

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

ECO-IoT

Sistema inteligente y predictivo, para la gestión de recogida de residuos y la promoción de la economía circular en hostelería y restauración a través del uso final de IoT (Internet de las Cosas) y Aprendizaje Máquina (ML)



Autor Principal: Miguel Ángel Beteta Medina (Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia, CETEM)

Otros autores: Ángel Martínez Leon (Acteco); Antonio Álvaro Jiménez. (Eurosoterrados); Rafael Mestre Ferriz (Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia, CETEM); Juan Luis Leal Contreras (Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia, CETEM); Enrique Alba Torres (Universidad de Málaga); Rubén Saborido Infantes (Universidad Málaga); Javier Ferrer Urbano(Universidad Málaga).

ÍNDICE

1. Resumen
2. Introducción
3. Objetivos
4. Desarrollo
5. Resultados
6. Consorcio
7. Bibliografía

RESUMEN

El proyecto ECO-IoT presenta un contenedor con un mecanismo de prensado, que incrementa la capacidad de almacenamiento de residuos plásticos. También cuenta con un sistema anti-atrapamiento que bloquea el compactado en caso de detectar algún objeto en la boca del contenedor, evitando así accidentes. El sistema electrónico es el encargado de controlar el compactado y la seguridad, gestionar el sistema de alimentación, que consta de una batería cargada de forma inalámbrica por medio de inducción y también de recoger los datos de los sensores instalados como la temperatura, humedad, nivel de batería, nivel de llenado y localización vía GPS. Estos datos son enviados inalámbricamente a la nube donde son almacenados. El software de inteligencia artificial y de gestión recoge estos datos enviados desde el contenedor los procesa y a través de técnicas de Machine Learning puede predecir el llenado de los contenedores y generar así la ruta óptima de recogida a seguir por los vehículos de recogida. Esto ayuda a minimizar la distancia recorrida, lo que lleva a un ahorro de combustible, tiempo y reducción del número de vehículos implicados en la recogida. Todos estos factores juntos, unidos al propio reciclaje y valorización de los residuos recogidos nos llevan a reducir el impacto ambiental en temas de contaminación, reducción y optimización de energía y costes.

El sistema se ha validado con pruebas piloto del sistema completo habiendo instalado contenedores en diferentes hoteles donde se han utilizado regularmente durante un periodo de 10 meses y se han realizado las recogidas necesarias. En estas pruebas se ha comprobado el correcto funcionamiento de todas las partes del sistema y se han llevado a cabo las mejoras detectadas tanto por los usuarios finales como a nivel técnico por los socios del proyecto.

Los residuos generados por el sector de la hostelería y restauración, así como otros sectores empresariales, se pueden valorizar de una forma muy eficiente con soluciones como ECO-IoT. Además, con un marco legal cada vez más estricto, es probable que estas empresas tengan que gestionar sus propios residuos en un futuro cercano, siendo un nicho de mercado con gran potencial para ECO-IoT.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tendencia hacia la infraestructura orientada al Internet de las Cosas (IoT) ha crecido considerablemente debido a la necesidad de utilizar dispositivos que puedan adaptarse a los requisitos de los seres humanos. Pueden contribuir con servicios a mejorar los existentes o generar capacidades para resolver problemas antes no considerados a través de la tecnología.

Las propuestas en IoT son diversas y pretenderán formar parte de la sociedad en un futuro próximo, ofreciendo mejores servicios y menores costes. Ejemplos de este tipo de sistemas son la iluminación inteligente, que forma parte de las Smart cities [1] o los sistemas de riego monitorizados a través de redes inalámbricas [2]. Este tipo de soluciones están surgiendo actualmente en proyectos orientados a las ciudades inteligentes [3] y a los servicios de ciudades inteligentes [4] vinculados al IoT y pueden aplicarse, por ejemplo, en zonas rurales debido a su bajo coste de desarrollo, así como a la baja cantidad de elementos necesarios para su construcción y mantenimiento. Además, estas mismas tecnologías se pueden utilizar para diferentes propósitos.

En otro aspecto, el auge de las tecnologías IoT aplicadas al medio ambiente es un tema de gran importancia en todo el mundo. Tal es el caso de las soluciones orientadas a la gestión eficiente de residuos y la inclusión de herramientas IoT para mejorar la sostenibilidad del medio ambiente en términos de costes y eficiencia.

Actualmente existen varios sistemas desarrollados para la recogida y compactación de residuos utilizando tecnología IoT. Un prototipo de nodo inalámbrico de bajo consumo para obtener mediciones de peso, volumen de llenado y temperatura del contenedor de residuos se aplica en un estudio de caso en Salamanca, España [5]. La monitorización permite el seguimiento de los datos de llenado de cada contenedor para posteriormente ser enviados para su análisis y creación de alertas. La combinación de la tecnología IoT con los sistemas de información geográfica también aparece como una solución complementaria para mejorar el tratamiento de residuos urbanos en la ciudad de Copenhague, Dinamarca [6].

Tecnologías como los sistemas basura inteligentes (SGS) se propusieron en el distrito de Seúl (Corea del Sur) para la reducción del desperdicio de alimentos, creando una solución para el intercambio de información utilizando una red de datos inalámbrica para analizar posteriormente la información recopilada [7]. A diferencia de estas propuestas previstas, la solución presentada en el marco de ECO-IoT propone una idea orientada a la gestión de residuos para hoteles basada en tecnologías IoT y machine learning con capacidades predictivas [8], que genera una planificación y gestión optimizada de los recursos para la recogida de residuos y la mejora del impacto ecológico en todo su proceso.

