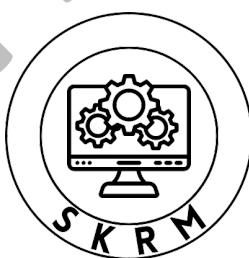


ANÁLISIS PRESUPUESTARIO DEL PLAN DE AUTOSATISFACCIÓN ENERGÉTICA DE MADRID

CONFIDENTIAL



CONFIDENCIAL

Índice.

1. <i>Introducción</i>	5
2. <i>División de la Comunidad de Madrid entre zonas residenciales y agrarias</i>	6
3. <i>Diseño de funciones de coste de instalación de placas fotovoltaicas según el tipo de superficie</i>	7
4. <i>Cálculo del porcentaje susceptible a la instalación de placas fotovoltaicas de cada tipo de sector</i>	11
5. <i>Restricciones de aceptación</i>	16
6. <i>Resultados</i>	19
7. <i>Bibliografía</i>	21

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

1. Introducción.

El presente estudio tiene como objetivo principal elaborar un presupuesto detallado para la Unión Europea destinado a un plan de autosuficiencia energética en la Comunidad de Madrid mediante el uso de energía fotovoltaica. En este sentido, se han establecido tres objetivos específicos que permitirán obtener la información necesaria para calcular el presupuesto solicitado.

En primer lugar, se llevará a cabo la división de la Comunidad de Madrid en función de su superficie agraria y residencial, a fin de obtener una visión detallada de la estructura territorial de la región y la distribución de los diferentes usos del suelo. Esta información será esencial para calcular los costos totales de la instalación de las placas fotovoltaicas en cada tipo de superficie.

En segundo lugar, se desarrollarán dos funciones (una para cada tipo de superficie) que permitirán calcular el coste medio de la instalación, transporte y material de las placas fotovoltaicas, así como de cualquier otro elemento necesario para la implementación del sistema.

En tercer lugar, se llevará a cabo el cálculo del porcentaje de superficie susceptible de albergar placas fotovoltaicas en cada tipo de superficie, con el fin de establecer un límite presupuestario basado en el coste total de cada tipo de superficie. Esta información será esencial para determinar la cantidad exacta de financiación que se solicitará a la Unión Europea para llevar a cabo el plan de autosuficiencia energética en la Comunidad de Madrid.

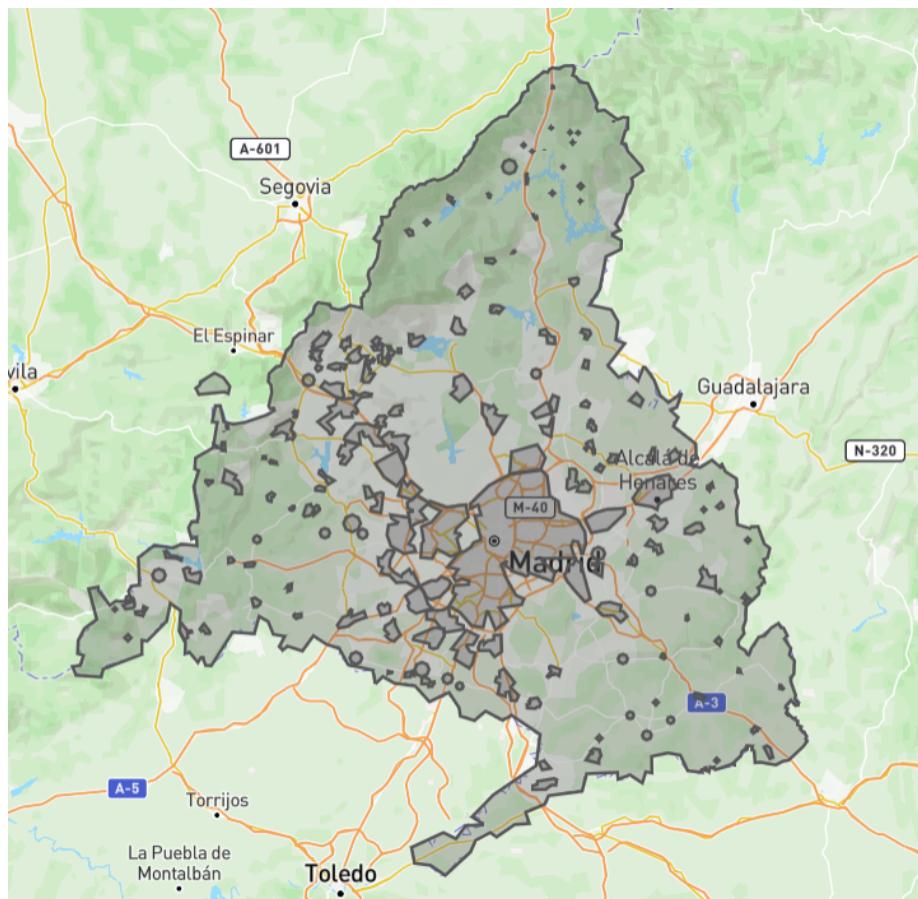
Por último, se estudiarán unas restricciones para acotar la cifra a una situación realista puesto que este proyecto no trata de calcular el máximo teórico posible, sino el que sería factible teniendo en cuenta una serie de restricciones técnicas, económicas y sociales que limitan la instalación de paneles fotovoltaicos en determinadas zonas o superficies.

