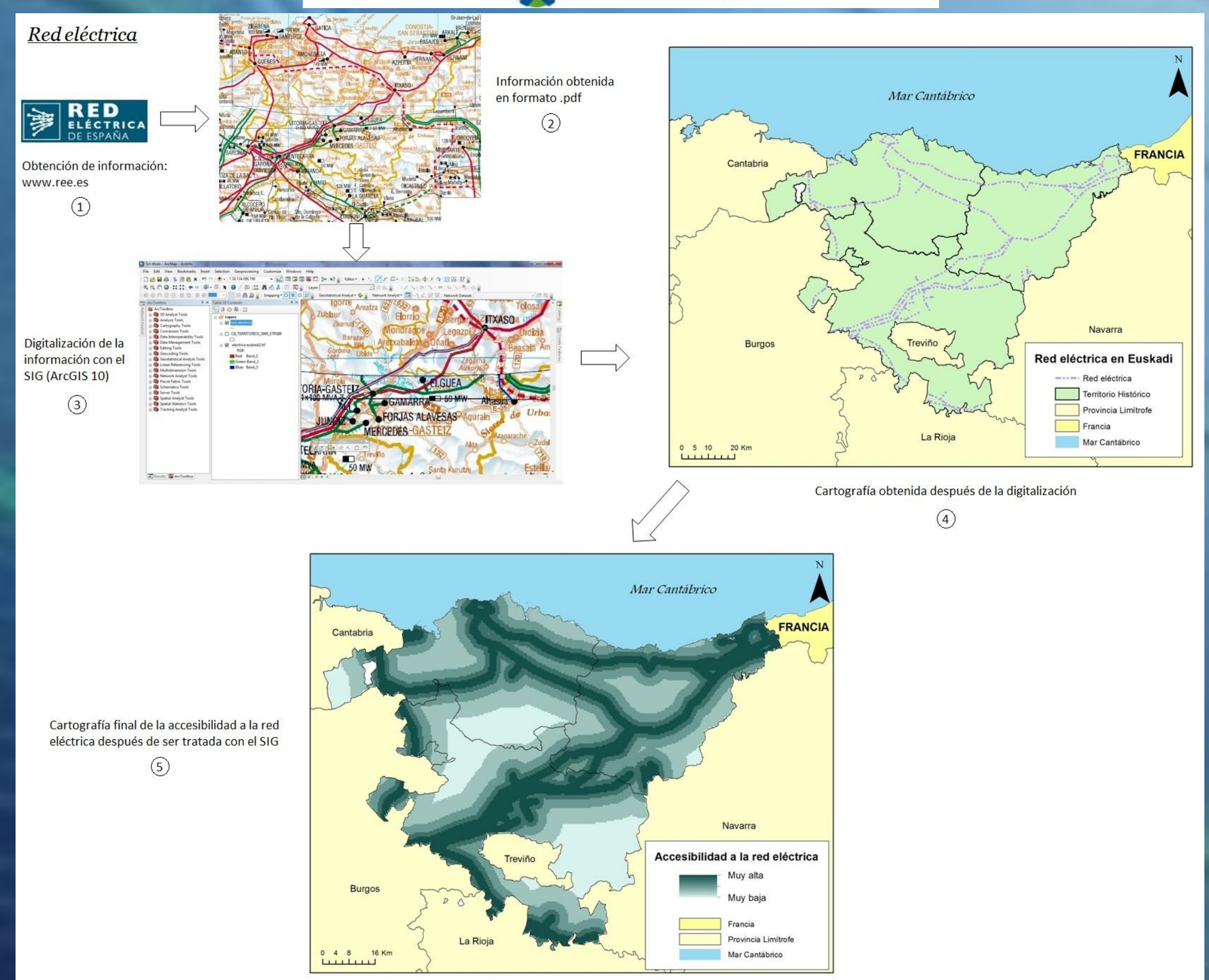
Suma Lineal Ponderada

La Suma Lineal Ponderada (SLP) es un Método Multicriterio Compensatorio, en el cual se multiplica cada factor ya normalizado por su peso, y posteriormente se suman los resultados. Éstos serán multiplicados por el producto de las restricciones, definiendo las áreas excluidas del análisis. La fórmula sería:

