

# HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON ENERGÍAS RENOVABLES

## ARTÍCULO

**Fernando Echevarría Camarero**  
**Pablo Carrasco Ortega**  
**Antonio Carreiro Alonso**  
**Pablo Gómez Area**

Divisiones de Energía y TIC del  
Instituto Tecnológico de Galicia

**Las herramientas son parte del proyecto TTUES, enmarcado dentro del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP).**

### Introducción

El Acuerdo de París supuso un hito en la lucha global contra el cambio climático, donde los Gobiernos acordaron reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero hasta alcanzar la neutralidad en la segunda mitad de siglo.

Fruto de este acuerdo, la Comisión Europea ha desarrollado estrategias para reducir sus emisiones en un 55% en 2030 y ser climáticamente neutra en 2050. Por su parte, España ha establecido el objetivo intermedio de reducir sus emisiones en un 23% para el año 2030 y alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. En este contexto de descarbonización, los esfuerzos a realizar en ámbito de la movilidad sostenible y eficiente cobran especial relevancia, teniendo en cuenta que el sector del transporte, y el transporte por carretera en particular, es el principal responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero en España, alcanzando en el año 2019 el 29% del total de emisiones (26,8% el transporte por carretera). El sector del transporte y la movilidad va

experimentar profundos cambios en los próximos años en su proceso de transformación hacia un modelo más sostenible y eficiente. En el transporte ligero por carretera se espera un cambio modal de los transportes individuales hacia los colectivos, u otros individuales más respetuosos (bicicleta y vehículo eléctrico) así como un aumento de la movilidad compartida, tanto en medio urbano como interurbano. La electrificación será un elemento clave. El auge y desarrollo de la movilidad eléctrica a nivel mundial representa una gran oportunidad para el desarrollo de estaciones de recarga limpia, alimentadas con fuentes de energía que maximicen el positivo impacto ambiental de este cambio de paradigma de movilidad. Las estaciones de recarga de estas características se enfrentan a muchos desafíos para ser viables en la práctica, como lo es el dimensionado adecuado para garantizar el aseguramiento permanente del suministro. Además, es necesaria tecnología capaz de gestionar de forma inteligente la energía generada mediante el desarrollo e implantación de soluciones software que faciliten la gestión y uso de estas estaciones.

### Herramienta de dimensionado de sistemas de recarga renovables y autosuficientes de vehículos eléctricos

La herramienta está concebida con el objetivo de que personal técnico pueda llevar a cabo, de una manera sencilla, la optimización del dimensionamiento de sistemas autosuficientes de recarga de vehículos eléctricos que funcionan

exclusivamente con energía renovable, para obtener una máxima eficiencia y fiabilidad a un mínimo coste. A partir de la información del emplazamiento y el consumo estimado de energía en los puntos de recarga, la herramienta es capaz de calcular la potencia fotovoltaica y el sistema de almacenamiento necesario para satisfacer la demanda con la mínima inversión posible y garantizando la cobertura de la demanda requerida.

La herramienta realiza un cálculo hora a hora de la producción fotovoltaica esperada a partir de datos históricos de radiación, además calcula el estado de carga de la batería en cada momento, teniendo en cuenta dichos datos de producción y el perfil de carga demandada. El análisis se realiza para un periodo de tiempo de 10 años y tiene en consideración las pérdidas de rendimiento de los paneles y las pérdidas de eficiencia y de capacidad de las baterías debido a su envejecimiento.

Tras la realización de la simulación se obtienen los siguientes resultados:

- Tamaño óptimo de la instalación fotovoltaica
- Tamaño óptimo de las baterías
- Producción anual
- Autoconsumo utilizado
- Gráficos de energía producida, acumulada y entregada para periodos horarios, diarios, mensuales y anuales
- Inversión necesaria
- Parámetros medioambientales.

La herramienta se ha dividido en 6 módulos con el fin de compartimentar los diferentes procesos que realiza, los módulos de los

que consta la herramienta se describen a continuación.

### Inputs de usuario

Este módulo tiene como objetivo solicitar la información con la que se llevarán a cabo los cálculos para la optimización del sistema fotovoltaico y del sistema almacenamiento.

La información que será solicitada al usuario será:

Ubicación, inclinación y orientación: De estos parámetros dependerá la irradiación recibida en el sistema fotovoltaico y por lo tanto la producción de energía.