En definitiva, este estudio está destinado a proporcionar una evaluación rigurosa y detallada de los costos asociados a la implementación de un sistema de autosuficiencia energética en la Comunidad de Madrid mediante el uso de energía fotovoltaica, con el fin de establecer un presupuesto preciso y realista para su presentación a la Unión Europea. De esta forma, se contribuirá al desarrollo sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes en la región, al mismo tiempo que se cumplen los objetivos establecidos por la Unión Europea en materia de energía renovable.

El presente informe se basa en datos obtenidos de fuentes abiertas y mediante el uso de herramientas específicas que se detallan en cada sección. Estos datos tienen un carácter orientativo y no pretenden ser una representación exacta ni definitiva de la realidad. Se recomienda contrastarlos con otras fuentes y aplicar el criterio profesional correspondiente.

2. División de la Comunidad de Madrid entre zonas residenciales y agrarias.

Con el objetivo de realizar una delimitación clara de las zonas residenciales y agrarias de la Comunidad de Madrid, se utilizó la herramienta en línea <https://geojson.io> para marcar la mayoría de las poblaciones de la región. De esta manera, se logró identificar y clasificar las diferentes zonas según su uso predominante.



Después de este análisis, se concluyó que la superficie residencial de la Comunidad de Madrid ocupa un total de 1.036,85 km², lo que representa un 12,91% del territorio regional. Por su parte, la superficie agraria abarca una extensión mayor, ocupando un total de 6.991,15 km², es decir, un 87,09% del territorio.

Es importante destacar que esta delimitación resulta esencial para el cálculo y la planificación de las instalaciones fotovoltaicas, ya que las necesidades y los costos asociados varían significativamente entre estas dos zonas. Por lo tanto, contar con esta información precisa y actualizada permite un desarrollo más eficiente y sostenible de estas instalaciones en la Comunidad de Madrid.

3. Diseño de funciones de coste de instalación de placas fotovoltaicas según el tipo de superficie.

Para calcular el coste de una instalación fotovoltaica hay muchos factores que se deben tener en cuenta, una vista general sobre lo que supondría la instalación es la siguiente [1]:

COMPONENTE	FUNCIÓN	PRECIO	PRECIO SOBRE EL TOTAL (%)
Paneles fotovoltaicos	Transforma la energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico.	200-250€	45-55%
Inversor solar	Se encarga de transformar la corriente continua producida por el panel solar en corriente alterna con el objetivo de habilitar su utilización.	1.300-1.600€	22%
Estructura soportante	Se encarga de orientar el panel, proporcionar sujeción y protegerlo frente a las inclemencias meteorológicas.	80-90€	10%
Contador bidireccional	Permite registrar la curva de carga de la vivienda para optimizar el autoconsumo.	200-250€	3%
Cuadro de protecciones para CC y AC	Incluye todas las protecciones para la instalación fotovoltaica tanto para corriente alterna como corriente continua.	350€	5%
Legalización y boletín	Incluye el registro y legalización de la instalación.	300€	5%

Viendo más a fondo las opciones que tenemos de instalación, podemos cambiar la estructura y los componentes para adecuarlos a nuestras necesidades. Para ello hemos hecho un estudio de las placas fotovoltaicas, los inversores solares y las baterías; diferenciando tres categorías dentro de cada componente: disponibles para un bajo presupuesto, disponibles para un alto presupuesto y un punto intermedio entre las anteriores:

- Placas fotovoltaicas
 - o Bajo presupuesto

Con cuatro muestras obtenemos la siguiente tabla:

Panel	Potencia (W)	Precio (€)	Superficie(m ²)	Precio/Superficie (€/m ²)
autosolar	405	155,5	1,95	79,74
wccsolar	450	165,0	1,98	83,73
solostocks	450	157,5	2,19	71,92
focosdeleds	400	195,0	1,98	98,48

El precio/superficie promedio es de 83,47 €/m².

