
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Nicolas Villoria, Ruth; Suppi Boldrito, Remo, dir. Sistema de autoabastecimiento energético mediante placas solares en Corbera de Llobregat. 2025. 11 pag. (Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/317296>

under the terms of the  license

Sistema de autoabastecimiento energético mediante placas solares en Corbera de Llobregat

Ruth Nicolas Villoria

Resumen— Este proyecto propone un sistema de autoabastecimiento energético para Corbera de Llobregat mediante placas solares gestionadas a través de una app móvil. Busca reducir la dependencia energética, disminuir la huella de carbono y fomentar la participación ciudadana. La app permitirá reportar incidencias, visualizar datos de producción y recibir alertas. El proyecto incluye un análisis geográfico y demográfico, estudio del potencial solar, diseño del sistema fotovoltaico, desarrollo de la app, y análisis económico y de impacto. El uso de placas solares para el autoabastecimiento energético impulsa el ahorro y la autonomía de las personas, mejora la competitividad y sostenibilidad en las empresas, y fortalece la resiliencia de las administraciones públicas, favoreciendo la transición ecológica y la reducción de costes e impacto ambiental.

Palabras clave— Autoabastecimiento, placas solares, huella de carbono

Abstract— This project proposes an energy self-sufficiency system for Corbera de Llobregat using solar panels managed through a mobile app. It aims to reduce energy dependence, decrease the carbon footprint, and encourage citizen participation. The app will allow users to report incidents, visualize production data, and receive alerts. The project includes a geographic and demographic analysis, a study of solar potential, photovoltaic system design, app development, and economic and impact analysis. The use of solar panels for self-sufficient energy promotes savings and autonomy for individuals, enhances competitiveness and sustainability in businesses, and strengthens the resilience of public administrations, supporting the ecological transition and reducing costs and environmental impact.

Keywords— Self-sufficiency, Solar panels, Carbon footprint

1 INTRODUCCIÓ - CONTEXT DEL TREBALL

La motivación de este proyecto se sustenta en tres ejes principales: el vínculo personal con Corbera de Llobregat, la alineación con las metas europeas y la coherencia con mi carrera. La Unión Europea ha fijado objetivos ambiciosos en materia energética, como elevar al 42,5% el consumo de energías renovables para 2030 (con un complemento indicativo del 2,5% para alcanzar el 45%), según la Directiva adoptada por el Consejo Europeo en octubre de 2023. Este marco legal, desarrollado en el contexto del paquete legislativo «Objetivo 55», busca acelerar la

transición en sectores clave como el transporte, la industria y los edificios, donde se establecen subobjetivos vinculantes, como una reducción del 14,5% en emisiones del transporte mediante renovables o una cuota del 49% de energías limpias en edificios para 2030. Además, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) de España, revisado en 2023, amplía estos compromisos, elevando al 48% la proporción de renovables en el consumo final y priorizando la eficiencia energética. Estas agendas, impulsadas tras estrategias como REPowerEU (mayo de 2022) para reducir la dependencia de combustibles fósiles, reflejan una hoja de ruta clara hacia la neutralidad climática en 2050.

La importancia de avanzar hacia un sistema energético más resiliente y sostenible se ha puesto aún más de manifiesto con el incidente ocurrido el 28 de abril de 2025: un apagón eléctrico masivo afectó a toda la España peninsular, así como a Portugal y algunas zonas de Francia, debido a la interconexión de los sistemas eléctricos. A las 12:33

• E-mail de contacte: 1107986@uab.cat
• Treball tutoritzat per: Dr. Remo Suppi Boldrito
(Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativo)
• Curs 2024/25

horas, desaparecieron súbitamente 15 gigavatios de la red eléctrica, lo que representó el 60% de la energía que se estaba consumiendo en ese momento, provocando la interrupción de infraestructuras críticas como hospitales, transporte, comunicaciones y servicios básicos. El suceso ha sido calificado por las autoridades como “absolutamente excepcional y extraordinario”. La recuperación del suministro fue paulatina y prolongada, afectando gravemente la vida cotidiana de millones de personas y evidenciando la vulnerabilidad del sistema actual.

Este acontecimiento reciente subraya la urgencia y relevancia de proyectos que fortalezcan la seguridad, la descentralización y la sostenibilidad del suministro energético, alineados con los objetivos europeos y nacionales.

El desarrollo de soluciones innovadoras en energías renovables y eficiencia energética no solo contribuye a la transición ecológica, sino que también refuerza la resiliencia ante futuras contingencias, garantizando un suministro estable y seguro para la ciudadanía.

2 CONTEXTO Y PROBLEMÀTICA ACTUAL

Corbera de Llobregat enfrenta desafíos energéticos que combinan dependencia de redes centralizadas, vulnerabilidad ante cortes de suministro y elevada huella de carbono, pese a avances en renovables. La localidad ha experimentado interrupciones eléctricas recurrentes, como las registradas durante el temporal Gloria (2020), donde municipios del Baix Llobregat, incluido Corbera, exigieron a Endesa medidas urgentes para mejorar infraestructuras obsoletas. Estos episodios evidenciaron la fragilidad de una red que aún depende en gran medida de combustibles fósiles, con distribuidoras como E-Distribución gestionando altas, cortes y reparaciones bajo modelos tradicionales.

A estos antecedentes se suma el reciente incidente del 28 de abril de 2025, cuando Corbera, al igual que el resto de la comarca y amplias zonas del país, permaneció aproximadamente 11 horas sin suministro eléctrico tras un apagón generalizado que afectó a toda la península Ibérica. El restablecimiento fue paulatino y, en el caso del Baix Llobregat, la recuperación total se prolongó durante horas, poniendo de manifiesto la vulnerabilidad de la red y el impacto directo sobre la vida cotidiana, los servicios esenciales y la actividad económica.

Entre los aspectos relevantes de esta demarcación se pueden enumerar:

- Autoconsumo y renovables:

- El Instituto Can Margarit genera 96 kWp mediante paneles solares, cubriendo parte de su demanda y destinando excedentes a equipamientos públicos y hogares vulnerables.
- La red de calor con biomasa del CEIP Jaume Balmes (401 kW) abastece al pabellón deportivo, la escuela y la piscina municipal, eliminando el uso de gasóleo y aprovechando recursos forestales locales.