La potencia demandada: Tanto el sistema de almacenamiento como el sistema fotovoltaico satisfarán la demanda de potencia solicitada y por lo tanto es un parámetro necesario para el cálculo.

El perfil de carga: Es necesario conocer el perfil de consumo, ya que el solapamiento de la producción fotovoltaica y la demanda de energía afecta directamente al tamaño de las baterías necesarias

### Inputs desarrollo

En este módulo recopila todas aquellas variables externas que son necesarias para el cálculo del dimensionamiento óptimo, pero que no son cubiertas por el usuario, si no que forman parte de la base de datos propia de la herramienta.

A continuación, se muestran todas las variables de las que se compone el módulo Inputs desarrollo:

- Vida útil paneles (años)
- Pérdida de rendimiento medio anual de los paneles
- Vida útil baterías (años)
- Profundidad de descarga

- Estado inicial baterías
- Eficiencia carga-descarga
- Pérdida de rendimiento medio anual
- Pérdida de capacidad media anual
- IPC
- IVA
- Matriz precios instalaciones fotovoltaicas vs potencia pico (factor de escala)
- Matriz precios sistemas de almacenamiento vs capacidad de almacenamiento (factor de escala)

### Producción y consumo

El módulo producción y consumo es un módulo intermedio al módulo de simulación, en él se refleja, hora por hora, la producción de energía de la instalación fotovoltaica y el consumo de la instalación de recarga de vehículos.

Los datos de consumo son obtenidos a partir de los datos de perfil de carga y potencia demandada insertados por el usuario.

Los datos de producción fotovoltaica son el resultado de la multiplicación de la potencia pico por la producción horaria de una instalación de 1kWp en la ubicación seleccionada y con la inclinación y orientación indicadas.

Para el caso de producción fotovoltaica se tienen en cuenta las pérdidas del sistema asociadas a diversas causas como pérdidas en el cableado, en los dispositivos de conversión y control, suciedad sobre los módulos, así como al envejecimiento de los propios paneles.

Simulación Flujos energéticos

El módulo de simulación calcula de manera horaria la producción fotovoltaica, la demanda y el estado sistema de

almacenamiento con objetivo de calcular los flujos energéticos. El simulador hace una simulación del comportamiento del sistema hora a hora y durante 10 años, teniendo en cuenta las pérdidas de rendimiento de paneles y baterías debido al envejecimiento, así como la pérdida de capacidad máxima del almacenamiento.

### Inversión

En el módulo de inversión se calcula a través de una interpolación lineal, el coste de las baterías y de la instalación fotovoltaica simulada.

Los datos a partir de los cuales se realiza la interpolación han sido obtenidos a través del análisis de coste de numerosas instalaciones solares fotovoltaicas monocristalinas y sistemas de almacenamiento de baterías de litio.

### Resultados

En el módulo de los resultados se obtienen la potencia óptima de paneles y la capacidad óptima de las baterías para la potencia demandada, perfil de carga y ubicación señalados por el usuario.

A continuación, un esquema indica los flujos anuales de energía e información sobre la inversión necesaria para costear el sistema y la demanda de energía satisfecha.

En tercer lugar, se muestra una tabla en la que se muestra la evolución de los flujos energéticos a lo largo de 10 años, en concreto se proporciona información sobre:

- Producción anual (kWh)
- Autoconsumo directo (kWh)
- Autoconsumo almacenado (kWh)
- Pérdidas almacenamiento (kWh)

## PROYECTO TTUES

El proyecto TTUES (Transporte Turístico Urbano Eléctrico Sostenible) cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP) de Interreg 2014-2020, tiene como objetivo general crear vehículos de propulsión eléctrica a bajo coste para facilitar la movilidad sostenible y limpia en las zonas turísticas de Huelva y el Algarve portugués. En el proyecto participan la Universidad de Huelva, el Instituto Tecnológico de Galicia, Universidad de Sevilla, INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), la Agencia Andaluza de la Energía, Scoobic, la Universidade do Algarve, la empresa Agilia Center y la Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve.

- Autoconsumo total utilizado (kWh)
- Demanda satisfecha (% de kWh)
- Demanda satisfecha (% horas)
- Excedente energía (kWh)
- Uso de Gasoil evitado (l)
- CO2 evitado (kg)

Como se explicaba anteriormente el

simulador considera las pérdidas de rendimiento de paneles y baterías debido al envejecimiento, así como la pérdida de capacidad máxima del almacenamiento.