- o Alto presupuesto

Con tres muestras obtenemos la siguiente tabla:

Panel	Potencia (W)	Precio (€)	Superficie(m ²)	Precio/Superficie (€/m ²)
tienda-solar	500	253,45	2,41	105,17
microlediberica	500	265,75	2,24	118,64
todoensolar	500	255,00	2,56	99,61

El precio/superficie promedio es de 107,81 €/m².

- Presupuesto intermedio

Con tres muestras obtenemos la siguiente tabla:

Panel	Potencia (W)	Precio (€)	Superficie(m ²)	Precio/Superficie (€/m ²)
autosolar	550	228,36	2,58	88,51
wccsolar	550	222,00	2,58	86,05
focosdeleds	550	260,00	2,58	100,78

El precio/superficie promedio es de 92,63 €/m².

- Inversor solar
 - Bajo presupuesto

[wccsolar](#) ~ 850 €

- Alto presupuesto

[autosolar](#) ~ 1650 €

- Presupuesto intermedio

[autosolar](#) ~ 1280 €

- Baterías
 - Bajo presupuesto

[leroymerlin](#) ~ 400 €

- Alto presupuesto

[technosun](#) ~ 1350 €

- Presupuesto intermedio

[autosolar](#) ~ 950 €

- Mano de obra

El coste de la mano de obra oscila dependiendo de la magnitud de la operación, puede costar hasta 1200 € [2].

En cuanto al resto de componentes tomaremos los costes expuestos en la tabla del principio debido a que dichos costes se acercan muy bien a la realidad.

El coste medio de transporte durante una hora en la comunidad de Madrid de 25,02 € [3].

Con todos estos factores podemos aproximar el coste que supondría la instalación siendo el precio medio por componente el siguiente:

- Placas fotovoltaicas: 94,64 €/m²
- Inversores: 1233,33 €
- Baterías: 900 €
- Resto de componentes: 965 €
- Mano de obra: 1200 €

La superficie media de la vivienda en Madrid es de 82,9 m² [4].

Con estos datos podemos obtener una fórmula que aproxima el **coste por metro cuadrado de una instalación en la zona residencial**:

$$\text{Coste} = \left(94,64 + \frac{1233,33 + 900 + 965 + 25,02 + 1200}{82,9} \right) \cdot x$$

Donde “x” es la superficie residencial en metros cuadrados que se desea cubrir con placas fotovoltaicas.

Explicación de las cifras:

El precio por unidad de superficie de las placas fotovoltaicas, que se estima en 94,64 €/m², se ha calculado en base a una media de los rangos de precio disponibles en el mercado (Barato, Normal, Caro). Además, se le suman el coste de otros componentes necesarios para la instalación, como el inversor (1233,33 €), la batería (900 €) y unos costes fijos que incluyen la gestión legal, el cuadro de fusibles, entre otros (965 €). También se incluye el coste medio de una hora de transporte en Madrid (25,02 €) y el coste de la mano de obra para la instalación (1200 €). Todos los cálculos anteriores se han basado en medias y se han dividido entre la superficie media de la vivienda en Madrid (82,9 m²).

En el ámbito de la zona agraria, es pertinente tener en cuenta la estructura necesaria para la instalación de las placas fotovoltaicas, las cuales pueden ser montadas en una estructura inclinada o bien con una estructura elevada regulable.

Elegimos la regulable ya que es más versátil y apropiada para las zonas agrarias. Hace falta una por cada 10 m² y su importe es de alrededor 1650€ ([autosolar](#)).

Con respecto a la mano de obra tendremos en cuenta que se quieren instalar más de 14 paneles y con la información de [5] tenemos:

Desde 7.500 €	12 - 14 paneles	200 - 250 €	800 - 1.000 kWh/mes	10.800 kWh/año
Desde 9.100 €	Más de 14 paneles	Más de 250 €	Más de 1.000 kWh/mes	12.001 kWh/año

Entonces, tomamos el número de paneles necesarios para la instalación (x/tamaño medio de los paneles) siendo x la superficie que se quiere explotar y, mediante una regla de tres calculamos el precio de la instalación.

La media de los tamaños de los paneles es de 2,39 m² y la media de coste por cada panel es de 615,84 €/panel. Resultando en un total de 257,67 €/m²

La superficie media de la explotación agraria en Madrid es de 26,37 Ha [6].

Utilizando la fórmula anterior añadiendo el **coste por metro cuadrado** que supondrían los materiales, el transporte y la instalación estructuras regulables en una obra **en la zona agraria** obtenemos:

$$\text{Coste} = \left(94,64 + 165 + 257,67 + \frac{1233,33 + 900 + 965 + 25,02 * 3}{263700} \right) \cdot x$$

Siendo "x" la superficie agraria en metros cuadrados a cubrir con placas fotovoltaicas.