- Cortes de luz:

- Problemas históricos en la red, agravados por fenómenos meteorológicos extremos, han generado interrupciones prolongadas, como las de

enero de 2020, que afectaron a múltiples servicios.

- La dependencia de distribuidoras como Endesa mantiene a la población expuesta a fluctuaciones de precios y fallos técnicos, con protocolos de reparación que pueden demorarse horas o días.

- Huella de Carbono:

- Aunque iniciativas como la biomasa han reducido emisiones en equipamientos públicos, no existen datos públicos consolidados sobre la huella global del municipio. Proyectos como los paneles solares en institutos (230.000 kWh/año) y la red de calor (100% demanda térmica) apuntan a una transición incipiente, pero insuficiente para alcanzar los objetivos europeos de 42,5% renovables en 2030.

La problemática se agrava por la desconexión entre avances institucionales y acceso ciudadano: mientras edificios públicos implementan soluciones sostenibles, muchos hogares siguen sujetos a tarifas reguladas y vulnerabilidad energética. Además, la falta de inversión en modernización de redes limita la escalabilidad de proyectos de autoconsumo. Esta dualidad refleja un reto sistémico: avanzar hacia la autonomía energética sin dejar atrás a sectores de la población más afectados por la pobreza energética y la obsolescencia de infraestructuras.

3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo central de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de placas solares comunitarias (huertos solares) que garantice el autoabastecimiento energético de Corbera de Llobregat. Un aspecto fundamental y diferenciador de la propuesta es la integración de una aplicación móvil participativa, que otorga un papel protagonista a la ciudadanía en la gestión y seguimiento del sistema. Esta plataforma digital no solo facilita el acceso a información en tiempo real sobre la producción y el consumo energético, sino que también fomenta la transparencia, la comunicación y la implicación activa de los vecinos en la transición hacia un modelo más sostenible. Así, el proyecto combina innovación técnica y social bajo tres pilares:

- Sostenibilidad energética :

El primer pilar consiste en implantar un sistema de placas solares comunitarias que permita a Corbera de Llobregat avanzar hacia el autoabastecimiento energético y reducir su huella de carbono. Este enfoque aprovecha recursos renovables y promueve un consumo energético más limpio y eficiente, alineándose con los objetivos de transición energética y sostenibilidad ambiental de la región.

- Participación ciudadana:

El segundo pilar se basa en involucrar activamente a los vecinos en el diseño, la gestión y el seguimiento del sistema energético. La participación comunitaria

es fundamental para adaptar el proyecto a las necesidades reales del municipio, fomentar el sentido de pertenencia y responsabilidad, y asegurar la aceptación social de la iniciativa. Además, este enfoque refuerza la cohesión social y la colaboración entre ciudadanos, empresas y administraciones locales

- Digitalización y empoderamiento a través de la app

El tercer pilar es la integración de una aplicación móvil participativa, que actúa como herramienta clave para facilitar la comunicación, la transparencia y la gestión colectiva del sistema. La app permite a los usuarios consultar datos en tiempo real, reportar incidencias y participar en la toma de decisiones, empoderando a la población y haciendo la gestión energética más accesible y democrática

4 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto, se recopilaron datos geográficos y demográficos de Corbera de Llobregat, utilizando los límites administrativos del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) y datos de población y viviendas del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Se analizó el potencial solar del municipio mediante el estudio de la radiación solar media anual y la superficie disponible para la instalación de placas solares, identificando las áreas más adecuadas para su aprovechamiento.

Además, se evaluaron las problemáticas relacionadas con el suministro energético, incluyendo antecedentes de cortes, el estado de la red eléctrica y la huella de carbono asociada al consumo energético local. Este análisis permitió establecer una base sólida para el planteamiento de soluciones adaptadas a las necesidades del municipio.

4.1 Creación del mapa base en QGIS

En la primera fase de investigación se buscó información fidedigna de los usos del suelo y se decidió crear un mapa en la herramienta QGIS que permitirá su posterior uso en un formato abierto y con herramientas opensource.

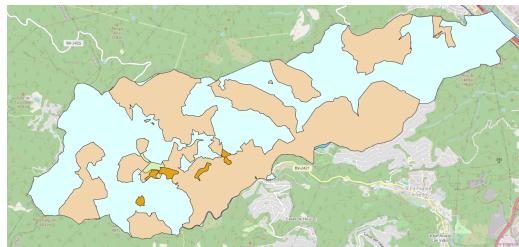


Fig. 1: Corbera de Llobregat (MUC_CLAS)

	Suelo no urbanizable
	Suelo urbano
	Suelo urbano no consolidado
	Suelo urbanizable delimitado
	Suelo urbanizable no delimitado

TAULA 1: TIPOS DE SUELO

- Límites administrativos: A través de ICGC [2] obtenemos los límites administrativos de Corbera de llobregat
- Importación de datos catastrales : Se incorpora la capa MUC_CLAS para diferenciar los tipos de suelo (urbano, no urbanizable, etc.), identificando áreas prioritarias para la instalación de placas solares.
- Superposición de cartografía urbana : Se añaden capas de urbanizaciones y datos de OpenStreetMap para contextualizar el entorno, localizando edificios, viales y otros elementos relevantes.
- Elaboración visual : El mapa resultante permite visualizar de forma clara la distribución del territorio y facilitar la planificación de las instalaciones solares.

4.1.1 Exportación a formato web con qgis2web

El mapa base creado en QGIS se exportó a formato web utilizando el complemento qgis2web:

- Conversión a Leaflet: qgis2web generó un conjunto de archivos (HTML, CSS, JavaScript) que implementan el mapa interactivo utilizando la biblioteca Leaflet.
- Generación de GeoJSON: Las capas vectoriales (MUC_CLAS, urbanizaciones) se convirtieron a formato GeoJSON, conservando la información de coordenadas y atributos asociada a cada elemento.