Idea

El proyecto ECO-IoT ha propuesto el desarrollo de un contenedor de reciclado con un módulo de sensorización conectado a internet, a través del cual se transmitirán datos para obtener el estado y la información necesaria para una planificación y gestión optimizada de los recursos a la recogida de residuos.

El sistema está compuesto por un “contenedor-compactador”, una “electrónica de control y módulo de sensorización” y “software para la planificación y gestión optimizada de los recursos”. El proyecto ha desarrollado un sistema dotado de un contenedor inteligente capaz de almacenar diferentes tipos de residuos plásticos para su posterior reciclaje y enviar información sobre el estado en el que se encuentra, un sistema de sensorización donde para obtener datos del estado del contenedor, un sistema de comunicaciones entre la electrónica del contenedor y el software de predicción y gestión que será el encargado de almacenar, tratar y trabajar con los datos recibidos.

- El mecanismo de compactación de residuos incrementa la capacidad y cantidad de residuos a almacenar.
- El sistema electrónico y de sensorización del contenedor ayuda a conocer el estado de llenado, condiciones ambientales y controlar el funcionamiento, además es el sistema encargado de mantener la comunicación con el servidor central IoT (donde se almacenarán los datos).
- El software de gestión se encarga de optimizar los recursos necesarios para llevar a cabo la recogida de residuos, para que el coste asociado sea el más bajo posible. Este software

gestiona los datos recibidos de los sensores (servidor central IoT), realiza los cálculos de la predicción de llenado de los contenedores y generar la ruta óptima a seguir por los vehículos a la hora de la recogida.

Problema

Actualmente en el mercado no hay un sistema de reciclado de materiales plásticos específico para el sector de la hostelería y restauración. El rápido aumento de la cantidad de residuos plásticos, así como la necesidad de su reciclado y de disminuir el impacto ambiental que estos producen, ha requerido nuevos sistemas y una entrada importante de las nuevas tecnologías en el sector. Por ello la búsqueda de soluciones de contenedores inteligentes ha progresado en los últimos años. Debido a la legislación actual, el sector de la hostelería y restauración debe de gestionar los residuos producidos al igual que cualquier otra empresa, y no utilizar el sistema de recogidas municipal. El sistema ECO-IoT pretende proporcionar una solución técnica optimizada para el problema del reciclaje en dicho sector y su acomodación a la actual legislación.

OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto ECO-IoT ha sido el desarrollo de un sistema inteligente de gestión de residuos orientado al sector de la hostelería y restauración basado en IoT y aprendizaje máquina con capacidades predictivas, dentro del cual se incluirá un nuevo diseño de contenedores y una planificación y gestión optimizada de los recursos a la recogida de residuos, así como el propio impacto ecológico de todo el proceso.

OB1. Diseño y creación de contenedores de reciclaje para los residuos plásticos del sector de la hostelería.

Crear un contenedor de reciclaje inteligente para los residuos de plástico. Este contenedor cuenta con un mecanismo compactador de residuos para incrementar la capacidad y cantidad de residuos a almacenar. El sistema de alimentación del mecanismo ha sido objeto de estudio para reducir su consumo lo máximo posible, se y han buscado soluciones tanto de alimentación eléctrica como manual.

OB2. Desarrollo de un sistema electrónico IoT de bajo consumo integrado en los contenedores.

La durabilidad de la vida de los sistemas electrónicos integrados en el contenedor es un tema para tener muy en cuenta. Para ello, se debe diseñar una electrónica de bajo consumo capaz de proporcionar una larga vida.

OB3. Inclusión de sensores en el contenedor para una gestión inteligente a la hora de la recogida de residuos.

Equipar a los contenedores con sensores capaces de transmitir el nivel de llenado, condiciones ambientales y otras características de los residuos existentes en el contenedor. Los sensores transmiten los datos recogidos cada cierto tiempo, para alargar al máximo la duración de las baterías y reducir el consumo además de no saturar con datos innecesarios el sistema.

El envío de datos se realizará las mismas veces que se recoja información, enviándola al servidor en el acto.

OB4. Desarrollo del software de gestión de residuos basado en IoT.

El objetivo fundamental del software de gestión de residuos es optimizar los recursos necesarios para llevar a cabo la recogida de residuos, para que el coste asociado sea el más bajo posible. Este software debe gestionar los datos recibidos de los sensores (servidor central IoT), realizar los cálculos de la predicción de llenado de los contenedores y generar la ruta óptima a seguir por los vehículos a la hora de la recogida, dependiendo de los recursos disponibles.

Adicionalmente a este gran objetivo principal, se pretende conseguir una serie de objetivos secundarios: minimización de la distancia recorrida por los vehículos de recogida, reducción del número de vehículos necesarios para realizar el servicio, disminución del tiempo empleado en la recogida, maximización de la cantidad de residuo recogido, mejora de la calidad de servicio y obtención de gran cantidad de datos.

Todo este software se desarrolla con técnicas de inteligencia artificial y dará lugar a una herramienta muy valiosa para la ayuda a la decisión del experto que gestiona la recogida de residuos, en el sentido de la moderna iniciativa de economía circular.

OB5. Conexión de los contenedores con un servidor central IoT, para la predicción y optimización de la ruta de recogida de residuos.

La conexión de los sensores con el servidor central debe realizarse de manera segura (servidor de conexiones, shell de trabajo, DHCP) y ligera (determinación de frecuencia de envío de datos, política de gestión de fallos). Esto suele requerir un software específico a modo de middleware que funcione como una nube de datos, ayudando a la ingesta, filtrado, almacenamiento y posterior tratamiento inteligente de lo recibido.

DESARROLLO

Para conseguir los objetivos expuestos en el punto anterior. El proyecto ECO-IoT se desarrolló llevando a cabo las siguientes fases, con una duración total de 28 meses.