$$a = \sum x_i w_i * \prod r_j$$

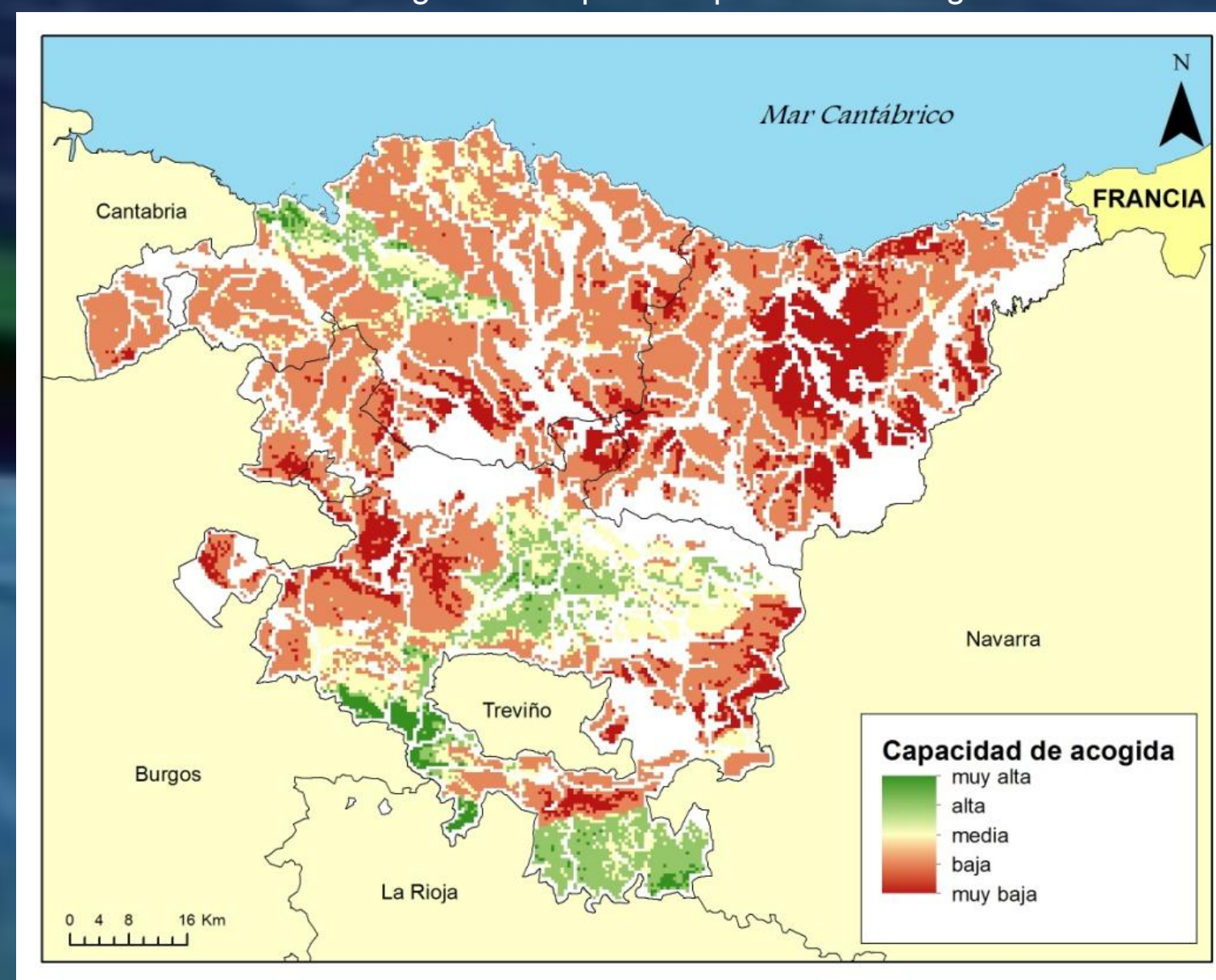
Las zonas más adecuadas para el objetivo asumen la puntuación máxima, las zonas menor adecuadas y las no adecuadas asumirán los valores más bajos.

Base cartográfica y tratamiento de datos



Análisis Multicriterio de la Capacidad de Acogida de Infraestructuras Fotovoltaicas con Conexión a la Red en Euskadi

La evaluación multicriterio en el entorno SIG, se basa en que cada factor está representado por una capa de información cartográfica georreferenciada, y que todos los puntos del territorio toman un valor. Todas las capas de información geográfica a integrar, deben ser transformadas (rasterizadas) y normalizadas para que todas fluctúen dentro de un mismo rango de valores. Una vez realizado esto, se realiza la suma lineal ponderada teniendo como resultado el siguiente mapa de capacidad de acogida:



Las zonas en blanco indican zonas restrictivas, es decir, que cumplen algunas de las restricciones antes mencionadas.