### Casos de uso

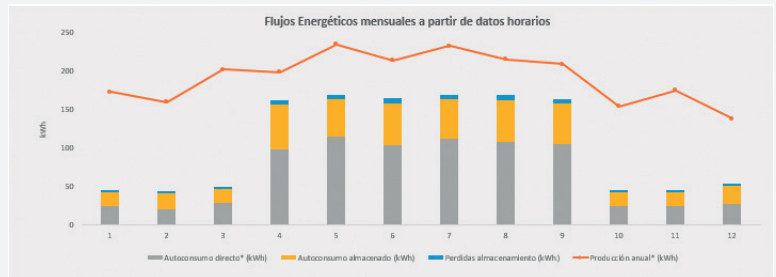
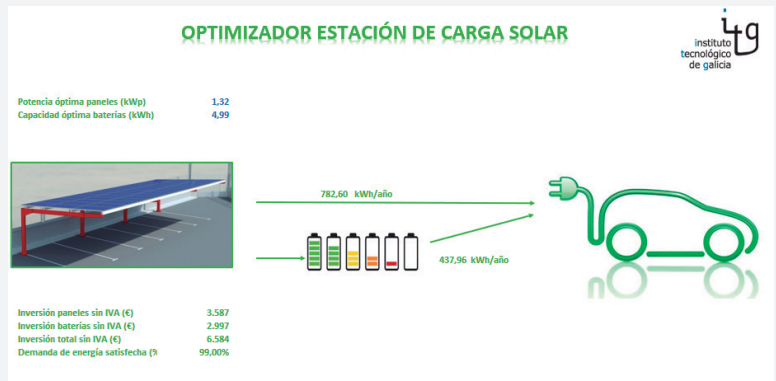
Se presenta la simulación de una instalación emplazada en Huelva, con una potencia demandada de 1,5 kW y con tres tipos de escenarios: uso reducido, moderado e intensivo.

## CASO 1: USO REDUCIDO

En este escenario se considera que, de lunes a viernes, se realiza una carga diaria entre los meses de abril y septiembre (incluido) y durante los fines de semana se realiza una carga diaria tanto el sábado como el domingo durante todo el año. El dimensionamiento óptimo de la instalación fotovoltaica con almacenamiento para satisfacer la demanda de este escenario es el siguiente:

- **Potencia** pico paneles: 1,32 kWp
- **Capacidad** batería: 4,99 kWh
- **Inversión** necesaria (Sin IVA): 6.584€
- **Demanda** de energía satisfecha: 99%

Las siguientes figuras muestran los resultados de la simulación.



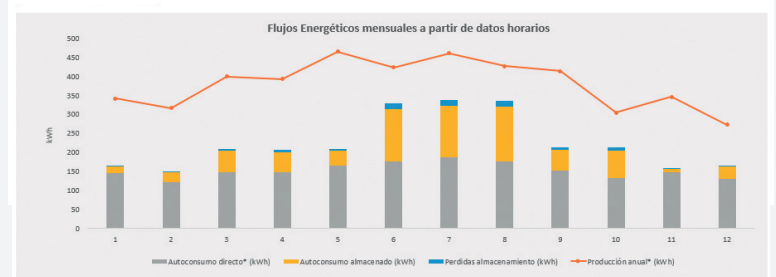
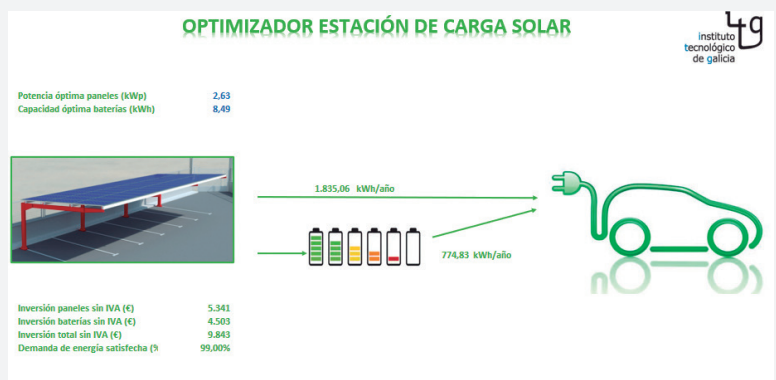
## CASO 2: USO MEDIO

En este escenario se considera que se realiza una carga diaria durante todo el año y además una carga extra durante los días de semana (lunes a viernes) de junio a agosto (incluido) y durante los fines de semana de marzo a octubre (incluido).