1. Análisis del estado de la técnica hasta la fecha de inicio del proyecto, así como el estudio de las necesidades del sector de la hostelería y restauración en temas de reciclaje y su posterior recogida para la elaboración de la especificaciones del sistema.
2. Diseño y fabricación del contenedor de residuos y la implantación de un sistema de compactado.
3. Desarrollo del hardware del sistema electrónico y de comunicación, firmware del procesador y sensores para la toma de datos.
4. Desarrollo de la interfaz de usuario de la aplicación de gestión, y del software de gestión y predicción que trata los datos recibidos por los sensores.
5. Integración de los componentes desarrollados, validación del sistema en su conjunto, testado para la corrección de errores y asegurar una correcta funcionalidad y cohesión de todas las partes.

Necesidades y requisitos del sistema

Durante los tres primeros meses del proyecto, se realizaron una serie de encuestas en lo relacionado a la gestión de residuos y reciclaje de basura en los sectores de la hostelería y la restauración, con tal de conocer los principales problemas del sector.

Las principales observaciones que se extrajo de las encuestas realizadas son las siguientes:

- Los hosteleros dependen de los ayuntamientos directamente a los que les tienen que pagar la gestión de los residuos, incluso a veces incluido en el agua (por ejemplo, en zonas de Valencia y Murcia). No pueden evitar este pago y servicio asociado incluso si realizan su propia gestión de los residuos.
- Los hosteleros prefieren que se les instale un contenedor único para envases de plásticos ya que este residuo se puede revalorizar y amortizar los costes de la recogida.
- El tipo de contenedor que prefieren es un compactador, para que la recogida se alargue lo máximo posible y así rebajar los costes de la recogida.

Gracias a los datos que se han obtenido por las encuestas realizadas, se elaboraron las especificaciones técnicas del sistema ECO-IoT:

Cuadro 1: Especificaciones del contenedor

Característica	Descripción	Comentarios
Usuario contenedor	Hoteles	De momento se descarta restaurantes y otros sectores, aunque podrían ser perfectamente compatibles.
Material a reciclar	Plástico	En un principio se consideró reciclar aceite y cristal, pero se descartó por las entrevistas realizadas.
Capacidad	3000 litros	Capacidad similar a los contenedores comunes que se pueden encontrar en la calle.
Alimentación eléctrica	Mediante batería y carga inalámbrica	
Material estructura	Acero	
Material exterior	Cobertura de fibra de vidrio	
Forma exterior	Cuadrada con ondulaciones en las coberturas exteriores	El interior del contenedor será cuadrado de forma que facilite la compactación.
Tipo enganche	Doble gancho	
Tipo de vaciado	Descarga por la parte inferior	

Tipo de compactación	Prensa de 10 cm	Compactación realizada por una prensa con estructura de “tijera” y tornillo sin fin accionada por un motor de 144W.
Seguridad para el proceso de compactación	Arranque de la compactación mediante interruptor de tipo “hombre presente” y sensores de ultrasonidos que determinan si la boca del contenedor está obstruida.	
Enclave	Superficial (no soterrado) en exteriores	
Forma y tamaño de la boca (para introducción residuos)	Redonda	Lo suficientemente grande como para que se pueda introducir una garrafa de 8L de agua, ~25cm de diámetro.

Cuadro 2: Especificaciones de la electrónica de control e IoT

Característica	Descripción	Comentarios
Enclave	Situado en el lateral del contenedor	Se situará en el un lateral del contenedor, estará cubierto por fibra de vidrio y en el interior de una caja estanca.
Comunicación de datos	De forma inalámbrica mediante protocolo <i>SigFox</i>	
Cadencia de envío de datos	Los datos de cada contenedor serán enviados cada 15 minutos	Con <i>SigFox</i> existe un límite de 140 mensajes al día (aproximadamente 1 mensaje cada 10 minutos), más que suficiente para el correcto funcionamiento del contenedor.
Batería interna	La alimentación de la electrónica de control se llevará a cabo mediante la misma batería que alimenta el motor del compactador	Al igual que sucede con la alimentación de la compactación, para la carga de la batería se ha desarrollado un sistema de carga inalámbrica.
Sensorización	Nivel de llenado (sensor de ultrasonidos), temperatura, humedad, consumo eléctrico, GPS, obstrucción de la boca (seguridad)	El sensorizado de la alimentación de residuos cumple una función de seguridad, bloqueando la compactación en caso de que el sensor se encuentre obstruido, asegurando que no haya nadie introduciendo residuos al contenedor durante la compactación.

Almacenamiento de datos	Los datos serán procesados por el protocolo <i>SigFox</i> y redirigidos a los servidores de AWS donde serán procesados y almacenados en una base de datos.	
Caja para electrónica	Caja estanca IP54	Resistencia a polvo y pulverizaciones de agua.