Explicación de las cifras:

El precio por unidad de superficie de las placas fotovoltaicas en la zona agraria es de 94,64 €/m², calculado en base a una media de los rangos de precio: barato, caro e intermedio. Además, se suman 1650 € por cada 10 m² (165 €/m²) por las estructuras regulables necesarias para la instalación de las placas.

Por cada instalación agrícola se le añaden los siguientes costes: el inversor (1233,33 €), la batería (900 €), y unos costes fijos entre los que se encuentra la gestión legal, el cuadro de fusibles... (965 €) (Todos los cálculos anteriores basados en medias). Además, se suma el coste medio de tres horas de transporte en la comunidad de Madrid, ya que se considera que las zonas agrarias pueden ser de difícil acceso. Todos estos costes se dividen entre la superficie media de la explotación agraria en la Comunidad de Madrid, que es de 263700 m².

También se añade el coste de la mano de obra para la instalación de las placas fotovoltaicas, que se estima en 257,67 €/m².

4. Cálculo del porcentaje susceptible a la instalación de placas fotovoltaicas de cada tipo de sector.

Para calcular el porcentaje disponible para la instalación de placas fotovoltaicas hemos elegido dos regiones de la Comunidad de Madrid, concretamente de la zona de Rivas, que caracterizan las zonas agrarias y residenciales de manera independiente. Despues calculamos el porcentaje instalable de cada zona para más tarde extraer esos porcentajes al resto de zonas agrarias y residenciales de la Comunidad de Madrid. Todo el cálculo de las superficies se ha realizado usando la herramienta online <https://geojson.io/>.

- Zona Residencial

La zona elegida es la siguiente:



Con un área total de 58.595,41 m²

Las zonas residenciales constan principalmente de calles, parques y domicilios o tiendas de particulares, que a nuestro modo de ver son lo mismo, ya que tienen una estructura similar.

De estas, las únicas zonas en las que se puede instalar placas fotovoltaicas son los domicilios, en concreto los tejados. Como hay dos tipos de casa elegimos tres ejemplos

de cada uno para hacer la media y generalizar aún más el cálculo. Elegimos el área total que ocupa la casa y de esta el área del tejado, usando la herramienta online geojson

Escogemos dos casas, una de cada tipo.



La referencia que se ha tomado para distinguir entre los dos tipos es el tamaño del tejado. La vivienda de la izquierda en la imagen se corresponde a una vivienda de tipo 2, mientras que la de la derecha se corresponde a una de tipo 1.

El área promedio de cada casa es:

Tipo 1:

- Área total = 493 m²
- Área válida = 129,33 m²

Tipo 2:

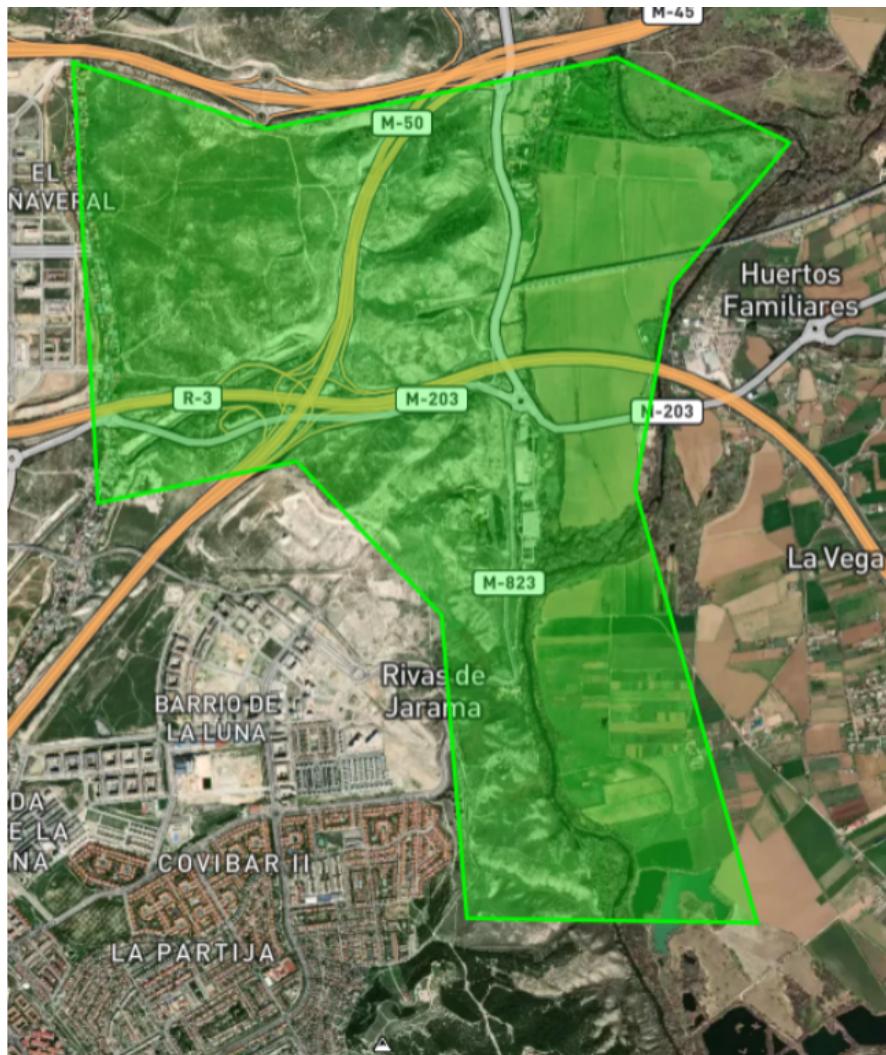
- Área total = 980 m²
- Área válida = 405,33 m²