4.2 Diseño Técnico y Dimensionado del Sistema Fotovoltaico

El diseño técnico y el dimensionado de un sistema fotovoltaico requieren analizar tanto la demanda energética prevista como las condiciones del lugar de instalación. Este proceso permite determinar el tamaño óptimo del sistema y seleccionar los componentes adecuados para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

Entre las principales tareas de este apartado se encuentran:

- Cálculo de potencia y número de paneles : Se dimensiona el sistema en función de la superficie disponible y la demanda energética estimada.
- Selección de componentes : Se eligen inversores híbridos, baterías y cuadros de cargas críticas para garantizar la autonomía durante los cortes de red.
- Configuración y disposición: Se define la ubicación y orientación de los paneles, así como la integración de los diferentes componentes, teniendo en cuenta factores como la inclinación, las sombras y las condiciones climáticas locales

4.3 Evaluación Económica y de Impacto

Para evaluar la viabilidad y los beneficios del sistema fotovoltaico, es fundamental realizar un análisis económico y ambiental que permita conocer tanto el retorno de la inversión como el impacto en la reducción de emisiones.

- Cálculo del retorno de inversión : Estimación de costes, periodos de amortización y análisis de subvenciones disponibles.
- Análisis de reducción de huella de carbono : Comparativa de emisiones antes y después de la implantación del sistema.

4.4 Participación Ciudadana y Escalabilidad

El enfoque por fases facilita la planificación y ejecución ordenada del proyecto, desde la recogida y análisis de datos, pasando por el diseño y dimensionado del sistema fotovoltaico, hasta la evaluación económica y la escalabilidad futura. Además, la integración del mapa interactivo mejora la toma de decisiones y la gestión, haciendo accesible la información clave tanto para técnicos como para la ciudadanía.

- Fomento de la implicación comunitaria : La aplicación permite a los usuarios reportar incidencias, visualizar datos y participar en retos colectivos.
- Escalabilidad del sistema : La solución es replicable en otros municipios y adaptable a nuevas necesidades tecnológicas o sociales.

5 ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y DEMOGRÁFICO DE CORBERA DE LLOBREGAT

TAULA 2: PARÁMETROS TÉCNICOS

Padrón correspondiente al ejercicio 2024

Parámetro	Valor	Fuente/Justificación
Superficie total construida	4.407.103 m ²	Cadastro [4]
Población total (2024)	15.783 hab	INE [1]
Viviendas	6.411	Cadastro [?]

Ver Cadastre.pdf

Para la estimación de los parámetros técnicos del municipio de Corbera de Llobregat, se han utilizado datos oficiales correspondientes al ejercicio 2024. Según el Padrón Municipal, la población total asciende a 15.783 habitantes, de acuerdo con las proyecciones publicadas por el INE . Por otro lado, las estadísticas del Portal del Catastro indican que el municipio cuenta con una superficie total construida de 4.407.103 m² y un total de 6.411 viviendas registradas.

Estos valores permiten dimensionar adecuadamente las necesidades residenciales y de infraestructura, así como planificar el desarrollo urbano en función de la realidad demográfica y edificatoria del municipio.

6 ESTUDIO ENERGÉTICO Y POTENCIAL SOLAR

Para dimensionar el sistema fotovoltaico propuesto, se han considerado varios parámetros técnicos clave. En primer lugar, se ha calculado que la potencia solar necesaria es de 661.065 kW , tomando en cuenta una superficie disponible de 4.407.103 m² y una eficiencia de captación de

TAULA 3: SISTEMA FOFOVOLTAÍCO PROPUESTO

Concepto	Valor	Fuente/Detalle
Potencia solar necesaria	661.065 kW	4.407.103 m ² * 0.15kW/ m ² (incluye pérdidas por orientación y sombras)
Paneles requeridos	2.754.439 und.	4.407.103 m ² /1.6 m ² / placa (paneles de 450kW)
Generación anual estimada	882,62 GWh	661.065 kW*1.335h/año (horas solares pico en Barcelona)

0,15 kW/m² , ya considerando las pérdidas por orientación y sombras.

Con esta superficie, se estima que se requerirán aproximadamente 2.754.439 paneles solares , asumiendo que cada panel tiene una superficie de 1,6 m² y una potencia de 450 W por panel. Finalmente, la generación anual estimada para el sistema es de 882,62 GWh , calculada a partir de la potencia instalada y considerando 1.335 horas solares pico al año , según los valores promedio para la ciudad de Barcelona.

Estos datos permiten planificar la infraestructura necesaria para la instalación y estimar la producción energética anual que podría aportar el sistema fotovoltaico propuesto.

7 ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO

En este apartado se analiza la huella de carbono asociada a diferentes escenarios energéticos. El objetivo es comparar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en cada caso, para evaluar su impacto ambiental y determinar las opciones más sostenibles para el municipio. A continuación, se describen y cuantifican las emisiones correspondientes a los tres escenarios planteados.

7.1 Escenario actual (red eléctrica)

Para comprender el impacto ambiental del sistema eléctrico actual, es necesario analizar las emisiones asociadas al consumo energético en la región, tomando como referencia los valores medios de emisiones por habitante en España.

Según los datos actuales:

- **Población:** 15.783 habitantes (dato INE)
- **Viviendas:** 6.411 (Catastro)
- **Superficie total construida:** 4.407.103 m²

El valor medio de emisiones por habitante en España se mantiene en 4,35 tCO₂/hab (puedes ajustar este valor si tienes uno más actual).

$$\text{Emisiones anuales} = 15.783 \text{ habitantes} \times 4,35 \frac{\text{tCO}_2}{\text{hab}} \\ = 68.655,05 \text{ tCO}_2$$

7.2 Escenario solar sin baterías

El escenario solar sin baterías ha sido evaluado considerando dos componentes principales: la fabricación de los paneles solares y la energía de respaldo necesaria.

La fabricación de los paneles solares conlleva emisiones de 17.288 tCO₂/año. Este valor se calcula considerando una capacidad instalada de 661.065 kW de paneles solares, donde cada kW tiene una huella de carbono de 26,15 kgCO₂ por año¹.

Además, se requiere energía de respaldo para cubrir el consumo nocturno. Esta energía de respaldo genera emisiones de 20.597 tCO₂/año, representando el 30%

En total, este sistema emite 37.885 tCO₂/año, lo que supone una reducción del 44,8% en comparación con el sistema actual de referencia.

TAULA 4: SISTEMA FOTOVOLTAICO SIN BATERÍAS

Componente	Emisiones	Cálculo
Fabricación de paneles	17.309 tCO ₂ /año	661.065 kW × 654 kgCO ₂ /kW
Energía de respaldo	20.597 tCO ₂ /año	30% × 68.655 tCO ₂
Total anual	37.906 tCO₂/año	44,8% menos que el sistema actual

7.3 Escenario solar con baterías

El escenario solar con baterías domésticas considera la fabricación de los paneles solares y la fabricación de las baterías.

Las emisiones asociadas a la fabricación de los paneles solares son de 17,309 tCO₂/año, calculadas para una capacidad instalada de 661.065 kW de paneles y una huella de carbono de 654 kgCO₂/kW.

Adicionalmente, se consideran las emisiones de la fabricación de las baterías, que ascienden a 641 tCO₂/año. Este valor se basa en la fabricación de 6.411 baterías (una por vivienda), cada una con una huella de carbono de 1 tCO₂.

En total, este sistema emite 17,950 tCO₂/año, lo que representa una reducción del 73,8% en comparación con el sistema actual de referencia.

TAULA 5: SISTEMA FOTOVOLTAICO CON BATERÍAS

Componente	Emisiones	Cálculo
Fabricación paneles	17,309 tCO ₂ /año	661,065 kw × 654 kgCO ₂ /kw
Fabricación baterías	641 tCO ₂ /año	6,411 viviendas × 1 tCO ₂
Total anual	17,950 tCO₂/año	73,8% menos que el sistema actual

8 OTROS REQUISITOS

La mayoría de las instalaciones solares residenciales están conectadas a la red eléctrica, formando lo que se conoce

¹Calculado para 25 años de vida útil y 654 kgCO₂ por kW instalado, según [?]

como un sistema “on-grid” ²

En este tipo de instalaciones, se utilizan inversores estándar que, por motivos de seguridad, se apagan automáticamente cuando detectan la ausencia de suministro eléctrico en la red.

En este tipo de sistemas, la energía generada por los paneles solares se utiliza para abastecer el consumo de la vivienda o edificio, y el excedente se puede volcar a la red. Cuando la producción solar no es suficiente, la red eléctrica suministra la energía necesaria.

Esta medida evita que la energía generada por los paneles solares se inyecte en la red durante un corte, lo cual podría poner en peligro a los técnicos que estén realizando labores de mantenimiento o reparación.

Para que la energía generada por tus placas solares te sirva durante un apagón, necesitas una instalación con baterías y un inversor híbrido que tenga función de respaldo ,modo isla o backup . Esto es lo que permite que, cuando se cae la red eléctrica, el sistema se desconecte automáticamente de la red general y pase a alimentar tus consumos críticos usando la energía almacenada en las baterías y la que siguen generando los paneles solares

8.1 Autonomía sin red eléctrica

Los requisitos necesarios para que las placas fotovoltaicas funciones cuando la red eléctrica falle son:

- Inversor híbrido o con función de "backup"(EPS): A diferencia de los inversores convencionales, un inversor híbrido o uno con función de "backup"es capaz de desconectarse de la red y seguir suministrando energía a la vivienda, utilizando la electricidad generada por los paneles solares y/o la almacenada en baterías. Ejemplos de estos inversores son el Victron Multiplus, el Fronius GEN24, el Huawei Luna y el SMA Sunny Boy Storage, entre otros.
- Baterías solares: Las baterías son esenciales para garantizar el suministro eléctrico cuando no hay radiación solar, como por la noche o en días nublados. Estas baterías almacenan el excedente de energía solar generada durante las horas de sol, permitiendo su uso posterior.
- Cuadro de cargas críticas: En una instalación con backup, no se suele alimentar toda la vivienda, sino únicamente aquellos circuitos considerados esenciales, como la nevera, las luces principales y algunos enchufes. Para ello, se instala un cuadro de cargas críticas que separa estos circuitos del resto.
- Instalación profesional y homologada: Es fundamental que la instalación sea realizada por un instalador certificado y que cumpla con la normativa vigente. Esto garantiza la seguridad de la instalación y el correcto funcionamiento del sistema de backup.

La importancia de que nuestro sistema fotovoltaico se mantenga activo incluso cuando las redes eléctricas convencionales sufren caídas radica en garantizar la continuidad del

²on-grid .Un sistema on-grid es una instalación de energía solar fotovoltaica que está conectada directamente a la red eléctrica convencional.

suministro energético para la comunidad, lo que resulta fundamental tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la calidad de vida y la resiliencia ante situaciones imprevistas.

Además, esta autonomía energética fortalece la independencia respecto a la infraestructura eléctrica convencional, reduce la vulnerabilidad ante emergencias y contribuye a la autosuficiencia local, posicionando a la comunidad como referente en sostenibilidad y adaptación a los desafíos energéticos del futuro.

TAULA 6: RESUMEN VISUAL

Elemento	¿Por qué es necesario?
Inversor híbrido/backup	Permite funcionar sin red eléctrica
Baterías solares	Suministran energía cuando no hay sol ni red
Cuadro de cargas críticas	Prioriza los consumos esenciales durante el corte
Instalación profesional	Seguridad, legalidad y correcto funcionamiento

9 INVERSIÓN Y AMORTIZACIÓN

La inversión necesaria para la implantación del sistema fotovoltaico de gran escala en Corbera de Llobregat se ha estimado teniendo en cuenta los principales componentes del sistema, así como los períodos de retorno habituales para este tipo de instalaciones industriales. Los valores reflejados se ajustan a los precios de mercado para proyectos empresariales e industriales en 2025.

TAULA 7: OPCIONES DE AMORTIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Concepto	Coste estimado
Sistema completo con baterías	793,3 M€
Sistema sin baterías	529,0 M€
Inversores solares	12-18 M€
Estructura de montaje	20-30% del coste de los paneles
Cuadro de cargas críticas y sistemas de gestión	20-40 M
Instalación profesional y legalización	10-15% del coste total

Los períodos de retorno estimados dependen de la modalidad elegida (con o sin baterías) y de la posible obtención de subvenciones públicas. La inversión inicial puede verse reducida hasta en un 50% mediante ayudas del IDAE u otros programas autonómicos, acortando significativamente el plazo de amortización.

La tabla muestra un resumen de las principales opciones de inversión para la instalación del sistema fotovoltaico de gran escala en la comunidad.