Cuadro 3: Especificaciones del software de gestión de residuos

Característica	Descripción	Comentarios
Funcionalidades	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de predicción de llenado - Sistema de generación de ruta de recogida óptima 	Mediante estas funcionalidades se reducirá de forma significativa el consumo de combustibles y el gasto en gestión de residuos (reducción en el número de vehículos).
Método de generación de decisiones	Integración de inteligencia artificial que procese los datos recogidos por la electrónica de control	
Módulos del software	<ul style="list-style-type: none"> A. Gestión de datos B. Decisiones inteligentes C. Generación de rutas D. Visualización 	Cada una de ellas cumple una función específica y claramente diferenciada del resto.
Obtención de los datos	Los datos proporcionados por los sensores son almacenados en una base de datos localizada en AWS, permitiendo un fácil y rápido acceso a todos los datos necesarios para la generación de las predicciones	
Interfaz	La interfaz del software permitirá la visualización de las predicciones en un mapa navegable y permitirá la obtención de toda la información relacionada con los contenedores	

Desarrollo del contenedor-compactador

En la siguiente figura podemos observar el diseño definitivo (modelo 3D generado por CAD) del contenedor, con las imágenes decorativas ya incluidas:



Figura 1: Diseño 3D del contenedor-compactor

El diseño de la propuesta definitiva escogida para el diseño del contenedor se puede resumir en los siguientes apartados:

1. La forma básica de esta propuesta de diseño toma la forma de un paralelepípedo (paralelogramo extruido) con las esquinas laterales redondeadas.
2. En la parte frontal del contenedor se puede observar una abertura para introducir los residuos, como pueden ser botellas, envases, etc. El tamaño de este orificio es lo suficientemente grande como para poder introducir garrafas de 8L por él.
3. Situado en el lateral se puede observar una pequeña abertura la cual servirá para introducir los tapones para el reciclaje.
4. En la parte superior y a modo de refuerzo podemos observar una viga la cual servirá como estructura de soporte para el resto de la estructura del contenedor.
5. En la mitad de esta viga de soporte podemos observar el punto de anclaje del contenedor, el cual consta de dos anillas, las cuales servirán para el transporte de este.

A modo de cobertura y protección para la posterior implementación de la electrónica de control y el sistema de compactación, se ha decidido colocar en los laterales del contenedor una chapa que forme una doble cavidad, la cual además de servir como protección para elementos fundamentales del contenedor, mejora la estética de este.

En lo que respecta al sistema de compactación, se ha optado por una prensa situada en la parte superior del contenedor y accionada por un motor de ~144W de potencia. El motor hace girar un tornillo sin fin el cual acciona un mecanismo de tijera que hace bajar una plancha de acero para compactar los residuos.

Modulo tecnología electrónica IoT

En la presente fase se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva de componentes electrónicos y sensores, seleccionando aquellos que mejor se ajusten a las condiciones establecidas en los previos paquetes de trabajo y que estén alineados con las expectativas definidas por los socios del consorcio y por las necesidades del sector hostelero. En conjunción con la búsqueda de sensores, también se ha seleccionado el microcontrolador que gobernará la comunicación entre los sensores y que se encargará de procesar todas las señales.

Para ser consecuentes con los objetivos establecidos en la memoria del proyecto, se han seleccionado aquellos componentes electrónicos que destaquen en cuanto a especificaciones se refiere, con tal de obtener una electrónica de control de calidad que sea a la vez eficiente en cuanto a energía y potencia de procesamiento, y fiable y duradera, ya que ha de ser capaz de soportar a ambientes de tipo industrial.

A continuación, expondremos los componentes principales seleccionados para formar parte del módulo de sensorización y la electrónica de control:

- Microcontrolador: procesa y gestiona todo el sistema electrónico y de control
- Módulo de geoposicionamiento: GPS para conocer la ubicación exacta de los contenedores para poder determinar el punto de recogida.
- Sensor ambiental: provee de la información básica de temperatura y humedad a la que se encuentra el contenedor. Siendo útil a la hora de detectar incendios en él.
- Sensor de llenado: mide el llenado del contenedor para poder saber cuando es necesaria su recogida
- Sensores de distancia: para mayor seguridad a la hora de compactar, en caso de que la boca del contenedor este obstruida, la compactación se detendrá.
- Interruptor de compactación de hombre presente.

De forma paralela al desarrollo del hardware, se ha desarrollado el firmware que implementa el módulo ESP32. El firmware se encarga de dar las instrucciones necesarias al microcontrolador para que todos los sensores y la comunicación entre ellos sea la deseada.

Al comenzar el programa se ejecuta el código que inicia los sensores, de forma que estos estén disponibles y funcionales para el resto del programa. A partir de aquí el programa emula una máquina de estados, en la cual, dependiendo del motivo por el que se despierte el microcontrolador pasamos a un estado o a otro.

Disponemos de tres estados principales:

- Estado 1 - Inicial:

Este estado únicamente se ejecutará la primera vez que encendamos el microcontrolador o que este se reinicie manualmente. En él se envía un código que identifica que los datos enviados corresponden a la primera conexión.

- Estado 2 - Principal

Este corresponde al estado principal y es al cual derivan los demás estados al despertarse del “Deep Sleep” a causa de un lapso determinado. Este periodo está configurado por defecto a 15 minutos.

- Estado 3 - Compactación

A este estado se llega tras pulsar el botón de compactación. Mientras el programa permanezca en este estado, el motor que realiza la compactación permanecerá activado.

Cabe destacar que en caso de que se dé orden de compactar justo después de haber compactado, no se tomará nuevamente los datos. Sí durante la compactación los sensores de seguridad instalados de la boca del contenedor detectan algún elemento la electrónica parará el motor inmediatamente, evitando accidentes y atrapamientos.

- En cada uno de los tres estados se tomará medidas de:
- Temperatura
- Humedad
- Nivel de batería
- Nivel de llenado del contenedor
- Posición GPS

Todos los datos recogidos por la electrónica, así como los códigos que determinan a cada estado se envían a través de SigFox para ser procesados y almacenados posteriormente en el servidor.

Una vez desarrollados los módulos hardware y software se llevó a cabo el diseño y fabricación del módulo con la electrónica de control y los módulos de sensorización.

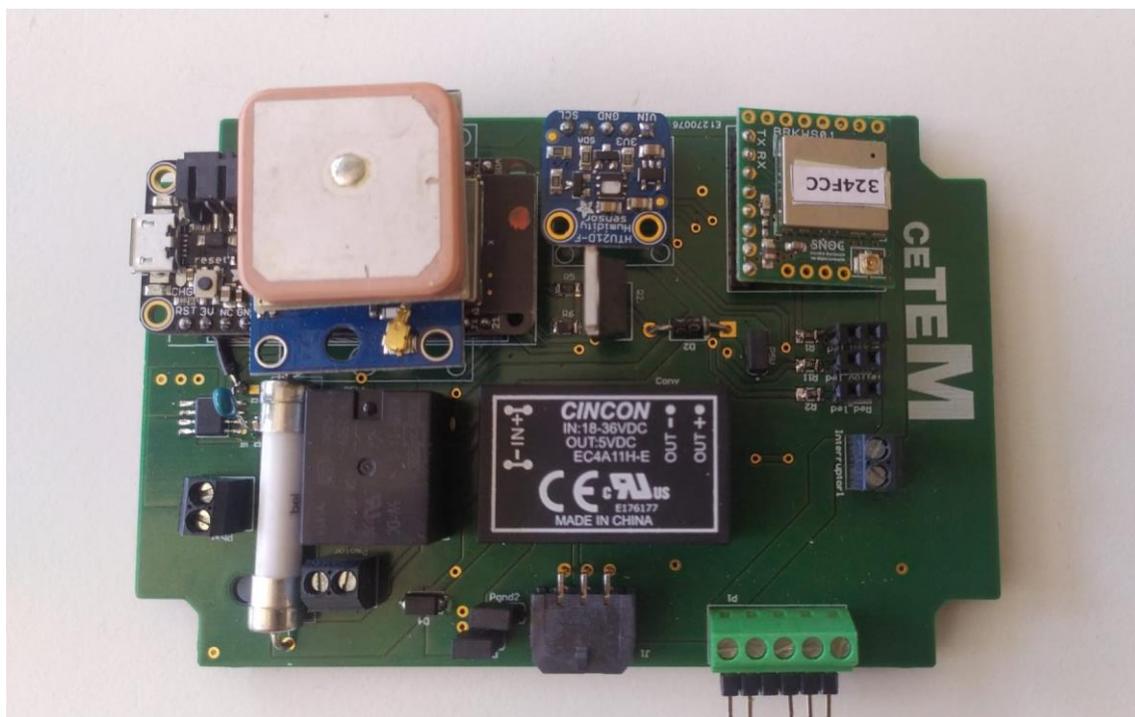


Figura 2: PCB de control

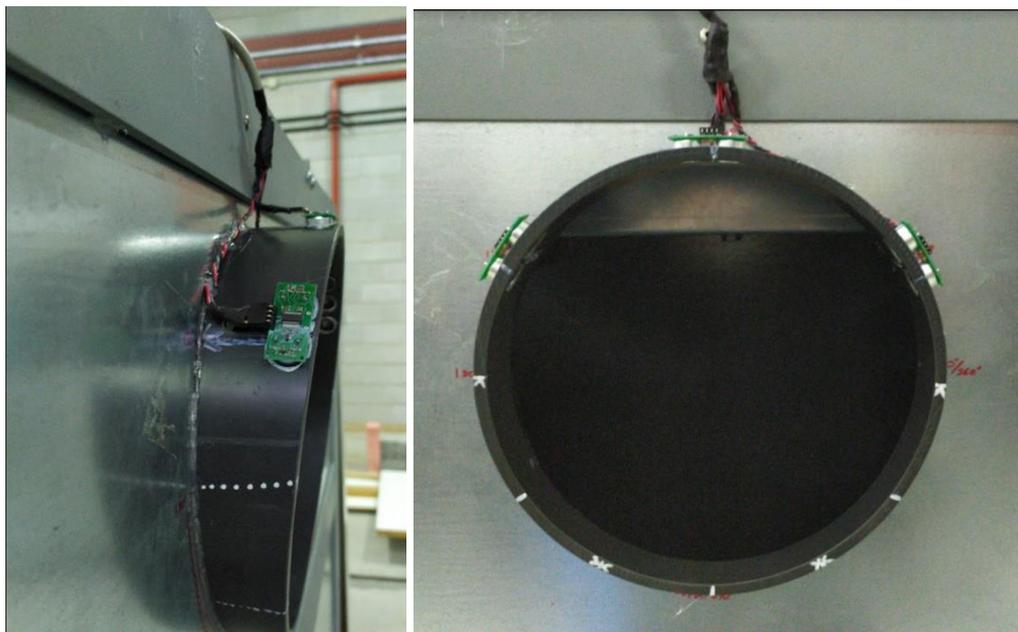


Figura 3: Sensores de detección anti-atrapamiento

Para la alimentación del contenedor se ha optado por desarrollar un sistema de carga inalámbrica. Este sistema se ha pensado para facilitar la puesta en marcha y la descarga del contenedor, de forma que no haga falta alimentarlo de forma directa.

La alimentación por carga inalámbrica facilita significativamente la implantación de los contenedores, ya que el camión que realice la recogida no tendrá que preocuparse por desconectar y reconectar la alimentación del contenedor, únicamente tendrá que realizar el mismo procedimiento que con la recogida de los demás contenedores estándar.

Además, gracias a la tecnología que utiliza la carga inalámbrica implementada en los contenedores (carga inalámbrica por resonancia), se permite una holgura significativa en la colocación de los contenedores, simplificando su situación sin requerir que estos estén alineados de manera precisa respecto de la bobina emisora.

Desarrollo software de gestión de recogida de residuos.

Por un lado, se ha creado un Core software, encargado del manejo de datos recibidos de los sensores, así como del cálculo de rutas y predicción de llenado de los contenedores. También se ha desarrollado una aplicación web que actúa de intermediaria entre el usuario final y dos bases de datos: una para la gestión de los contenedores y otra para la de predicciones y rutas. La aplicación permite la gestión y consulta de clientes, sensores y rutas de los vehículos, así como el acceso a los datos históricos de llenado de los contenedores o cuando fueron recogidos los mismos.

También dispone de una interfaz de visualizado de predicciones de llenado de los distintos contenedores desplegados, teniendo en cuenta datos reales de estos. La interfaz en cuestión rescata los datos calculados mediante el módulo de predicción de llenado.

Dicha aplicación web ha sido desarrollada en el framework Angular de Google, siguiendo un modelo de capas front-end/back-end. Se ha escogido el nombre Eco-IoT Manager para la aplicación.

A continuación, podemos observar algunos ejemplos de cómo es la aplicación software, en donde se puede comprobar tanto su estética como la funcionalidad:



Figura 4: Interfaz de usuario del componente Home de Eco-IoT Manager

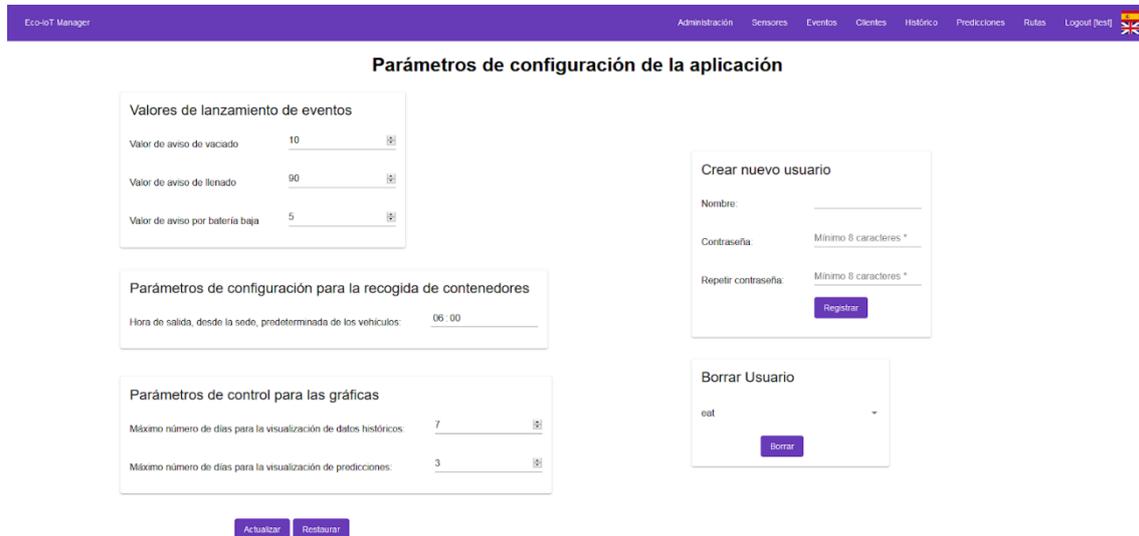


Figura 5: Interfaz de usuario del componente Parámetros de Eco-IoT Manager

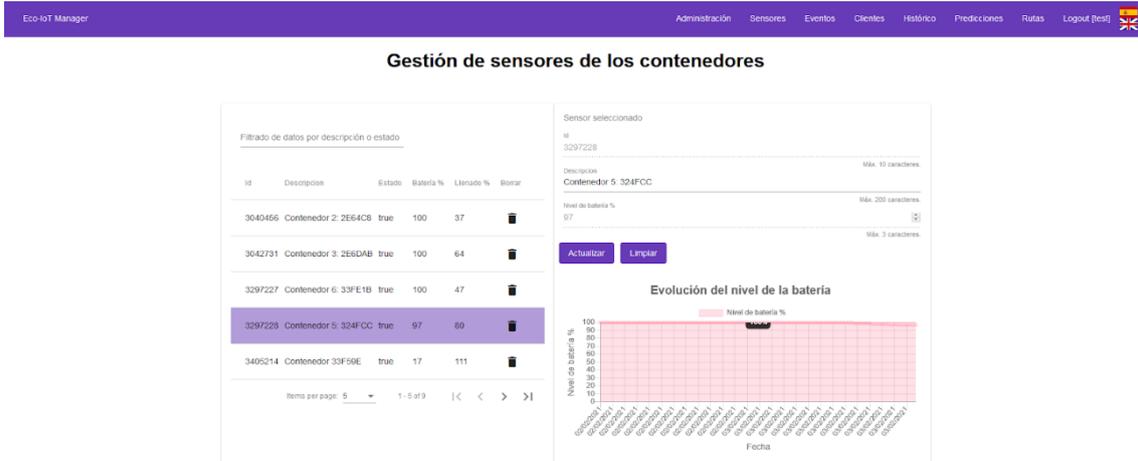


Figura 6: Interfaz de usuario del componente Sensores de Eco-IoT Manager

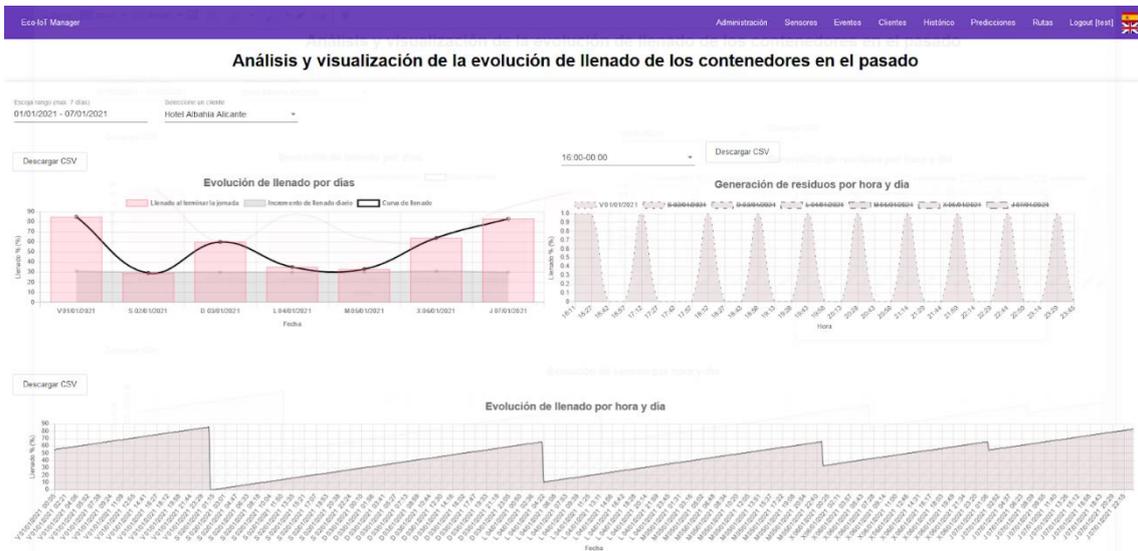


Figura 7: Interfaz de usuario del componente Histórico de Eco-IoT Manager



Figura 8: Interfaz de usuario del componente Rutas de Eco-IoT Manager

Para la predicción de llenado se ha desarrollado un software que sea capaz de conocer de forma automática qué contenedores tenemos que recoger. Para determinar los contenedores que deben ser recogidos, estimamos el porcentaje de llenado de cada contenedor y así poder planificar cuándo debemos ir a recogerlo. La complejidad de este módulo de software radica en la incertidumbre asociada a la aportación de residuos, ya que ésta es normalmente indeterminada a priori. Esta predicción es un campo abierto actualmente para la investigación, y la abordaremos acotando los horizontes temporales: nowcasting (corto plazo), forecasting (medio plazo) y foresight (tendencias a largo plazo).

De forma paralela se ha desarrollado el núcleo inteligente del sistema, que determina qué contenedores recoger y en qué orden se realizará su recogida, dependiendo de las predicciones generadas. El software de generación de rutas genera las rutas óptimas de recogida según los recursos disponibles y la información IoT del contenedor, así como otros factores como duración y coste de la ruta, extraídos de otros más directos como la distancia y desniveles a recorrer, consumo combustible, etc. Se utiliza información pasada (modelos estadísticos) y presente (sensores) para decidir qué contenedores recoger y la mejor ruta. Para la generación de rutas se ha usado algoritmos bioinspirados, así como estadística avanzada y aprendizaje máquina.

Además, se han considerado multitud de restricciones que afectan a los vehículos, contenedores y rutas, como las dimensiones del camión en relación a los pasos o calles a sortear, el número de vehículos disponibles para realizar la recogida, la carga máxima del vehículo, y restricciones horarias si el contenedor no se encuentra en un lugar con libre acceso.

Integración, validación.

Tras el desarrollo de las fases anteriores, se ha procedido a la integración conjunta de los distintos módulos y se ha comprobado el correcto funcionamiento de todos los módulos, asegurando que todos los parámetros se encuentran dentro de los márgenes de fiabilidad y calidad establecidos en las especificaciones.

En las siguientes imágenes podemos observar la electrónica de control (caja con el microprocesador y los sensores, y el interruptor de compactación) y la batería y el motor (sistema de compactación):



Figura 9: Electrónica de control instalada

Como se puede observar en la imagen superior, la batería, el motor, el interruptor de compactación y la caja con la electrónica se han fijado a la estructura del contenedor, quedando cubiertos por una carcasa protectora de fibra de vidrio. Para acceder a ella se necesita una llave, lo que impide el acceso a la electrónica y al interruptor de compactación al personal no autorizado. Posteriormente la caja que almacena la electrónica se ha ampliado, aumentando el rendimiento térmico y la protección control el polvo y salpicaduras de agua hasta un nivel IP55. Además, gracias a la ampliación de la caja de protección, el interruptor de compactación puede ser fijado directamente a esta, facilitando la integración y el reemplazo de la electrónica en caso de defecto.



Figura 10: Caja con electrónica de control definitiva

La validación del sistema compuesto por el módulo software de gestión, la sensorización del contenedor y el propio contenedor con el módulo de compactación, teniendo muy en cuenta la seguridad en lo que respecta la compactación. Esta comprobación se ha llevado a cabo mediante una serie de pruebas piloto llevadas a cabo en situaciones reales. Gracias a estas pruebas se ha demostrado la consecución de los requisitos definidos durante la primera fase del proyecto.

Las pruebas realizadas se han evaluado en dos niveles: validación a nivel de hardware y mecánico y por otro lado a nivel de software y procesamiento de señales. Además de estas pruebas se ha llevado a cabo una validación del sistema completo con todos los módulos funcionando en conjunto.

Entre las pruebas realizadas se encuentran las siguientes:

- Validación de los módulos hardware
- Validación funcional del sistema de compactación mecánico: durante esta prueba se comprobó el correcto funcionamiento del sistema de compactación en conjunción con la electrónica de control y el sistema de seguridad.
- Validación desde el punto de vista del usuario: se ha garantizado que el sistema es de fácil manejo, tanto para el usuario final que deposita los residuos como para el personal encargado de realizar la compactación y para la empresa encargada de la recogida de los residuos para su posterior reciclaje.