A continuación, hacemos un recuento de todas las casas de cada tipo que hay: Del primer tipo hay un total de 268 casas y del segundo tipo hay un total de 432.

Calculando la suma del área válida que aporta cada tipo de casa obtenemos un área disponible para instalar placas de 34.661,33 m² de casas del primer tipo y 179.157,33 m² de casas del segundo, siendo un total de 213.818,667 m² que suponen un **42,04%** del área residencial.

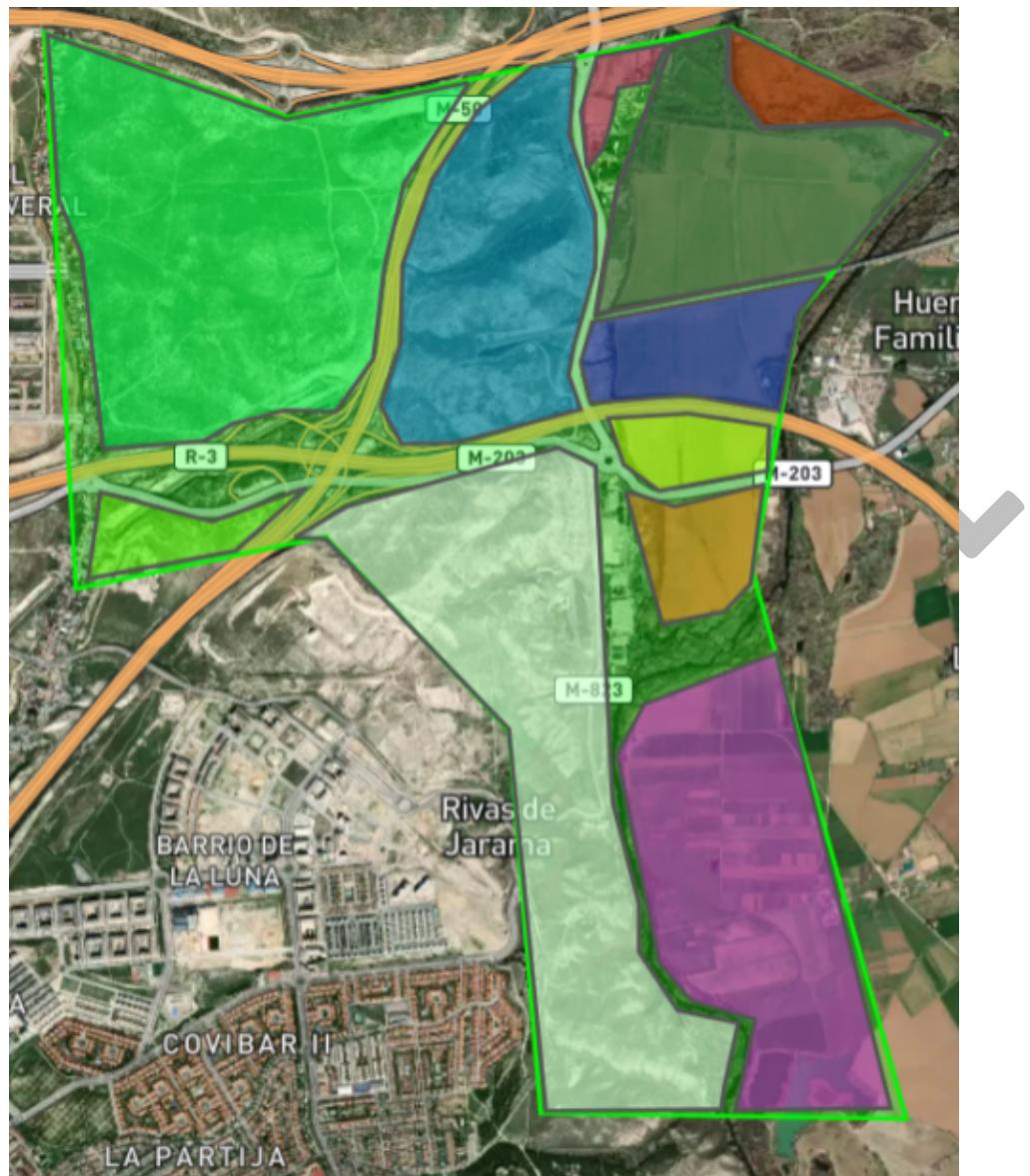
- Zona agraria

Para la zona agraria el procedimiento es el mismo pero con algunas diferencias, ya que obviamente el área no edificable es menor y más focalizado (carreteras, ríos, lagos, terraplenes, zonas con árboles).



El área de la zona elegida es 9.406.570,09 m²

Dividimos la zona elegida en varias zonas limitadas por estos elementos. Siempre teniendo en cuenta que las zonas susceptibles de instalación son llanuras, explanadas y colinas con poca inclinación del terreno.



Al igual que en la zona residencial, se calcula el área válida que aporta cada zona, se suma y se calcula que porcentaje de la zona total es:

- Área verde: 1.815.255,77 m²
- Área azul claro: 958.792,27 m²
- Área rosa: 68.666,17 m²