El dimensionamiento óptimo de la instalación fotovoltaica con almacenamiento para satisfacer la demanda de este escenario es el siguiente:

- **Potencia** pico paneles: 2,63kWp
- **Capacidad** batería: 8,49 kWh
- **Inversión** necesaria (Sin IVA): 9.843 €
- **Demanda** de energía satisfecha: 99 %

Las siguientes figuras muestran los resultados de la simulación.

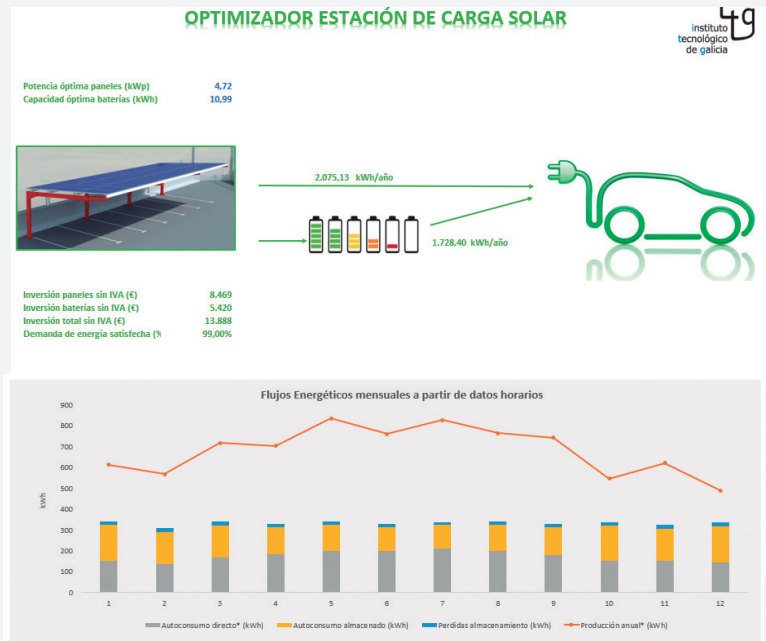


## CASO 3: USO INTENSIVO

En este escenario se considera que se realizan dos cargas diarias durante todo el año. El dimensionamiento óptimo de la instalación fotovoltaica con almacenamiento para satisfacer la demanda de este escenario es el siguiente:

- **Potencia** pico paneles: 4,72kWp
- **Capacidad** batería: 10,99 kWh
- **Inversión** necesaria (Sin IVA): 13.888 €
- **Demanda** de energía satisfecha: 99%

Las siguientes figuras muestran los resultados de la simulación.



### Software de servicios

El ITG ha diseñado y desarrollado una plataforma software, basada en estándares internacionales, para la captación, almacenamiento y monitorización de las mediciones realizadas por la red de sensores desplegada en el entorno de la infraestructura de recarga y vehículo eléctrico. Además de almacenar y permitir la visualización de información, el sistema permite gestionar las reservas de uso de los puntos de recarga eléctrica. Desde el punto de vista del gestor, la plataforma permite monitorizar en tiempo real la información relativa a los puntos de recarga, vehículos eléctricos y de los sistemas de generación y almacenamiento, consultar información histórica, gestionar usuarios y programar alertas. Desde el punto de vista del usuario, la plataforma permite visualizar en un mapa los puntos de recarga, realizar reservas de los mismos, visualizar los datos de consumo durante la recarga y consultar información histórica del uso de los mismos.

### Arquitectura del sistema

La plataforma consta de una arquitectura distribuida Cliente-Servidor en la que se dispone:

CLIENTE (Frontend)

El lado cliente está formado por una aplicación web de tipo SPA (Single Page Application), que será el punto de acceso principal que emplearán directamente los usuarios. Este subsistema está desarrolla-

do utilizando el patrón de arquitectura Modelo-Vista-Presentador (MVP), dividido en módulos funcionales, donde cada módulo consta de los siguientes elementos: Modelo: interfaces de interconexión entre distintos componentes, así como los encargados de hacer las llamadas hacia el backend.

Vistas: presentación gráfica de los elementos y los datos, centrado principalmente en el diseño y en la entrega de la información de manera comprensible por el usuario final.

Presentador: elemento intercomunicador entre los modelos de datos y los formatos de presentación. Albergan toda la lógica de control y recarga de la información de cara al usuario final.

SERVIDOR (Backend)

Del lado servidor, se encuentra una aplicación Java que implementa la lógica de negocio con todas las funcionalidades del sistema para consultar, crear, modificar o eliminar los datos almacenados. También se encarga de realizar todas las operaciones necesarias para el funcionamiento del sistema, así como la interconexión, control y monitorización de las estaciones de carga. Internamente cada módulo funcional se divide en los siguientes paquetes:

Modelo: su misión reside en definir las entidades con las que opera la aplicación. DAOs: Llevan a cabo la comunicación entre el servidor y la base de datos.

DTOs: encapsulan la información a enviar

o recibir desde el servidor, pudiendo ocultar los campos no necesarios. Servicios: se usan para implementar la lógica de negocio de la aplicación, i.e. todas las operaciones que el usuario puede acometer desde la aplicación Controladores: responden a las peticiones del cliente exponiendo las operaciones de la lógica de negocio correspondientes.

### TECNOLOGÍAS DE PROGRAMACIÓN

En relación a las tecnologías de programación empleadas cabe mencionar:

PostgreSQL 13: un gestor de bases de datos relacional y orientado a objetos.

InfluxDB 1.8: base de datos de series temporales optimizada para el almacenamiento rápido y de alta disponibilidad, que facilita la recuperación de datos enfocada al IoT (Internet of Things).

OpenLayers y Leaflets: bibliotecas JavaScript para la visualización de datos de los mapas en los navegadores web. Highcharts/Highstocks: biblioteca de gráficos escritos en JavaScript, que ofrece una manera fácil de añadir gráficos interactivos a un sitio o aplicación web. AngularJS y Angular: framework web para la manipulación del DOM (Document Object Model) y en control general y presentación de la información en modo SPA de manera dinámica y sencilla.

Apache Quartz: es una biblioteca de programación de tareas que se puede integrar en una amplia variedad de aplicaciones Java.

Hibernate ORM: es una herramienta de mapeo objeto-relacional para Java. Proporciona un framework para asignar un modelo de dominio orientado a objetos a una base de datos relacional. Spring Framework y Quarkus: son unos frameworks de desarrollo para aplicaciones Java.

Jackson: librería para el procesamiento de mensajes JSON de alto rendimiento para Java.

KeyCloak: aplicación tipo Single Sign On que permite la autenticación y autorización centralizada de múltiples sistemas.

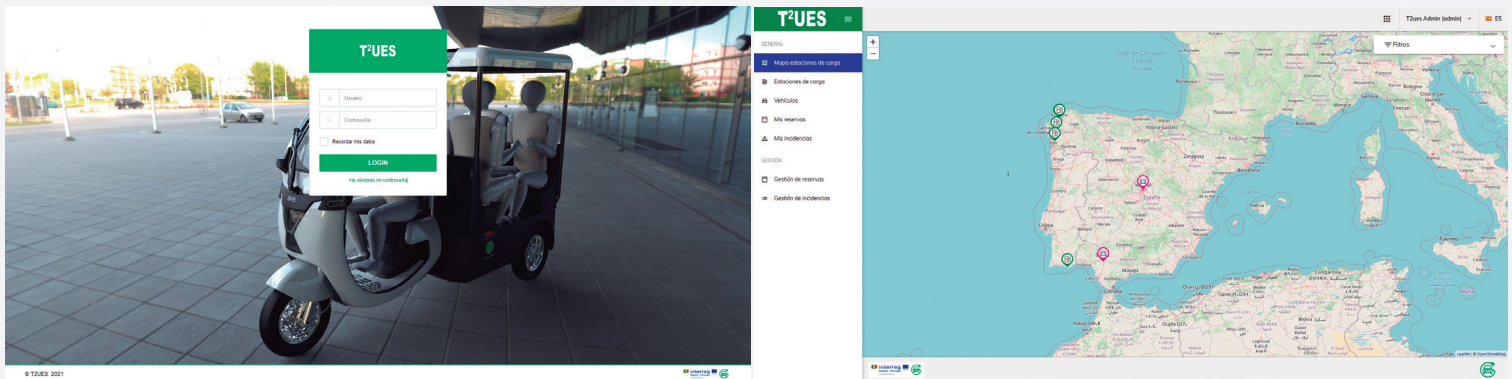
### Funcionalidades de la plataforma IoT

La plataforma IoT es accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet y está alojado en el Centro de Procesamiento de datos de ITG para garantizar la protección, confidencialidad y accesibilidad 24x7 (24 horas, 7 días a la semana) de la información.

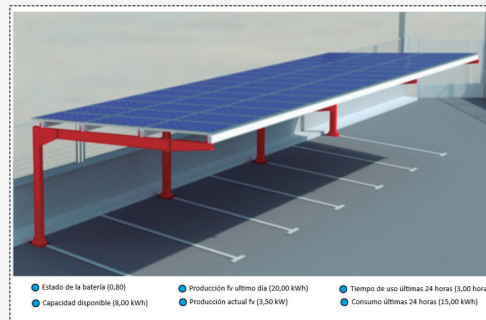
Los usuarios pueden ver en tiempo real desde la web en un mapa, los puntos de recarga existentes, su disponibilidad y su tipología, entre otra información. El sistema es escalable y permite incorporar nuevos puntos de recarga.

El mapa indica la ubicación de los puntos de recarga y si el punto de recarga está disponible, ocupado, reservado, activo o inactivo. El usuario puede acceder a la información de la carga en la propia aplicación relacionada con la potencia y energía demandada. La plataforma permite obtener una representación gráfica de la evolución temporal de las diferentes propiedades registradas en la plataforma.

A su vez, permite mostrar información de relevancia para los gestores sobre las



Estación 12



principales variables de comportamiento de la instalación en su conjunto como, por ejemplo:

- Estado de la batería en proporción de capacidad y energía disponible
- Energía producida por el sistema fotovoltaico
- Energía consumida por los vehículos y tiempo de uso de la infraestructura de recarga

El software de servicios permite gestionar la reserva del punto de recarga en función del tipo de vehículo, tipo de conector y

franja horaria de reserva deseada. A su vez, el usuario puede dar incidencias relacionadas con el funcionamiento anómalo de la infraestructura u otras cuestiones relativas a su experiencia de usuario.

En relación a la gestión de usuarios, el sistema permite configurar diferentes permisos de acceso distinguiendo por una parte el proceso de reservas de puntos de recarga y, por otro, la monitorización de los diferentes sistemas energéticos. Finalmente, el sistema permite la configuración de alertas basadas en

condiciones sobre los parámetros contemplados por cada variable medida diferenciando los siguientes tipos de alertas:

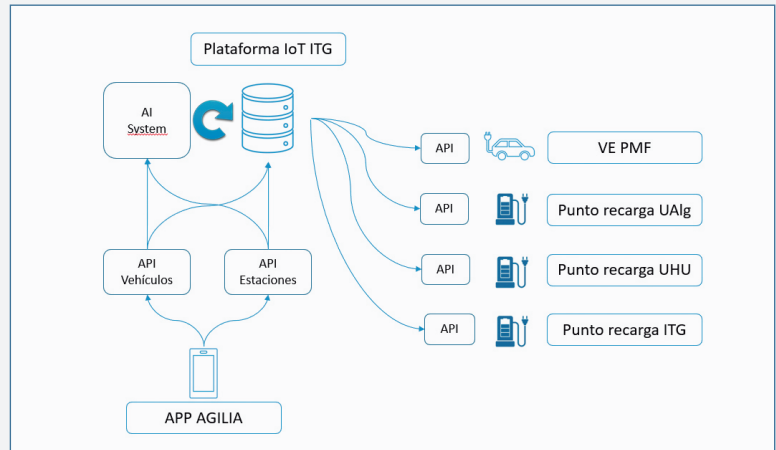
Alertas basadas en umbral: Se establecen las condiciones de salto de una alerta en base a la superación de umbral de una variable o varias variables.

Alertas basadas en ausencia de datos: Permiten el establecimiento de alertas cuando la infraestructura de recarga deje de enviar datos a la plataforma.

**Demostración en el proyecto TTUES**

En el marco del proyecto se ha demostrado las funcionalidades de la plataforma en un entorno simulado donde se integran los datos de los equipos desarrollados por el resto de socios durante el proyecto. El diseño del entorno simulado se muestra en la siguiente figura:

Para la monitorización en tiempo real de la información, se ha procedido a la integración con los principales protocolos de comunicación empleados por los vehículos eléctricos y de las estaciones de recarga. Se muestran a continuación los diferentes sistemas integrados:



**Scoobic**

La integración se ha realizado mediante el API de Scoobic que permite peticiones REST y el formato JSON. Las peticiones sobre las que se ha trabajado han sido las relativas a la identificación, velocidad y posición del vehículo por una parte y los parámetros específicos de los vehículos eléctricos como es la autonomía de la batería eléctrica.

**Universidad de Algarve y Universidad de Huelva**

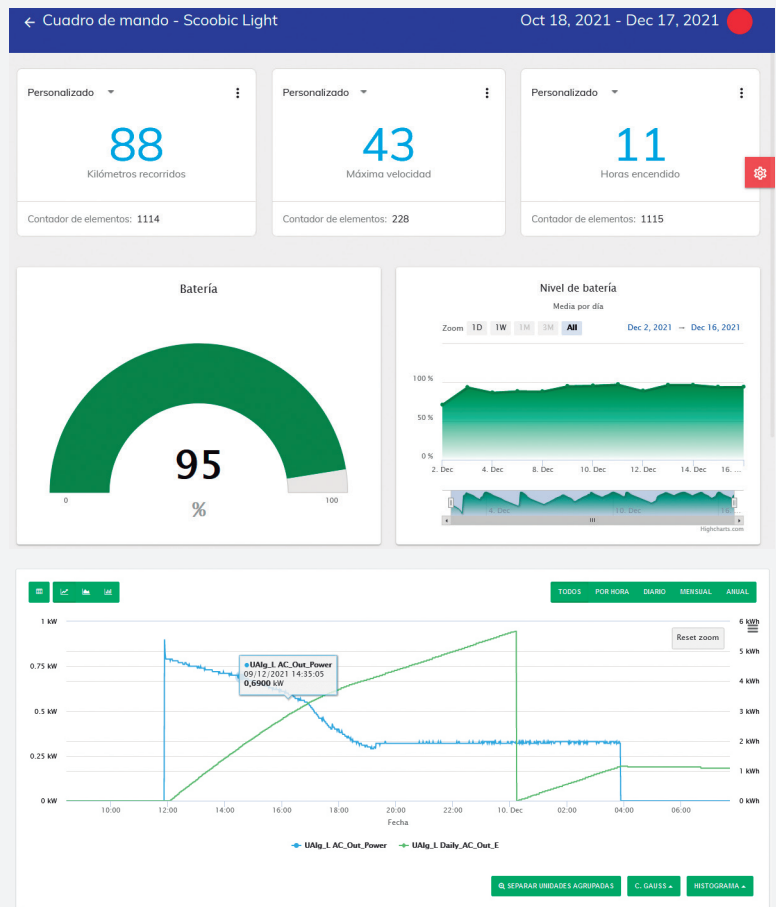
Se ha trabajado en la integración de del sistema de control de los puntos de recarga desarrollados en la API de la plataforma IoT. De este modo, el software de gestión de los puntos de recarga envía periódicamente datos a la plataforma IoT.

**Punto de recarga ITG**

Se ha empleado un equipo comercial de recarga de vehículos eléctricos con capacidad de comunicación con sistemas software externos a través del protocolo OCPP.

**Software servicios Agilia**

Se ha trabajado en la integración de la APP de AGILIA en la API de la plataforma IoT. De este modo, la APP puede consultar el estado de los vehículos y puntos de recarga, dar de alta usuarios y gestionar reservas, entre otras funcionalidades.



**Conclusiones**

En el contexto actual de transformación del sector transporte hacia un modelo más sostenible y eficiente, el auge de la movilidad eléctrica representa una gran oportunidad para el desarrollo de estaciones de recarga limpia, alimentadas con fuentes de energía renovables. El simulador diseñado será una herramienta de gran utilidad para que personal técnico pueda llevar a cabo, de una manera sencilla, la optimización del dimensionamiento de

sistemas renovables de carga vehículos, para obtener una máxima eficiencia y fiabilidad a un mínimo coste. El software de servicios permitirá a los gestores de las infraestructuras de recarga tener a su disposición información en tiempo real de los sistemas energéticos y evaluar el comportamiento de los mismos. A su vez, permitirá al usuario final poder gestionar sus recargas de electricidad.