- Validación del sistema en conjunto: se ha llevado a cabo un despliegue de contenedores en varios hoteles y urbanizaciones con tal de comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

RESULTADOS

Gracias al despliegue realizado se ha obtenido información muy valiosa para el proyecto, verificando el correcto funcionamiento tanto de la electrónica de control como del sistema de compactación, así como las mejoras a realizar en el sistema completo y contenedor para facilitar su uso y utilización diarias, instalación, recogida y mantenimiento.

A continuación, se muestran algunas imágenes del despliegue de los contenedores:



Figura 11: Instalación de contenedor para pruebas piloto



Figura 12: Instalación de contenedor para pruebas piloto

Tras las pruebas realizadas durante un periodo de 10 meses se han obtenido los siguientes resultados:

- Gran aceptación por parte de la empresa de recogida en el uso de la plataforma de gestión de los residuos
- Mayor eficiencia la hora de gestionar los recursos de recogida.
- La compactación de los residuos cumple con el objetivo planteado. En la siguiente figura se pueden observar los datos del contenedor donde se realizó una compactación el 24 de septiembre de 2021. En este evento, la hora de inicio de la compactación se puede observar a las 6:35 p.m. El volumen de llenado del contenedor estaba al 100% de su capacidad. Tras el evento de compactación se observó un nivel del 42%, obteniendo una reducción del 58% del volumen total.

Cuando el compactador comienza a moverse hacia arriba, se puede observar la expansión del plástico almacenado en el contenedor y también un aumento en el nivel de llenado debido a esta razón, alcanzando el 59% de la capacidad ocupada. El proceso de compactación se repite para obtener una mayor reducción de volumen.

En promedio, después de cada compactación, el nivel de llenado disminuye entre un 30% y un 50%. Si el recipiente está en pleno uso, la expansión de los plásticos es mayor y la compresión puede ser menor.

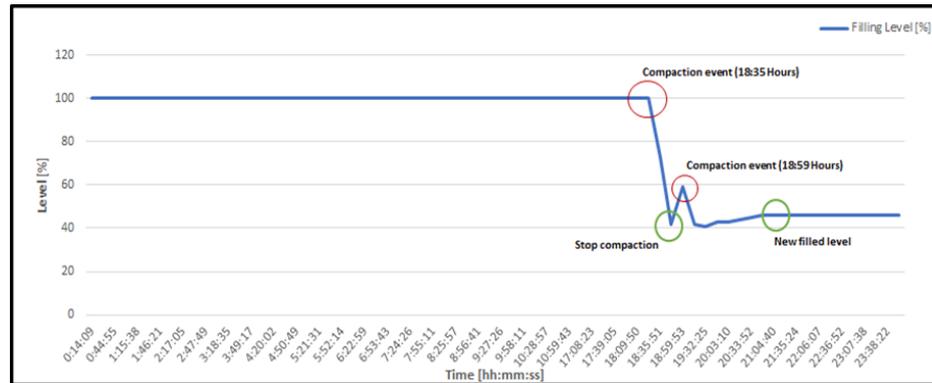


Figura 13: Proceso de compactación y niveles de llenado

CONSORCIO

El proyecto ECO-IoT ha contado con la participación de las siguientes organizaciones. Las cuales han participado activamente en la parte designada para poder desarrollar el sistema ECO-IoT con grandes resultados favorables: ACTECO; EUROSOTERRADOS; CETEM, Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia; UMA, Universidad de Málaga.

BIBLIOGRAFIA

- [1] De Paz Juan F., Bajo Javier, Rodríguez Sara, Villarrubia Gabriel, Corchado Juan M., Sistema inteligente para el control de la iluminación en ciudades inteligentes, Ciencias de la Información, Tomo 372, 2016, Páginas 241-255, ISSN 0020-0255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.045>.
- [2] Villarrubia, Gabriel, Juan F. de Paz, Daniel H. De La Iglesia y Javier Bajo. 2017. "Combinación de sistemas multiagente y redes de sensores inalámbricos para monitorear el riego de cultivos" *Sensores* 17, no. 8: 1775. <https://doi.org/10.3390/s17081775>.
- [3] Bhagya Nathali Silva, Murad Khan, Kijun Han, Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities, *Sustainable Cities and Society*, Volumen 38, 2018, páginas 697-713, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>.
- [4] Alvarez-Campana, Manuel, Gregorio López, Enrique Vázquez, Víctor A. Villagrà y Julio Berrocal. 2017. "Smart CEI Moncloa: An IoT-based Platform for People Flow and Environmental Monitoring on a Smart University Campus" *Sensores* 17, nº 12: 2856. <https://doi.org/10.3390/s17122856>.
- [5] Lozano, Álvaro, Javier Caridad, Juan F. De Paz, Gabriel Villarrubia González y Javier Bajo. 2018. "Smart Waste Collection System with Low Consumption LoRaWAN Nodes and Route Optimization" *Sensores* 18, nº 5: 1465. <https://doi.org/10.3390/s18051465>.
- [6] Gutierrez Jose M., Jensen Michael, Henius Morten, Riaz Tahir, Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence, *Procedia Computer Science*, Volumen 61, 2015, Páginas 120-127, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.170>.
- [7] Hong, Insung, Park, Sunghoi, Lee, Beomseok, Lee, Jaekeun, Jeong, Daebeom, Park, Sehyun, 2014, 28/08/2014. Sistema de basura inteligente basado en IoT para la gestión eficiente del desperdicio de alimentos, 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/646953>.
- [8] Khattab, A., Youssry, N. (2020). Aprendizaje automático para sistemas IoT. En: Alam, M., Shakil, K., Khan, S. (eds) *Internet of Things (IoT)*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37468-6_6.