



# **Documentación**

## **Proyecto TerraWatt**

Alma Gutierrez

Rafael Borge

Deniz Alcobendas

Íñigo Pérez



# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introducción</b>                       | <b>1</b>  |
| <b>Entorno de Negocio</b>                 | <b>2</b>  |
| Modelo de negocio                         | 2         |
| KPIs de negocio                           | 4         |
| <b>Arquitectura del Proyecto</b>          | <b>5</b>  |
| Datos utilizados y modelos de información | 5         |
| <b>Modelos de Aprendizaje Automático</b>  | <b>6</b>  |
| ¿Qué se va a predecir?                    | 6         |
| Modelo de ML utilizado                    | 7         |
| Métricas obtenidas por el modelo          | 8         |
| <b>Visualización de Datos</b>             | <b>9</b>  |
| Cuadro de mando                           | 9         |
| Web de TerraWatt                          | 11        |
| <b>Conclusiones y Trabajo Futuro</b>      | <b>13</b> |

# Introducción

## **Contexto de negocio:**

Muchos consumidores no entienden cómo se calcula su factura de electricidad, lo que dificulta la adopción de hábitos de consumo más eficientes. Las facturas suelen ser confusas por el uso de términos técnicos, múltiples cargos (fijos, variables, impuestos), y una falta de transparencia sobre cómo afectan variables externas como el clima, el horario de consumo o el precio del mercado eléctrico.

Además, los usuarios no pueden prever fácilmente cuánto van a pagar o cómo pequeños cambios en su comportamiento (como usar electrodomésticos en ciertos horarios) impactan en el coste final. Esta falta de comprensión limita su capacidad de tomar decisiones informadas para reducir su consumo y su factura.

## **Solución:**

TerraWatt soluciona el problema simulando facturas personalizadas y explicando de forma visual y educativa cómo se calcula el coste de la electricidad, ayudando al usuario a entender y optimizar su consumo.

## **Objetivo del documento:**

Este documento tiene como objetivo definir la arquitectura técnica y el contexto funcional del proyecto de simulación de facturas eléctricas, detallando los componentes, tecnologías y flujos de datos que permiten calcular, visualizar y explicar de manera comprensible y personalizada el coste de la electricidad a los usuarios, con el fin de fomentar una mejor comprensión y gestión del consumo energético.

## **Resultados:**

Como resultado del proyecto, se ha desarrollado una página web interactiva que permite a los usuarios interpretar fácilmente su factura de la luz, mediante explicaciones visuales y desgloses claros de cada componente del coste. Además, los usuarios pueden simular su factura personalizada introduciendo sus propios

datos, obteniendo así una estimación realista del importe a pagar. La plataforma también ofrece recomendaciones prácticas para reducir el gasto eléctrico, basadas en patrones de consumo y condiciones externas como el precio de la electricidad o el clima, con el objetivo de fomentar decisiones más eficientes y sostenibles en el uso de la energía

## Entorno de Negocio

### Modelo de negocio

TerraWatt surge como respuesta a una necesidad creciente en los hogares españoles: disponer de una herramienta que les ayude a prever, entender y reducir su gasto energético. En un contexto donde los precios de la electricidad son cada vez más inestables, y donde el control del consumo se ha vuelto un factor determinante en la economía doméstica, TerraWatt ofrece una solución accesible, predictiva y educativa, que permite tomar decisiones informadas sin necesidad de conocimientos técnicos ni inversiones costosas.

El modelo de negocio se centra en un perfil de cliente claramente identificado tras entrevistas y simulaciones: **hogares gestionados principalmente por mujeres entre 30 y 45 años**, pertenecientes a clases media o media-baja, residentes en zonas urbanas y con un alto interés en reducir su factura eléctrica. Este público valora especialmente las soluciones que no requieren cambios drásticos, pero que sí ofrecen un impacto visible en el gasto mensual. Además del cliente doméstico, TerraWatt también puede generar valor para **entidades públicas y privadas**, como ayuntamientos, asociaciones de consumidores o comercializadoras eléctricas, que podrían utilizar la herramienta para promover campañas de educación energética, análisis de demanda o simulaciones agregadas.

El valor que se aporta al cliente se concreta en tres dimensiones clave:

- **Predicciones personalizadas de consumo y coste eléctrico**, basadas en la ubicación, tipo de vivienda, número de residentes y condiciones climáticas.