- Área roja: 146.413,46 m²
- Área gris: 856.051,53 m²
- Área azul oscuro: 343.963,51 m²
- Área amarilla: 157.486,99 m²
- Área verde clara: 155.830,72 m²
- Área blanca: 1.705.526,57 m²
- Área naranja: 216.153,51 m²
- Área morada: 1.228.800,54 m²

Que suman un total de 7.652.941,04 m² y representan un **81,36%** del total.

Una vez calculados los porcentajes de las zonas residenciales y las zonas agrarias, este porcentaje es generalizable para el resto de la comunidad autónoma, es decir, para cualquier zona catalogada como **residencial el porcentaje de zona instalable es ~42%** y para las zonas agrarias es ~81%.

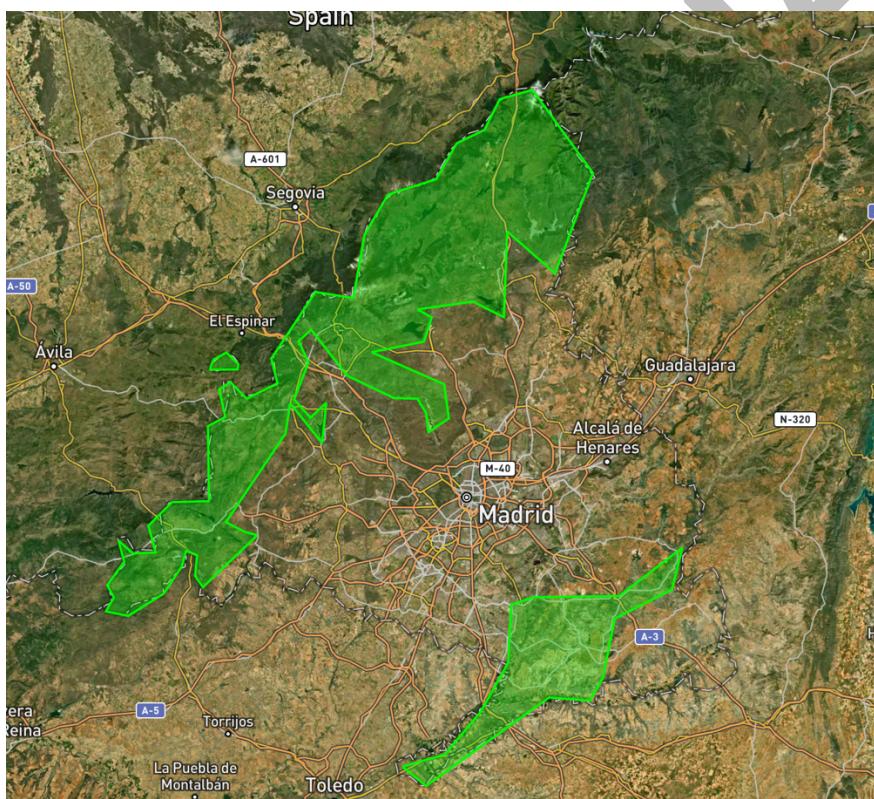
CONFIDENCIAL

5. Restricciones de aceptación.

El objetivo de esta sección es definir las restricciones de aceptación que aplicaremos al cálculo del presupuesto máximo total. En las secciones anteriores hemos visto cómo estimar el potencial fotovoltaico de todas las zonas disponibles, pero esto no implica que todas ellas sean viables o rentables para la instalación de paneles. Por lo tanto, necesitamos establecer unos criterios de selección que nos permitan ajustar el presupuesto a la realidad del proyecto.