Los períodos de retorno estimados varían según la modalidad elegida (con o sin baterías) y la obtención de subvenciones públicas, que pueden reducir la inversión inicial hasta

TAULA 8: TOTALES DE INVERSIÓN SEGÚN EL TIPO DE SISTEMA

Concepto	Coste total estimado	Observaciones
Sistema completo con baterías	793,3 M€	Incluye paneles, inversores, baterías, estructura y gestión
Sistema sin baterías	529,0 M€	Incluye paneles, inversores, estructura y gestión

en un 50%. El coste del sistema con baterías es de 793,3 millones de euros (retorno en 8-10 años) y sin baterías, 529,0 millones de euros (retorno en 5-7 años).

En España existen ayudas del IDAE, fondos Next Generation EU y programas autonómicos que pueden cubrir entre el 30% y el 50% de la inversión, además de deducciones fiscales, bonificaciones en IBI/ICIO y líneas de financiación específicas. Estas facilitan la amortización y hacen que la inversión sea rentable a medio plazo, impulsando la autosuficiencia energética y la sostenibilidad local.

Así, si aplicamos estas ayudas a nuestro proyecto podríamos hablar de:

TAULA 9: DESCUENTOS APLICABLES SOBRE EL CAPITAL INVERTIDO

Ayuda/ Subvención	Porcentaje de descuento	Importe máximo aplicado (ejemplo: 793,3 M€)
IDAE (autoconsumo y almacenamiento)	Hasta 50%	396,65 M€
Fondos Next Generation EU	Hasta 20% adicional	158,66 M€
Programas autonómicos	10-20% adicional	79,33-158,66 M€
Bonificación IBI/ICIO	Hasta 50% (sobre impuestos)	Variable según municipio
Deducciones fiscales	Hasta 12% (IS/IRPF)	Según beneficio fiscal anual
Total acumulable*	Hasta 70-80%	Hasta 634,64 M€

10 APPLICACIÓN MÓVIL

10.1 Descripción general

La aplicación desarrollada es una Progressive Web App (PWA)³ multiplataforma, diseñada específicamente para la gestión y visualización de información geográfica y de servicios municipales en Corbera de Llobregat. Su papel dentro del proyecto es clave, ya que centraliza datos esenciales

³PWA significa *Progressive Web App*, una aplicación web que, gracias a tecnologías como los Service Workers, puede instalarse en dispositivos, funcionar offline y comportarse de manera similar a una aplicación nativa.

sobre el territorio, facilita el acceso a servicios y mejora la interacción entre los ciudadanos y el municipio. Esta herramienta digital no solo moderniza la gestión urbana, sino que también impulsa la participación ciudadana y la sostenibilidad.

El diseño de la aplicación ya ha sido realizado, incluyendo tanto la estructura visual como una prueba de concepto funcional. A continuación, se presenta una descripción de su diseño actual, que consta de siete pestañas, cada una con una funcionalidad específica pensada para cubrir las necesidades locales

- Pestaña 1: Rutas a granjas solares. Visualización de trayectos y localización de granjas de placas solares sobre un mapa interactivo.
- Pestaña 2: Información poblacional. Muestra límites administrativos, urbanizaciones y ubicación de instalaciones relevantes.

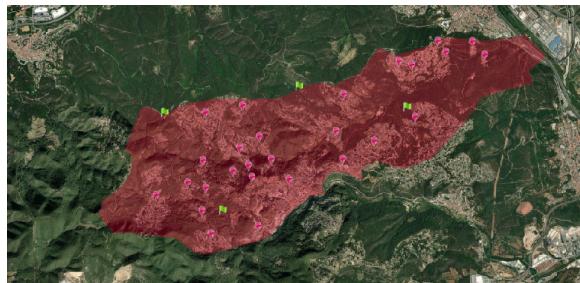


Fig. 2: Información poblacional

- Pestaña 3: Usos del suelo. Permite identificar zonas según su uso (residencial, agrícola, forestal, etc.).

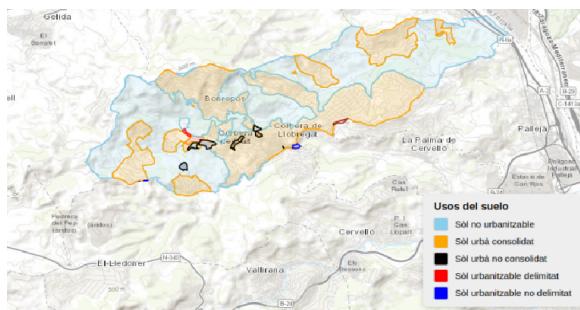


Fig. 3: Usos del suelo

Pestaña 4: Clima. Proporciona datos meteorológicos en tiempo real, incluyendo predicciones y alertas.

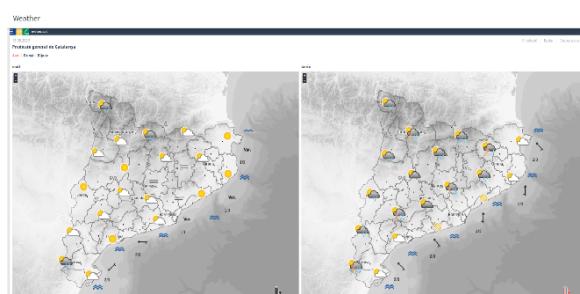


Fig. 4: Weather

- Pestaña 5: Geolocalización. Ubica al usuario en el mapa y muestra información contextual de su entorno.

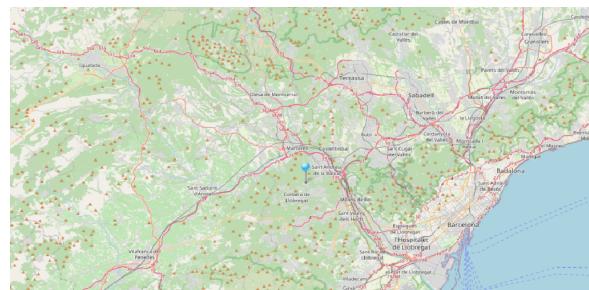


Fig. 5: Geolocalización

- Pestaña 6: Registro de incidencias. Permite a los ciudadanos reportar fallos o problemas relacionados con las placas solares. Los datos enviados se dirigen directamente al responsable del mantenimiento, lo que permite acelerar la respuesta y agilizar las intervenciones de reparación.

Fig. 6: Incidencias

- Pestaña 7: Mejoras futuras. Esta sección queda reservada para incorporar nuevas funcionalidades que puedan surgir tanto por parte del administrador como de los usuarios. El objetivo es construir una aplicación dinámica y adaptable que responda a las necesidades de ambas partes, garantizando su utilidad y evolución constante.

Fig. 7: Extra

La aplicación funciona de manera offline, permite instalación en dispositivos móviles o de escritorio, y gracias a su arquitectura modular es fácilmente escalable y mantenible. Si bien utiliza tecnologías como Node.js en el backend para procesar datos, el enfoque del diseño ha estado centrado en ofrecer una experiencia intuitiva, útil y cercana al ciudadano, más allá de los detalles técnicos.

10.1.1 Arquitectura, tecnología y desarrollo

Servidor backend⁴ : Node.js permite crear el servidor que recibe, procesa y responde a las peticiones de tu aplicación (por ejemplo, guardar estadísticas, recibir datos de seguimiento, servir archivos GeoJSON, etc.).

Comunicación eficiente: Gracias a su modelo asíncrono y no bloqueante, Node.js puede gestionar muchas peticiones al mismo tiempo de forma eficiente, lo que es ideal para aplicaciones web modernas como una PWA.

Gestión de datos: Con Node.js puedes crear APIs que permiten a tu app enviar y recibir información (por ejemplo, registrar incidencias, consultar datos del usuario, actualizar información en tiempo real, etc.).

Facilidad de integración: Node.js utiliza JavaScript, el mismo lenguaje que tu frontend (Angular/Ionic), lo que facilita el desarrollo y la integración entre ambas partes de la app.

Uso de NPM: Node.js incluye NPM.

10.2 Estructura y explicación del código

El desarrollo de la aplicación se ha realizado utilizando Ionic con Angular, aprovechando sus ventajas para construir una Progressive Web App modular, escalable y adaptable a dispositivos móviles y de escritorio.

10.2.1 Estructura general del proyecto

La aplicación se organiza en una carpeta principal llamada myApp, que incluye los siguientes elementos:

/src/app: contiene los componentes principales, organizados en subcarpetas (tab1, tab2, etc.) que corresponden a las diferentes pestañas de la aplicación.

Cada pestaña incluye: Un archivo .html para la estructura visual. Un archivo .scss para los estilos. Un archivo .ts que gestiona la lógica y funcionalidades del componente.

Esto permite una separación clara entre lógica, presentación y estilos, siguiendo el patrón de diseño MVC (Modelo–Vista–Controlador).

10.2.2 Ejemplo: Tab4 - Visualización de urbanizaciones en el mapa

En la pestaña 4 (tab4.page.ts), se ha implementado una funcionalidad basada en Leaflet, una biblioteca de mapas de código abierto, para mostrar información geográfica.

Importaciones y configuración:

Se importan los módulos necesarios para trabajar con componentes de Angular, Leaflet y geolocalización. También se configuran los iconos personalizados para representar elementos en el mapa:

```
var PinkIcon = L.icon( iconUrl:
  'assets/icon/Pink.png', iconSize:
  [30, 30], iconAnchor: [15, 30] );
```

Esto permite distinguir visualmente diferentes tipos de ubicaciones.

Creación del mapa:

⁴Un servidor backend es la parte de una aplicación que se ejecuta en el servidor, gestionando la lógica, el almacenamiento y el procesamiento de datos, y comunicándose con el frontend para enviar y recibir información.

El mapa se inicializa con la función leafletMap() que se ejecuta al entrar en la vista (ionViewDidEnter), asegurando que el DOM esté completamente cargado.

Aquí se definen grupos de marcadores (Urbanizaciones) y se agregan ubicaciones específicas como Can Arnengol y San Cristofol:

```
const CanArnengol =
L.marker([41.413740060170966,
1.895156491215244], icon: PinkIcon
).bindPopup('Can Arnengol')
.addTo(Urbanizaciones);
```

Estos marcadores muestran información sobre puntos relevantes del municipio cuando el usuario interactúa con ellos.

Uso de layerGroup Los marcadores se agrupan mediante L.layerGroup(), lo que permite organizarlos mejor y manejárselos como una sola unidad. Esto es útil si en futuras versiones se desea ocultar, filtrar o gestionar dinámicamente los datos del mapa.

10.2.3 Componentes y modularidad

Cada pestaña sigue esta lógica modular, lo cual permite:

- Mantener el código limpio y separado por funcionalidades.
- Facilitar la escalabilidad y reutilización del código.
- Mejorar el mantenimiento y las pruebas por parte del equipo de desarrollo.

10.2.4 Integración con otras tecnologías

Aunque el backend no es el foco de esta sección, el código está preparado para comunicarse con una API o servidor a través de peticiones HTTP, permitiendo almacenar datos como incidencias o estadísticas de uso, tal como se realiza en otras pestañas como la 6 (registro de incidencias).

10.3 Integración del Mapa en la Aplicación Móvil

Para integrar un mapa generado en QGIS en una aplicación móvil PWA usando Ionic/Angular y Leaflet, es importante entender cómo conectar el trabajo realizado en un entorno SIG con tecnologías web y móviles. QGIS permite crear mapas detallados y personalizados, que luego pueden exportarse en formatos compatibles con librerías web como Leaflet. Esto facilita la visualización e interacción de mapas en aplicaciones móviles de forma ligera y eficiente. Ionic y Angular ofrecen un marco de desarrollo que permite construir aplicaciones multiplataforma, accesibles tanto desde móviles como desde navegadores web. La combinación de estas tecnologías aprovecha la potencia de QGIS para el análisis geoespacial y la flexibilidad de Leaflet para mostrar mapas interactivos.

Lo que debemos hacer en primer lugar es instalar el plugin qgis2web desde el administrador de complementos de QGIS.

Seguidamente configuraremos la simbología y las capas base(OpenStreetMap, Google Maps) usando XYZ Tiles

Exportaremos el proyecto como mapa Leaflet

Web > qgis2web > Create web map > Leaflet

Procederemos a la integración de Ionic⁵.

Para integrar los mapas generados en QGIS dentro de tu proyecto Ionic, primero debes copiar los archivos exportados (por ejemplo, GeoJSON y recursos asociados) en la carpeta src/assets/webmap/ de tu proyecto.

Luego, es necesario modificar el archivo angular.json para agregar la hoja de estilos de Leaflet en la sección styles.

```
"styles": [
  "./node_modules/leaflet/dist/leaflet.css",
  "src/assets/webmap/qgis2web.css"]
```

Así, aseguras que los mapas se visualizan correctamente en la aplicación y con el estilo adecuado.

Luego tenemos el componente Leaflet⁶ en Ionic. Esto significa que hemos creado un componente específico en Angular⁷ (por ejemplo, para el primer tab) que incorpora la librería Leaflet, permitiendo mostrar un mapa interactivo dentro de la app.

```
@Component(...)
export class
TabMapPage implements AfterViewInit
private map: L.Map;
constructor(private http: HttpClient)

ngAfterViewInit()  this.initMap();
this.loadLayers();
private initMap(): void  this.map
= L.map('mapId', center: [41.3851,
2.1734], zoom: 13 );
L.tileLayer(
'https://stile.openstreetmap.org
/z/x/y.png').addTo(this.map);
private loadLayers():
void  this.http.get(
'assets/webmap/resources/layers/
layer1.geojson').subscribe(geojson
=> L.geoJSON(geojson, style:
this.applyQGISStyles, onEachFeature:
this.bindPopups ).addTo(this.map); );
```

Llegados aquí vamos a las técnicas de optimización y funcionalidades clave de la PWA.

- Carga diferida y simplificación de geometrías: El mapa simplifica las geometrías de los objetos (por ejemplo, polígonos o líneas) según el nivel de zoom, para que se carguen más rápido y consuman menos recursos.
- Service Workers y caché: Se configura el archivo gsws-config.json para que los archivos GeoJSON y recursos del mapa se almacenen en caché, permitiendo que la app funcione sin conexión.

⁵Ionic es un framework de código abierto que permite desarrollar aplicaciones móviles y web multiplataforma utilizando tecnologías web estándar como HTML, CSS y JavaScript.

⁶Leaflet es una biblioteca de JavaScript de código abierto para crear mapas interactivos en la web de forma sencilla y eficiente.

⁷Angular es un framework de desarrollo de aplicaciones web de código abierto, mantenido por Google, que permite crear aplicaciones modernas, escalables y de alto rendimiento utilizando TypeScript.

- Interactividad avanzada: Los elementos del mapa muestran popups con información detallada de los datos (por ejemplo, nombre, descripción y fecha de actualización) al hacer clic sobre ellos.

- Sincronización con el backend: La aplicación envía estadísticas de uso (como el nivel de zoom del mapa) al backend para su análisis, permitiendo mejorar la experiencia y el rendimiento.

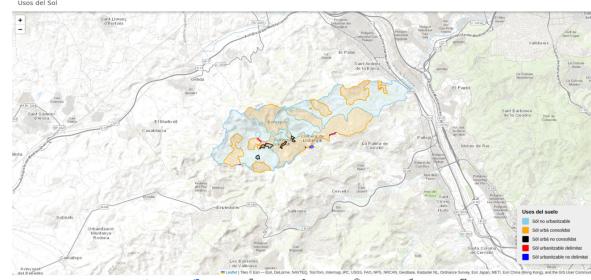


Fig. 8: Interface APP

10.4 Pruebas realizadas

Una vez completado el desarrollo de la aplicación, se procedió a realizar pruebas funcionales para validar el correcto funcionamiento de todas las características implementadas.

10.4.1 Procedimiento de prueba

Las pruebas se realizaron de forma manual, instalando la aplicación directamente en un dispositivo móvil mediante la opción de instalación como Progressive Web App (PWA) desde el navegador. Esta metodología permitió evaluar el rendimiento, la usabilidad y el comportamiento real de la aplicación en un entorno móvil, similar al que usarán los usuarios finales.

10.4.2 Resultados de las pruebas

Durante la fase de prueba se verificaron los siguientes aspectos:

- Visualización correcta de todas las pestañas y su contenido.
- Funcionamiento del mapa con marcadores y capas en las pestañas correspondientes.
- Geolocalización: se comprobó que la aplicación era capaz de obtener la posición actual del usuario.
- Accesibilidad y navegación: todas las rutas entre pestañas funcionaron sin errores.
- Compatibilidad offline: gracias a la arquitectura PWA, se verificó que algunas funcionalidades básicas seguían operativas sin conexión a Internet.

Todas las funcionalidades programadas funcionaron correctamente, sin errores visibles ni bloqueos en la interfaz, a excepción del formulario de incidencias, que aún no ha podido ser verificado completamente. Aun así, el resto de la aplicación se encuentra en un estado estable y funcional para su uso inicial.

11 CONCLUSIONS

El proyecto desarrollado para Corbera de Llobregat representa un paso importante hacia una gestión más eficiente, sostenible y participativa del sistema energético municipal. La solución propuesta combina la implementación de energía solar comunitaria con una aplicación web progresiva (PWA) diseñada específicamente para facilitar el acceso a la información, la comunicación entre usuarios y responsables, y la gestión de datos geoespaciales.

Desde el punto de vista técnico, se ha desarrollado una aplicación funcional, estructurada en siete pestañas que abordan distintos aspectos clave del sistema: desde la visualización de rutas hasta las plantas solares, información meteorológica en tiempo real, datos administrativos, usos del suelo, geolocalización del usuario, hasta un formulario para reportar incidencias y un espacio reservado para futuras mejoras. Esta estructura modular no solo favorece la navegación y experiencia del usuario, sino que facilita futuras ampliaciones según las necesidades tanto del administrador como de los ciudadanos.

En cuanto al desarrollo, el uso de tecnologías como Ionic, Angular y Leaflet ha permitido crear una solución multiplataforma y moderna. Se ha diseñado cuidadosamente la interfaz y se ha implementado un sistema de mapas interactivos con iconografía personalizada y capas dinámicas, como se observa en la pestaña de urbanizaciones. El enfoque progresivo y el uso de componentes reutilizables refuerzan la escalabilidad y mantenibilidad del sistema.

Respecto a las pruebas, se ha llevado a cabo una validación funcional descargando e instalando la aplicación en un dispositivo móvil. Durante este proceso se comprobó que todas las funciones implementadas hasta el momento funcionaban correctamente, con excepción del formulario de incidencias, cuya funcionalidad aún no ha podido ser verificada completamente. No obstante, la aplicación demostró estabilidad, una buena experiencia de usuario y compatibilidad con dispositivos móviles, cumpliendo con los objetivos iniciales del proyecto.