- **Recomendaciones claras y prácticas** para optimizar el consumo energético sin necesidad de cambiar de compañía eléctrica.
- **Educación y transparencia:** la plataforma traduce conceptos técnicos de la factura en información comprensible, permitiendo que el usuario entienda qué paga, por qué, y cómo puede reducirlo.

Para validar el encaje problema-solución, se llevaron a cabo entrevistas estructuradas con usuarios reales y simulaciones con perfiles diversos. A partir de este proceso se confirmaron varias hipótesis iniciales: la mayoría de personas no comprende del todo su factura eléctrica; existe un interés generalizado por recibir recomendaciones siempre que sean fáciles de entender; y el canal más cómodo y aceptado para acceder al servicio es la web. Además, se observó que muchos usuarios estarían dispuestos a compartir datos personales si se les garantiza privacidad y si comprenden claramente el uso que se dará a esa información.

Los datos de las entrevistas realizadas a 20 usuarios de distintos perfiles dieron los siguientes resultados sobre nuestro modelo de negocio:

- **Alta aceptación general:** El 75% de los usuarios valoraron la herramienta de forma “positiva” o “muy positiva”. Destacando la rapidez, utilidad y claridad de la predicción.
- **Perfil afín identificado:** La franja de edad más satisfecha se sitúa entre los **30 y 45 años**, lo cual coincide con el perfil objetivo definido. Las personas en este rango valoran la facilidad de uso y la posibilidad de ver su gasto futuro sin cambios drásticos en sus hábitos.
- **Retos con perfiles mayores:** Usuarios mayores de 60 años manifestaron más dificultades, especialmente con la navegación inicial o la introducción de datos. Comentarios como “me perdí bastante” o “debería explicarse mejor para mi generación” sugieren que se requiere mejorar la accesibilidad y guías iniciales.
- **Oportunidades de mejora destacadas:** Varios usuarios pidieron más explicaciones visuales o tutoriales breves; se solicitó añadir

recomendaciones para reducir el consumo energético y los usuarios valoraron positivamente la opción de descargar el resumen.

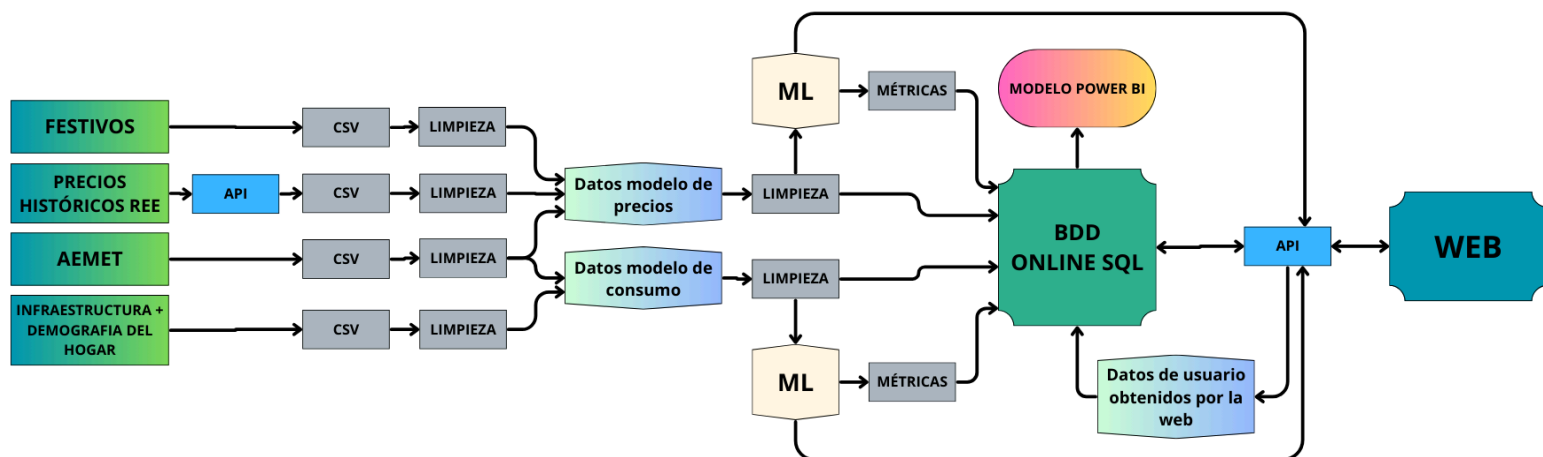
## KPIs de negocio

En cuanto a los indicadores clave del negocio, se definieron una serie de **KPIs estratégicos** que permiten medir tanto el valor aportado como el nivel de adopción del sistema:

- **Número de predicciones realizadas**, segmentadas por perfil de usuario, tipo de vivienda y ubicación.
- **Tiempo medio de permanencia en la web** y frecuencia de visitas.
- **Precisión de los modelos** predictivos, medida a través de métricas como MAE y  $R^2$ .
- **Impacto estimado en la reducción del gasto eléctrico**, a partir de simulaciones personalizadas.
- **Interacción con contenidos educativos**, como la sección “Entiende tu factura” o guías prácticas.
- **Tasa de repetición de uso y recomendación del servicio**, como indicador de satisfacción y fidelización.

Estos indicadores permiten evaluar no solo el rendimiento técnico de la solución, sino también su impacto real en los usuarios, asegurando así que TerraWatt cumple su objetivo de facilitar un consumo energético más eficiente, comprensible y accesible.

# Arquitectura del Proyecto



## Datos utilizados y modelos de información

La arquitectura del proyecto **TerraWatt** ha sido diseñada con el objetivo de convertir grandes volúmenes de datos energéticos y meteorológicos en **predicciones útiles, comprensibles y accesibles** para cualquier tipo de usuario. Su diseño se basa en tres principios fundamentales: **automatización, estructura clara** y **escalabilidad**, lo que permite integrar diferentes fuentes de datos de forma eficiente y visualizarlos de manera intuitiva, adaptándose a distintos perfiles de análisis.

El sistema comienza con un proceso automatizado de recopilación de datos, que reúne información procedente de fuentes públicas como:

- **La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)**, que aporta variables clave como la temperatura, el viento, la presión atmosférica o la radiación solar.
- **La Red Eléctrica Española (REE)**, de donde se extraen los precios de la electricidad, tanto horarios como diarios.
- **Un calendario de festivos nacionales y autonómicos**, útil para ajustar predicciones según los patrones de consumo en días no laborables.
- **Datos sobre viviendas e información demográfica**, incluyendo el tipo de vivienda, número de habitantes por hogar y la potencia contratada.

Estos datos son procesados mediante un flujo ETL (extracción, transformación y carga), que permite limpiarlos, normalizarlos y estructurarlos. Este paso garantiza que toda la información esté alineada temporal y geográficamente, evitando duplicidades y asegurando la coherencia del conjunto.

Una vez preparados, los datos se almacenan en una base de datos relacional organizada bajo un modelo en estrella. Esta estructura está compuesta por **tablas de hechos** (que contienen las mediciones numéricas: precios, consumos y predicciones) y **tablas de dimensiones** (que contextualizan esos datos: provincia, fecha, tipo de vivienda, etc.). Este modelo permite realizar consultas ágiles y segmentaciones precisas, además de facilitar futuras ampliaciones del sistema.

Sobre esta base de datos se construyen dos modelos predictivos principales:

- Uno orientado a **estimar el consumo energético** en función de la provincia y el tipo de vivienda, integrando tanto variables técnicas como factores climáticos.
- Otro centrado en **predecir el precio de la electricidad**, utilizando redes neuronales tipo **LSTM (Long Short-Term Memory)**, especialmente eficaces en el análisis de series temporales complejas.

Ambos modelos han sido entrenados con datos reales y validados mediante métricas, lo que garantiza una **precisión fiable** para su uso práctico.

## Modelos de Aprendizaje Automático

En el núcleo de TerraWatt se encuentran dos modelos de predicción desarrollados mediante técnicas de aprendizaje automático. Ambos modelos han sido diseñados para anticipar comportamientos clave en el ámbito energético y ofrecer a los usuarios información útil y personalizada, sin necesidad de conocimientos técnicos.

### ¿Qué se va a predecir?



El proyecto se centra en predecir dos aspectos fundamentales para los hogares y gestores energéticos:

1. **Consumo energético mensual por hogar:** teniendo en cuenta el tipo de vivienda, el número de residentes, la potencia contratada y las condiciones climáticas de cada provincia.
2. **Precio diario de la electricidad:** estimando su evolución a corto y medio plazo, para ayudar a planificar el consumo y anticipar momentos de mayor coste.