- Descarte de zonas montañosas, bosques y parques naturales.

Para garantizar la efectividad de la ayuda, se ha evaluado la exclusión de zonas montañosas, bosques y parques naturales que no resultan adecuadas para la instalación de paneles fotovoltaicos.



Mediante el uso de la herramienta GeoJSON, se ha obtenido una superficie total de aproximadamente 3025 kilómetros cuadrados. A partir de esta estimación, se ha descontado la superficie inadecuada previamente identificada, resultando en una superficie agraria disponible de 3966 kilómetros cuadrados. Este cálculo se ha realizado con el objetivo de garantizar la eficacia y eficiencia de la ayuda a los agricultores de la Comunidad de Madrid.

- Descarte de un ratio variable de las zonas de cultivo.

Se llevará a cabo una evaluación rigurosa de la viabilidad del proyecto en relación a las zonas de cultivo de la Comunidad de Madrid. Según estimaciones, la región cuenta con alrededor de 229,428 hectáreas destinadas al cultivo [7]. Sin embargo, se considera poco probable que una persona con cultivos esté dispuesta a modificar toda su extensión agraria para convertirla en parques fotovoltaicos, lo que resultaría en una tasa de adopción de aproximadamente el 1%. En consecuencia, se descartará esta porción de la superficie agraria, que equivale a 2271 kilómetros cuadrados. De esta manera, se obtendrá una superficie agraria disponible de 1695 kilómetros cuadrados para el desarrollo del proyecto.

- Nivel de aceptación variable.

Para determinar el nivel de aceptación de la ayuda propuesta en la población madrileña, se llevará a cabo un estudio que estimará el porcentaje de habitantes de la Comunidad de Madrid dispuestos a instalar paneles fotovoltaicos y solicitar la ayuda correspondiente. Este estudio permitirá obtener información valiosa acerca de la viabilidad y el impacto potencial del proyecto, lo cual es esencial para su correcta planificación y ejecución. Según un estudio reciente realizado por la Fundación Naturgy [8] a una muestra de 2.000 hogares españoles, se estima que el 32% de la población estaría dispuesto a instalar paneles fotovoltaicos. No obstante, se tiene que considerar este resultado con precaución y se tendría que realizar un análisis más exhaustivo y específico para la Comunidad de Madrid, teniendo en cuenta las particularidades de la región y los factores socioeconómicos que puedan influir en la aceptación de la ayuda. Con ello, se garantizaría una mayor precisión en la evaluación de la posible respuesta de la población al proyecto y se podrá ajustar la estrategia de implementación en consecuencia.

- Tasa de ayuda variable

En cuanto a la tasa de ayuda, se diseñará una fórmula que permita una posible modificación futura, con el fin de estimar el monto de la ayuda en relación con el coste total estimado del proyecto. Tomando en cuenta subvenciones anteriores en el área y las políticas de Iberdrola [9], se establece que, en promedio, las subvenciones cubren alrededor del 20% del presupuesto total de instalación, mientras que las subvenciones para personas físicas que utilizan la instalación para autoconsumo pueden alcanzar hasta el 30%. Es importante destacar que estos porcentajes aplican únicamente para la zona residencial, y que los porcentajes de ayuda para empresas o proyectos de parques fotovoltaicos con fines comerciales son significativamente menores. Por otro lado, se estima que el porcentaje de ayuda para zonas agrarias sea de aproximadamente el 1%. En cualquier caso, la tasa de ayuda diseñada será ajustable y estará en línea con las políticas y regulaciones de la Unión Europea en materia de subvenciones y financiamiento público.

- División de la ayuda por fases

En la elaboración de una ayuda proveniente de la Unión Europea, se sigue un riguroso proceso de fases de subvención, el cual se adapta a la naturaleza y objetivos específicos del proyecto en cuestión. En el caso particular que nos ocupa, se propone una estructuración en ocho fases de subvención a lo largo de un extenso periodo de tiempo, con el propósito de garantizar una adecuada supervisión y evaluación del progreso, asegurando que se cumplan los requisitos establecidos y se logren los objetivos de manera eficiente y efectiva. Este es un enfoque altamente estructurado y planificado que permitirá maximizar el impacto positivo del proyecto en la comunidad destinataria, cumpliendo con los más altos estándares de calidad y transparencia en la administración de fondos públicos. En este sentido, se insta a considerar detenidamente la propuesta de fases de subvención, la cual representa una sólida y bien fundamentada estrategia de financiamiento para el éxito del proyecto en cuestión.