En conjunto, este proyecto integra de manera efectiva la tecnología fotovoltaica con la digitalización ciudadana. La app no solo mejora la gestión energética, sino que también promueve la transparencia, el empoderamiento comunitario y la participación activa de los vecinos. Se trata de un modelo replicable en otros municipios que quieran avanzar hacia una transición energética sostenible basada en la innovación tecnológica y la colaboración ciudadana.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universitat Autònoma de Barcelona, y en particular a la Escuela de Ingeniería, donde he tenido la oportunidad de formarme académicamente y comprender la importancia de adaptar nuestras sociedades a los desafíos que plantea el paso del tiempo. En este contexto, la historia nos ha recordado que el dicho "avanzar o morir" cobra una relevancia particular en la época en la que vivimos, marcada por rápidos avances tecnológicos y crecientes retos medioambientales.

De manera especial, quiero agradecer a mi tutor de Trabajo de Fin de Grado, el Dr. Remo Suppi Boldrito, del Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas

Operativos, miembro del grupo de investigación en Computació d'Altes Prestacions per a Aplicacions Eficients i Simulació, por su valiosa guía, apoyo constante y motivación para explorar nuevas fronteras tecnológicas. Su orientación ha sido fundamental para que este proyecto se convierta en una realidad y para que pueda contribuir, aunque sea modestamente, a un futuro más sostenible y tecnológico.

A todos ellos, gracias por inspirarme a ir más allá y por recordarme que el verdadero progreso es aquel que beneficia a la sociedad en su conjunto.

REFERÈNCIES

- [1] Instituto Nacional de Estadística. (2024). Población por municipios y sexo.
<https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2881>
- [2] Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2024). Vissir3 – Visor de mapas topográficos y ortofotos de Cataluña.
<https://www.icgc.cat/ca/Descarregues/Geoinformacio-en-linia/Visors/VISSIR3>
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2024). Energías renovables y autoconsumo.
<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/autoconsumo>
- [4] Sede Electrónica del Catastro (2024).
<https://www.sedecatastro.gob.es/>
Superficie:
url = https://www.catastro.hacienda.gob.es/esp/estadistica_7.asp
Unidades Urbanas de uso residencial:
url = https://www.catastro.hacienda.gob.es/esp/estadistica_7.asp

CONSULTAS NO CITADAS

- Duffie, JA y Beckman, WA (2013). Ingeniería Solar de Procesos Térmicos (4^a ed.). Wiley. Libro de referencia mundial sobre ingeniería solar, incluye fórmulas y ejemplos para dimensionar sistemas fotovoltaicos y térmicos.
- Quaschning, V. (2016). Comprensión de los sistemas de energía renovable (3^a ed.). Rutledge. Capítulos dedicados a cálculo de producción solar, eficiencia y dimensionado de instalaciones.
- Agencia Internacional de Energía (AIE) – Sistemas solares fotovoltaicos: requisitos técnicos y económicos. <https://iea-pvps.org/> Informes técnicos sobre dimensionado, costos y rendimiento de sistemas solares en diferentes países.
- IDAE – Guía técnica para la implantación de sistemas fotovoltaicos en España (2022). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-fotovoltaica> Manual oficial español con ejemplos de cálculo, datos de radiación y costes actualizados.

- Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energía Solar
ISE - Informe sobre energía fotovoltaica (2024).
<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
Informe anual con precios de paneles, tendencias de mercado y costes nivelados de energía.
- IRENA – Costos de generación de energía renovable en 2023. Agencia Internacional de Energías Renovables.
<https://www.irena.org/publications/2024/jan/renewable-power-generation-costs-in-2023> Datos internacionales sobre costes de instalación y operación de sistemas solares.
- NREL: ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la energía solar fotovoltaica. Laboratorio Nacional de Energías Renovables. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf> Estudio de referencia sobre las emisiones de CO asociadas a la fabricación, uso y reciclaje de paneles solares.
- Fthenakis, VM y Kim, HC (2011). Fotovoltaica: análisis del ciclo de vida. Energía solar, 85(8), 1609-1628. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.002> Artículo científico sobre el ciclo de vida y la huella de carbono de diferentes tecnologías fotovoltaicas.
- Comisión Europea – Reglas de categoría de huella ambiental de productos para módulos fotovoltaicos (2020).
https://ec.europa.eu/environment/eussd/smfp/pdf/PEFCR_Photovoltaic_Modules.pdf
Guía oficial europea sobre el cálculo de la huella ambiental de los paneles solares.
- PVGIS – Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica. Comisión Europea, CCI.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ Herramienta oficial europea para obtener datos de radiación solar y estimar la producción de placas en cualquier ubicación.

ANEXO: FUENTES DE INFORMACIÓN Y DECISIONES TÉCNICAS

Durante el desarrollo del proyecto se recurrió a diversas fuentes de información y herramientas que apoyaron tanto la toma de decisiones técnicas como la ejecución práctica. A continuación, se describen las más relevantes:

- Herramientas de inteligencia artificial: Se utilizó la asistencia de modelos de lenguaje como ChatGPT o Perplexity para estructurar secciones del informe, resolver dudas relacionadas con Ionic, Angular y Leaflet, y validar fragmentos de código durante la fase de desarrollo. Esta ayuda fue complementaria al trabajo técnico, manteniéndose siempre un criterio crítico sobre las soluciones aplicadas.
- Documentación oficial:
 - Angular
 - Framework

- Leaflet.js
- OpenStreetMap como base para la visualización cartográfica
- Las referencias de cadastrales son las proporcionadas desde la Sede de Cadastro en el correo donde me fué enviada la información
- Decisiones de diseño:
 - Se optó por una arquitectura modular con pestanas independientes para cada funcionalidad, facilitando la escalabilidad.
 - Se utilizó Leaflet como motor cartográfico por su ligereza y capacidad de personalización.
 - Se diseñó la aplicación como PWA (Progressive Web App) para asegurar su funcionamiento offline y su instalación directa en dispositivos móviles.
- Limitaciones enfrentadas:
 - La funcionalidad del formulario de incidencias no pudo ser verificada completamente al momento de la validación en móvil, debido a problemas en la conexión con el backend.