## Modelo de ML utilizado

Para abordar cada predicción se ha seleccionado el modelo más adecuado según la naturaleza del problema y la estructura de los datos disponibles:

- **Predicción del consumo energético:**

Se han entrenado modelos por provincia, dada la variabilidad geográfica de los hábitos de consumo. Tras una fase de comparación entre distintos algoritmos, se optó por técnicas de regresión avanzada, como *Random Forest* y *XGBoost*, por su capacidad de captar relaciones complejas entre variables y ofrecer buenos resultados incluso con conjuntos de datos medianos.

- **Predicción del precio de la electricidad:**

En este caso, se empleó un modelo de tipo *LSTM* (Long Short-Term Memory), una red neuronal especializada en detectar patrones en series temporales. Esta técnica es especialmente eficaz para predecir variables que evolucionan día a día y que están influenciadas por múltiples factores, como la climatología, la demanda o los festivos.

Ambos modelos fueron entrenados utilizando un conjunto de datos enriquecido que incluye:

- Variables meteorológicas: temperaturas, horas de sol, viento, presión, etc.
- Variables estructurales: tipo de vivienda, potencia contratada, número de habitantes.
- Factores contextuales: día del año, si es festivo o laboral, ubicación geográfica.
- Datos históricos de precios eléctricos y consumo por provincia.

## Métricas obtenidas por el modelo

Durante el proceso de validación, se evaluó el rendimiento de los modelos utilizando métricas estándar que permiten valorar su precisión y utilidad:

### Para el modelo de consumo energético:

- MAE (Error Absoluto Medio): en torno a **0,9 kWh/m<sup>2</sup>**, lo que representa un buen nivel de ajuste para este tipo de datos heterogéneos.
- R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación): superior a **0,85** en la mayoría de provincias, lo que indica que el modelo explica gran parte de la variabilidad del consumo.

### Para el modelo de precio eléctrico (LSTM):

- MAE: aproximadamente **7,4 €/MWh**, una desviación razonable teniendo en cuenta la alta volatilidad del mercado.
- RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio): **10,2 €/MWh**, lo que refleja un buen comportamiento ante picos de precio.

- Accuracy categórica: superior al **85%** al clasificar días como de precio "alto", "medio" o "bajo".

Estas métricas confirman que los modelos son suficientemente precisos para su uso práctico, tanto a nivel de usuario individual como para entidades que necesiten tomar decisiones basadas en proyecciones energéticas.

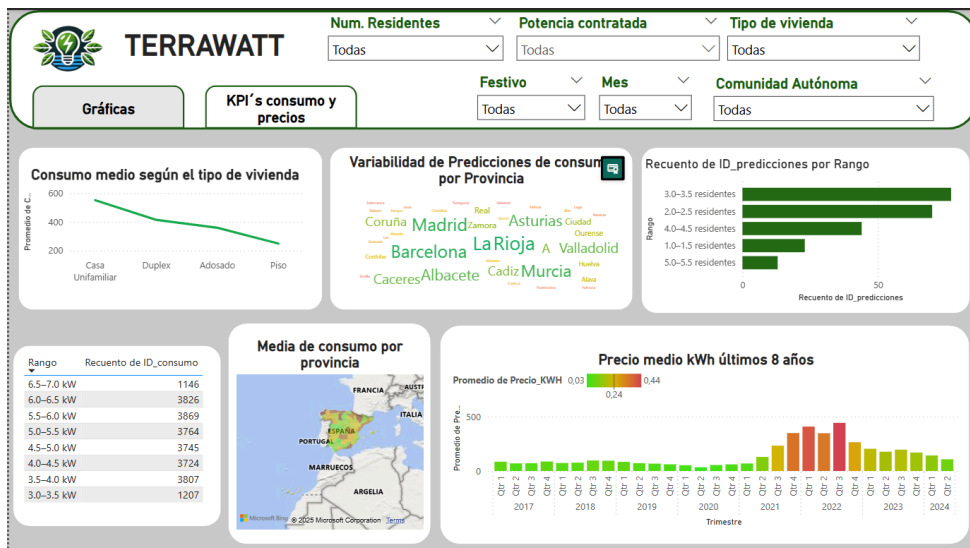
## Visualización de Datos

La capacidad de transformar datos complejos en información útil y comprensible es uno de los pilares de TerraWatt. Para ello, se han desarrollado dos herramientas principales de visualización que cumplen funciones complementarias: un **cuadro de mando analítico** para usuarios técnicos o interesados en el detalle, y una **página web interactiva y accesible** orientada al público general. Ambas plataformas permiten acceder a predicciones y análisis energéticos desde distintos niveles de profundidad, facilitando la toma de decisiones tanto personales como estratégicas.

### Cuadro de mando

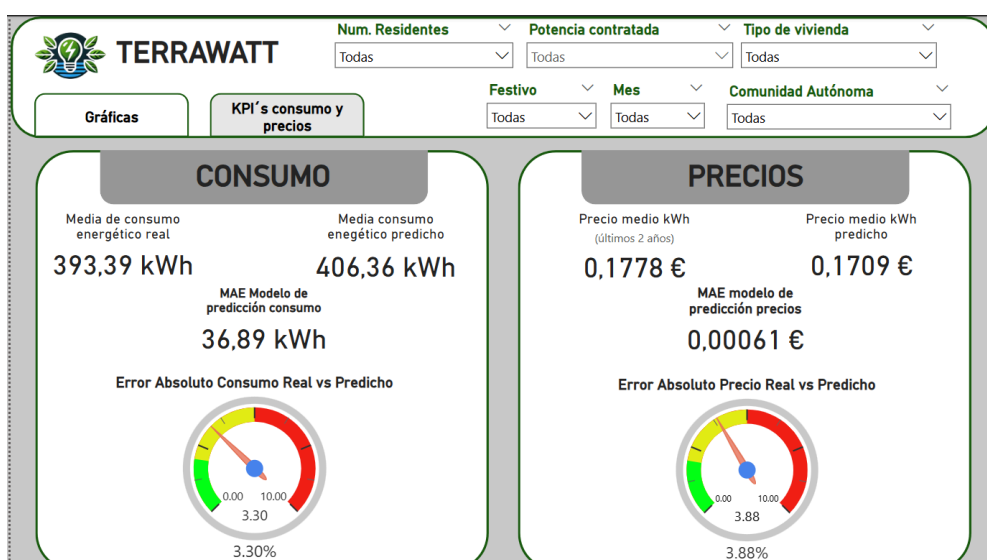
El **cuadro de mando**, implementado en Power BI, permite explorar visualmente el comportamiento del consumo energético y los precios de la electricidad en función de diversas variables. Está estructurado en dos pestañas diferenciadas. La primera, centrada en gráficos exploratorios, permite visualizar patrones históricos y regionales a través de distintos elementos visuales, como:

El cuadro de mando de TerraWatt muestra indicadores clave como el consumo medio según tipo de vivienda, la distribución por potencia contratada y número de residentes, así como un mapa del consumo por provincia. También incluye la evolución histórica del precio del kWh y una nube de predicciones por región, lo que permite identificar patrones, segmentar perfiles de usuario y validar el impacto del modelo.



La segunda pestaña, enfocada en indicadores clave de rendimiento (KPIs), facilita la evaluación del desempeño de los modelos de predicción. Entre los principales indicadores se encuentran:

El cuadro de mando de TerraWatt muestra indicadores clave como el consumo medio según tipo de vivienda, la distribución por potencia contratada y número de residentes, así como un mapa del consumo por provincia. También incluye la evolución histórica del precio del kWh y una nube de predicciones por región, lo que permite identificar patrones, segmentar perfiles de usuario y validar el impacto del modelo.



Gracias a sus filtros interactivos, este panel permite segmentar los datos por comunidad autónoma, tipo de vivienda, número de residentes, potencia contratada o periodo del año, lo que aporta un nivel alto de personalización y análisis comparativo.

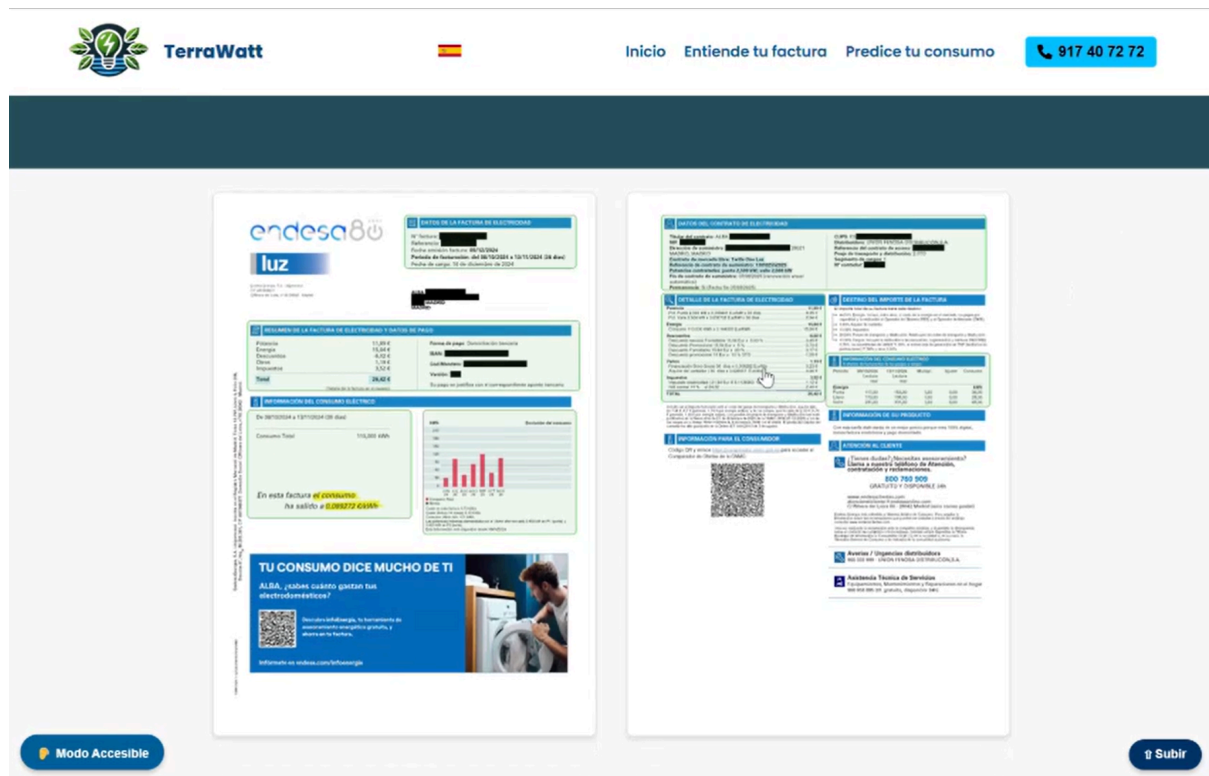
## Web de TerraWatt

La **web de TerraWatt**, por su parte, está orientada al uso cotidiano y no requiere conocimientos técnicos. Su diseño, sencillo e intuitivo, permite al usuario introducir algunos datos básicos —como su provincia, tipo de vivienda, número de habitantes, potencia contratada y mes de consumo— para recibir una predicción personalizada del consumo y del coste eléctrico asociado. Este resultado se muestra de forma clara en pantalla y, además, puede descargarse en formato **.txt**, lo que facilita su conservación o envío en caso de necesitar soporte posterior.

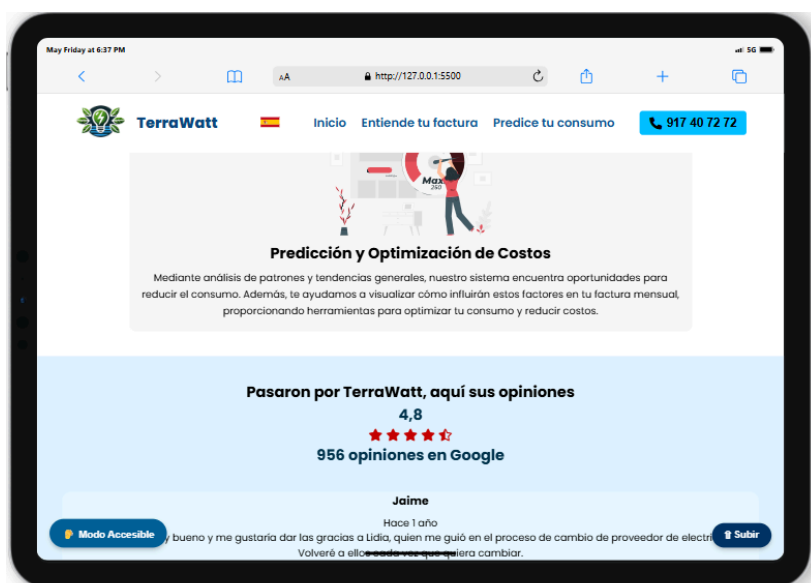


La web también incluye una sección educativa titulada "*Entiende tu factura*", que desglosa cada uno de los elementos que componen una factura eléctrica tradicional. Esta funcionalidad tiene un enfoque divulgativo y busca reducir la brecha de conocimiento energético que existe en buena parte de la población. A

nivel técnico, la plataforma cumple con los principales estándares de accesibilidad (WCAG 2.1) e incorpora funciones como navegación por teclado, contraste elevado, lectura automática del contenido visible y traducción al inglés y al árabe. Esto permite ampliar significativamente su alcance y facilitar el acceso a colectivos con diferentes capacidades o idiomas.



El diseño responsive de la web garantiza que la experiencia sea fluida tanto desde ordenadores como desde dispositivos móviles o tabletas. Esto es especialmente relevante considerando que un gran porcentaje de los usuarios accede a este tipo de herramientas desde su teléfono.



En conjunto, tanto el cuadro de mando como la web cumplen un rol esencial dentro del ecosistema de TerraWatt: acercar la inteligencia de los modelos al usuario, ya sea para una consulta puntual sobre su hogar o para un análisis profundo del comportamiento energético nacional. Esta doble capa de visualización convierte al sistema en una solución realmente operativa y centrada en el usuario.

## Conclusiones y Trabajo Futuro

El desarrollo de TerraWatt ha demostrado que existe una necesidad real en la sociedad de herramientas que faciliten la comprensión y gestión del consumo eléctrico. A lo largo del proyecto, se ha validado que muchas personas no solo desconocen los factores que influyen en su factura, sino que también carecen de recursos accesibles para anticiparse a subidas de precios o ajustar su consumo de forma informada. TerraWatt no solo cubre ese vacío, sino que lo hace desde una perspectiva práctica y adaptada al usuario final.

Entre los principales aprendizajes destaca la importancia de diseñar soluciones que equilibren rigor técnico y simplicidad de uso. El desarrollo de modelos predictivos precisos no tendría impacto si no fueran acompañados de una presentación clara, visual y comprensible. Además, el contacto directo con usuarios a través de entrevistas y simulaciones ha permitido entender con mayor profundidad sus preocupaciones, barreras y prioridades. Uno de los aprendizajes más valiosos ha sido identificar que muchas personas estarían dispuestas a usar este tipo de herramientas si reciben explicaciones sencillas, recomendaciones personalizadas y garantías de privacidad.

Desde el punto de vista técnico, se ha confirmado la necesidad de segmentar los modelos por provincias y características del hogar, ya que el consumo eléctrico no responde a patrones homogéneos a nivel nacional. Asimismo, la integración de variables como los días festivos, las condiciones meteorológicas y el tipo de vivienda ha demostrado mejorar sustancialmente la precisión de las predicciones.

Mirando al futuro, TerraWatt tiene margen de desarrollo tanto a nivel tecnológico como de negocio. Algunas de las principales líneas de evolución propuestas son:

- **Ampliación del modelo predictivo:** incorporar variables socioeconómicas o tarifarias, como nivel de ingresos, tipo de contrato energético o consumo por electrodoméstico, para generar recomendaciones aún más personalizadas.
- **Extensión geográfica:** incluir territorios actualmente no cubiertos (como Ceuta, Melilla o ciertas zonas insulares) mediante el uso de fuentes alternativas o modelos de estimación.
- **Integración con dispositivos del hogar:** habilitar la conexión con medidores inteligentes, asistentes virtuales o sistemas domóticos para ofrecer recomendaciones en tiempo real.
- **Educación energética:** desarrollar contenidos visuales, vídeos interactivos o simuladores lúdicos que ayuden a formar a la ciudadanía sobre cómo ahorrar energía sin necesidad de cambiar de proveedor.

Estas líneas permitirían no solo mejorar la calidad técnica del sistema, sino también aumentar su impacto social y ampliar sus oportunidades de monetización y escalabilidad.

En definitiva, TerraWatt ha dado un primer paso firme hacia una solución tecnológica útil, socialmente relevante y con potencial real de crecimiento. El reto ahora es evolucionar sobre esta base, consolidar su adopción y seguir construyendo una herramienta que ayude a más hogares a consumir de forma inteligente, sostenible y asequible.