CONFIDENCIAL

6. Resultados.

Los resultados que se presentan a continuación son el fruto de los estudios realizados sobre la Comunidad de Madrid, con el fin de evaluar la viabilidad de la instalación de placas fotovoltaicas en las zonas residencial y agraria. Estos resultados deben ser tomados como una referencia orientativa y no como una cifra exacta, ya que pueden variar según las condiciones del terreno, el diseño del proyecto y los factores externos que puedan influir en el rendimiento de las placas. Por lo tanto, estos resultados solo pretenden ofrecer una primera aproximación de la idea y no un presupuesto definitivo.

En primer lugar, tras aplicar las restricciones de aceptación se tienen los siguientes resultados:

- Superficie agraria en la Comunidad de Madrid: 1.695 km²
- Superficie residencial en la Comunidad de Madrid: 1.036 km²
- Porcentaje susceptible en superficie agraria: 81%
- Porcentaje susceptible en superficie residencial: 42%
- Función de coste en zona agraria:

$$\left(94,64 + 165 + 257,67 + \frac{1233,33 + 900 + 965 + 25,02 * 3}{263700} \right) \cdot x \cdot 0,01$$

- Función de coste en zona residencial:

$$\left(94,64 + \frac{1233,33 + 900 + 965 + 25,02 + 1200}{82,9} \right) \cdot x \cdot 0,20$$

Aplicando la función de coste obtenida anteriormente a las superficies y multiplicando el resultado por el porcentaje susceptible, se puede calcular el coste total de la operación.

- Presupuesto área residencial total: ~ 12.774.000.000 €
- Presupuesto área agraria total: ~ 7.102.000.000 €
- Presupuesto total: 19.876.000.000 €

Por lo tanto, el presupuesto de la primera fase sería el siguiente:

- Presupuesto a pedir: 2.484.000.000 €

En conclusión, este informe ofrece una estimación inicial del presupuesto para la implementación de paneles fotovoltaicos en la Comunidad de Madrid. No obstante, es importante destacar que las suposiciones y restricciones planteadas en este documento pueden variar en futuras versiones del presupuesto y que se requieren estudios más detallados para considerar factores técnicos, ambientales y sociales. Por lo tanto, este presupuesto debe considerarse como una guía preliminar y no como una solución final.

Es vital tener en cuenta que este informe se basa en herramientas open-source y en datos obtenidos de fuentes públicas, por lo que los resultados pueden variar dependiendo de las condiciones específicas de cada zona. Además, la aceptación social de la tecnología fotovoltaica es un factor clave que puede afectar la implementación real de este proyecto. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios más detallados y considerar todas las implicaciones técnicas, ambientales y sociales antes de tomar una decisión informada

sobre la implementación de paneles fotovoltaicos en zonas agrarias de la Comunidad de Madrid.

En resumen, este informe sirve como una herramienta preliminar para estimar el presupuesto de implementación de paneles fotovoltaicos en zonas agrarias de la Comunidad de Madrid. Sin embargo, se necesitan estudios más detallados y análisis más profundos para garantizar la viabilidad técnica, ambiental y social de este proyecto en cada zona específica. Es fundamental tomar en cuenta todas las restricciones y suposiciones planteadas en este informe, así como considerar los resultados obtenidos en futuras revisiones del presupuesto para tomar una decisión informada y sostenible.

CONFIDENCIAL

7. Bibliografía.

- [1] <https://selectra.es/autoconsumo/info/provincias/madrid>
- [2] <https://www.habitissimo.es/presupuestos/instalar-energia-solar-fotovoltaica-electricidad#:~:text=Hay%20otros%20aspectos%20que%20tambi%C3%A9n,puede%20suponer%20hasta%201.200%20%E2%82%AC>
- [3]
https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/aud/transportes/observatorio_costes_de_el_transporte_de_mercancias_por_carretera_2022.pdf
- [4] https://elpais.com/ccaa/2019/03/04/madrid/1551711191_713921.html
- [5] <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>
- [6]
https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=ultiDatos&idp=1254735727106
- [7] https://www.mapa.gob.es/eu/ministerio/servicios/informacion/cap04_12_t3_tcm35-102688.pdf
- [8] <https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/informe-2020-el-sector-electrico-espanol-en-numeros/>
- [9] <https://www.iberdrola.es/smart-solar/subvenciones>

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL