



NORMAS BÁSICAS DE ESTILO Y FORMATO

El texto del trabajo se escribirá preferentemente en español. Se admitirá el idioma inglés, siempre que el trabajo esté avalado por un convenio internacional (Erasmus u otros) o si la Comisión delegada de Trabajos Fin de Grado o la Comisión Académica del Máster, según el caso, informe favorablemente a partir de una solicitud previa del alumno o alumna.

PROYECTOS DE INGENIERÍA

Se seguirán las consideraciones indicadas en la norma UNE 157001:2004 en cuanto a requisitos formales de carácter general con qué deben redactarse los proyectos.

Se utilizará la carátula incluida en este anexo.

Serán elementos de obligada aparición los siguientes:

Resumen. Entre 300 y 500 palabras como referencia.

Documento Nº 1. Índice

Documento Nº 2. Memoria. Tiene como misión justificar las soluciones adoptadas, su adecuación a la normativa legal aplicable y, conjuntamente con los planos y el pliego de condiciones, debe describir de forma unívoca el objeto del Proyecto.

Documento Nº 3. Anexos

Este documento debe contener los anejos necesarios (según proceda en cada caso) correspondientes a:

- **Documentación de partida.** Este Anexo debe incluir aquellos documentos que se han tenido en cuenta para establecer los requisitos de diseño.
- **Cálculos.** Este Anexo o Anexos tienen como misión justificar las fórmulas aplicadas, las soluciones adoptadas y, conjuntamente con los documentos planos y el pliego de condiciones, debe describir de forma unívoca el objeto del Proyecto.
Debe contener las hipótesis de partida, los criterios y procedimientos de cálculo, así como los resultados finales base del dimensionado o comprobación de los distintos elementos que constituyen el objeto del Proyecto.
- Anexos de aplicación en función del ámbito del Proyecto, son por ejemplo:
 - Seguridad (prevención de incendios, sanidad, radiaciones, pública concurrencia, etc.).
 - Medio ambiente (acústica, residuos, emisiones, etc.).
 - Eficiencia energética.
 - Emplazamiento del proyecto, Geotécnicos, Hidráulicos, Hidrológicos, Pluviométricos, etc.
 - Gestión de residuos.
 - Otros.
- **Estudios con entidad propia.** Este documento debe contener todos aquellos estudios que deban incluirse en el Proyecto por exigencias legales. Debe comprender, entre otros y sin carácter limitativo, los relativos a:
 - Estudio Básico de Seguridad y Salud o Estudio de Seguridad y Salud, según corresponda.
 - Estudio de Impacto Ambiental. Se realizará según la tipología prevista en



la legislación vigente que aplique.

Cada anexo debe contener la justificación del cumplimiento de la normativa legal vigente aplicable y, si procede, de las fórmulas aplicadas para el cálculo.

- **Otros documentos que justifiquen y aclaren conceptos expresados en el Proyecto.** Se pueden incluir:
 - Catálogos de los elementos constitutivos del objeto del Proyecto.
 - Listados.
 - Información en soportes lógicos, magnéticos, ópticos o cualquier otro.
 - Maquetas o modelos.
 - Otros documentos que se juzguen necesarios.

Documento Nº 4. Planos. Se deberá tener en cuenta lo indicado en las normas referencias en el apartado 8.2 de la norma UNE 157001:2014.

Documento Nº 5. Pliego de Condiciones. El pliego de condiciones es uno de los documentos que constituyen el Proyecto y tiene como misión establecer las condiciones técnicas, económicas, administrativas, facultativas y legales para que el objeto del Proyecto pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas.

Documento Nº 6. Mediciones. Debe contener un listado completo de las partidas de obra que configuran la totalidad del proyecto. Debe servir de base para la realización del Presupuesto.

Documento Nº 7. Presupuesto.

MODELO DE CAJETÍN PARA PLANOS

Anchura máxima 170 mm, y altura variable. No habría límites si el plano no se doblase.

Situación en ángulo inferior derecho del área de dibujo del plano, con el mismo grosor que el recuadro que marca la zona efectiva de dibujo.

170 mm		
UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROESPACIAL	PROYECTO: GIMNASIO Y CENTRO DE OCIO UBICADO EN EL T.M MUNICIPAL DE SAN ANDRÉS DEL RABANEDO (LEÓN)	
PLANO: LOCALIZACIÓN	ESCALA: 1/100000	FECHA: JULIO 2017
EL ALUMNO:	TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA	Nº PLANO: 1



ESTUDIOS TÉCNICOS, ORGANIZATIVOS Y ECONÓMICOS, Y TRABAJOS TEÓRICO-EXPERIMENTALES

Se utilizará la carátula incluida en este anexo. El tamaño de papel será A4 y los márgenes del documento serán 3 cm en la parte superior y a la izquierda y 2.5 cm en la parte inferior y a la derecha.

Se utilizarán encabezados y pies de página. En el pie de página irá el nombre del alumno-autor del trabajo y en el encabezado irá la numeración de las hojas, indicándose el total.

Para la numeración de los capítulos, apartados y anexos se seguirán las recomendaciones de la norma UNE 50132.

Cada capítulo iniciará una página nueva. Los títulos de los capítulos utilizarán una fuente de tamaño 28 puntos en negrita y llevarán la primera letra en mayúscula, mientras que el resto serán minúsculas. El interlineado (si el título ocupa más de una línea) será sencillo. Después del título irá una línea en blanco de tamaño 12 puntos.

Para los títulos de los apartados, se utilizará un tamaño de 14 puntos, letra negrita y mayúscula. Los títulos de los apartados y sub-apartados irán precedidos del número del apartado. Debajo del título de los apartados se dejará una línea en blanco.

Para el cuerpo del texto se utilizará un tamaño de 12 puntos, justificado a izquierda y derecha y con interlineado igual a 1.5 líneas, sin espacio adicional entre párrafos.

Las figuras y tablas se intercalarán en el texto, centradas y con un pie de figura o encabezado de tabla. Las figuras y tablas llevarán una línea antes y otra después, y la forma de nombrarlas en el texto será “figura #.#” o “tabla #.#”, donde el primer número es el del capítulo y el segundo es el número de orden de la figura o de la tabla dentro de ese capítulo. El texto al pie de la figura o en el encabezado de la tabla estará en escrito con un tamaño de 12 puntos, y deberá señalar lo que se representa de una forma clara. Ejemplo:

Figura 4.1. Relación entre ... (Fuente:)

Tabla 4.1. Tabla con resultados de...(Fuente:)

Si el texto requiere la inclusión de ecuaciones, el formato de las mismas es libre. Se numerarán según el formato (#.#) alineado al margen derecho junto a la ecuación y se citarán en el cuerpo del texto como “ecuación #.#”, donde el primer número es el capítulo y el segundo el número de la ecuación. Ejemplo:

$$x = \int \sin \varnothing / \dots \quad (4.1)$$

Al final del cuerpo del trabajo debe incluirse una lista de todas las fuentes bibliográficas en las que se basa éste, y debe hacerse referencia a cada uno de los elementos de esta lista en todos los lugares adecuados dentro del texto. A pesar de que la norma UNE 50135 incluye cuestiones relativas al formato de las referencias bibliográficas, se usarán prioritariamente los estilos de referenciación:

- HARVARD (Autor-Fecha)
- IEEE (Numérico)

En todo caso, se podrá usar cualquier otro formato siempre que esté normalizado.

Serán elementos de obligada aparición los siguientes:



Resumen. Entre 300 y 500 palabras, en español.

Abstract. Entre 300 y 500 palabras, en inglés.

Índice de contenidos

Índice de figuras

Índice de cuadros y tablas

Glosario de signos, símbolos, unidades, abreviaturas, acrónimos o términos (si hubiera)

Cuerpo del trabajo (recomendación):

- Introducción
- Estado del arte
- Núcleo del trabajo con ilustraciones esenciales y tablas (objetivos, materiales y métodos,...)
- Resultados
- Conclusiones y recomendaciones
- Agradecimientos, si los hubiere

Lista de referencias bibliográficas

Anexos



universidad
de león



Página 3 de 90

Escuela de Ingenierías

Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

Aplicación web para la gestión de cultivos hidropónicos

Web application for hydroponic crop management

Autor: José Antonio López Pérez
Tutores: Lidia Sánchez González,
Jesús Fernández Fernández

(Julio, 2025)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: José Antonio López Pérez

TUTOR: Lidia Sánchez González / Jesús Fernández Fernández

TÍTULO: Aplicación web para la gestión de módulos hidropónicos inteligentes.

TITLE: Web application for the management of intelligent hydroponic modules.

CONVOCATORIA: Julio, 2025

RESUMEN:

En un contexto de creciente interés por los sistemas de cultivo sostenible y la optimización de recursos, la hidroponía se presenta como una alternativa eficiente para la producción de alimentos en espacios reducidos y con un menor consumo de agua. Sin embargo, uno de los principales retos de estos sistemas es la necesidad de un monitoreo constante y una gestión precisa de variables como la temperatura, la humedad o los niveles de nutrientes. Automatizar y facilitar este control resulta fundamental para asegurar la viabilidad del cultivo y mejorar su rendimiento. Este Trabajo de Fin de Grado propone una solución innovadora: el desarrollo de una plataforma web de gestión inteligente para sistemas hidropónicos, combinando tecnología IoT, automatización y análisis de datos en tiempo real. Gracias a sensores distribuidos en el módulo de cultivo, los usuarios pueden visualizar y gestionar sus parámetros desde cualquier lugar, a través de una interfaz intuitiva que permite optimizar el rendimiento del sistema con decisiones basadas en datos. De este modo, es posible optimizar el mantenimiento del cultivo mediante la automatización de tareas como el riego, la ventilación o el ajuste de la iluminación. La plataforma está organizada en diferentes secciones que ofrecen funcionalidades como la visualización gráfica de los datos registrados, el estado actual del sistema, recomendaciones personalizadas para mejorar el cultivo y paneles de configuración para adaptar el funcionamiento del módulo a las necesidades concretas del usuario. Desde el punto de vista técnico, el sistema sigue una arquitectura basada en microservicios virtualizados mediante contenedores Docker, lo que garantiza su escalabilidad, portabilidad y facilidad de despliegue. Además, el proyecto incluye el diseño y la construcción de un módulo

hidropónico físico, equipado con una serie de sensores y componentes electrónicos gestionados a través de una estructura fabricada mediante impresión 3D. Gracias a esta combinación de hardware y software, se ofrece una solución integral para el control inteligente de cultivos hidropónicos.

ABSTRACT:

In a context of growing interest in sustainable cultivation systems and resource optimization, hydroponics is emerging as an efficient alternative for food production in small spaces and with lower water consumption. However, one of the main challenges facing these systems is the need for constant monitoring and precise management of variables such as temperature, humidity, and nutrient levels. Automating and facilitating this control is essential to ensure crop viability and improve yield. This Final Degree Project proposes an innovative solution: the development of a smart management web platform for hydroponic systems, combining IoT technology, automation, and real-time data analysis. Thanks to sensors distributed throughout the cultivation module, users can view and manage their parameters from anywhere, through an intuitive interface that allows them to optimize system performance with data-driven decisions. This way, crop maintenance can be optimized by automating tasks such as irrigation, ventilation, and lighting adjustment. The platform is organized into different sections that offer functionalities such as graphical visualization of recorded data, the current system status, personalized recommendations for improving cultivation, and configuration panels to adapt the module's operation to the user's specific needs. From a technical perspective, the system follows an architecture based on virtualized microservices using Docker containers, ensuring scalability, portability, and ease of deployment. The project also includes the design and construction of a physical hydroponic module, equipped with a series of sensors and electronic components managed through a 3D-printed structure. This combination of hardware and software offers a comprehensive solution for the intelligent control of hydroponic crops.

Palabras clave: Hidroponía, Automatización, Monitoreo, Sensores, Aplicación web, Microservicios, Docker, Impresión 3D, Optimización de recursos, Control inteligente

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

Índice

Glosario de términos	11
Introducción	14
Planteamiento del problema.....	14
Objetivos.....	15
Metodología	15
Estructura del trabajo.....	16
Estudio del problema	18
1.1El contexto del problema	18
1.2El estado de la cuestión.....	18
1.3La definición del problema	19
Gestión de proyecto software	21
2.1 Alcance del proyecto	21
2.1.1 Definición del proyecto	21
2.1.2 estimación de tareas y recursos	22
2.1.3 Presupuesto.....	23
2.2 Plan de trabajo	26
2.2.1 Identificación de tareas	26
2.2.2. Asignación de tareas y estimación	33
2.2.3. Planificación de tareas.....	36
2.3. Gestión de recursos.....	38
2.3.1. Especificación de recursos.....	39
2.4. Gestión de riesgos	41
2.4.1. Identificación de riesgos.....	41
2.5. Legislación y normativa	42
Solución	44
3.1. Descripción de la solución	44
3.2. El proceso de desarrollo	45

3.2.1. Análisis.....	45
3.2.2. Diseño.....	52
3.2.4. Pruebas.....	65
3.3. El producto del desarrollo	66
Evaluación.....	67
4.1. Proceso de evaluación.....	67
4.1.1. Forma de evaluación	67
4.1.2. Casos de prueba	69
4.2. Análisis de resultados.....	71
Conclusión	79
5.1 Futuras líneas de trabajo.....	79
5.2 Agradecimientos.....	80
Referencias	81
Anexo 1 - Seguimiento de Proyecto	82
Anexo 2 - Manual de usuario.....	82
Anexo 3 – Proyecto Ansible.....	86

Índice de tablas

Figura 2. 1. Coste estimado de recursos humanos.....	23
Figura 2. 2. Listado de materiales.....	24
Figura 2. 3. Listado de materiales por módulo.....	25
Figura 2. 4. Presupuesto total	25
Figura 2. 5. Costes con impuestos	25
Figura 2. 6. Tareas de investigación	26
Figura 2. 7. Tareas de desarrollo	28
Figura 2. 8. Tareas finales	32
Figura 2. 9. Estimación de tareas.....	33
Figura 2. 11. Ejemplo de planificación.....	36
Figura 2. 12. Gestión de recursos	38
Figura 2. 13. Especificación de recursos.....	39
Figura 2. 14. Identificación de riesgos	41
Figura 2. 15. Tabla de análisis de riesgos	42
Figura 4. 1. Pruebas del backend.....	69
Figura 4. 2. Pruebas de Kafka	69
Figura 4. 3. Pruebas de frontend	70
Figura 4. 4. Pruebas de integración.....	70
Figura 4. 5. Pruebas de robustez	70

Índice de imágenes

Figura 2. 10. Diagrama de Gantt.....	36
Figura 3. 1. Esquema de capas	53
Figura 3. 2. Esquema eléctrico MPV	54
Figura 3. 3. Renderizado primer prototipo.....	55
Figura 3. 4. interfaz MPV en modo claro	56
Figura 3. 5 interfaz MPV en modo oscuro	56
Figura 3. 6. Ilustración de tecnologías.....	57
Figura 3. 7. Esquema de despliegue	58
Figura 3. 8. Diagrama del circuito eléctrico.....	59
Figura 3. 9. Renderizado de las piezas modulares.....	60
Figura 3. 10. Renderizado ejemplo de estructura modular	60
Figura 3. 11. Renderizado del módulo 3D	60
Figura 3. 12. Imagen del módulo hidropónico	61
Figura 3. 13. Imagen del regulador de voltaje.....	61
Figura 3. 14. Imagen de construcción	62
Figura 3. 15. Swagger de la api de la base de datos.....	62
Figura 3. 16. Inicio de sesión en el sistema	63
Figura 3. 17. Página de inicio en modo oscuro.....	64
Figura 3. 18. Formulario de configuración de luces	64
Figura 3. 19. Página de gráficas detalladas.....	65
Figura 3. 20. Centro de ayuda para el usuario	65
Figura 4. 6. Pregunta de cuestionario sobre sector agrícola	71
Figura 4. 7. Pregunta de cuestionario sobre hidroponía.....	72
Figura 4. 8. Pregunta de cuestionario sobre sector informático.....	73
Figura 4. 9. Pregunta de cuestionario sobre aspecto a destacar	73
Figura 4. 10. Pregunta de cuestionario sobre interfaz intuitiva	74
Figura 4. 11. Pregunta de cuestionario sobre la paleta de colores	74

Figura 4. 12. Pregunta de cuestionario sobre funcionalidades	75
Figura 4. 13. Pregunta de cuestionario sobre navegación a la página de registro.....	75
Figura 4. 14. Pregunta de cuestionario sobre proceso de registro	76
Figura 4. 15. Pregunta de cuestionario sobre puntuación del proceso de registro	76
Figura 4. 16. Pregunta de cuestionario sobre navegación a la sincronización.....	77
Figura 4. 17. Pregunta de cuestionario sobre éxito en sincronización.....	77
Figura 4. 18. Pregunta de cuestionario sobre la complejidad de la tarea.....	78
Figura 4. 19. Pregunta de cuestionario sobre recomendación	78

Glosario de términos

React: Framework utilizado para la creación de aplicaciones web.

API: Conjunto de definiciones y protocolos que permiten que dos aplicaciones se comuniquen entre sí.

Backend: Parte de una aplicación que gestiona la lógica, la base de datos y el procesamiento de datos en el servidor.

MariaDB: Sistema de gestión de bases de datos relacional, derivado de MySQL, utilizado para almacenar y gestionar datos.

DaisyUI: Plugin de Tailwind CSS que proporciona componentes predefinidos y estilos personalizables para interfaces web.

Docker: Plataforma que permite crear, distribuir y ejecutar aplicaciones dentro de contenedores ligeros y portables.

CSS: Lenguaje de hojas de estilo usado para describir la presentación y diseño de documentos HTML.

Arduino: Plataforma de hardware libre basada en una placa con microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear proyectos electrónicos.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar tareas en un dispositivo.

Hardware: Conjunto de componentes físicos y tangibles de un sistema informático o electrónico

Iot: Internet de las Cosas, se refiere a la red de objetos físicos (dispositivos y sistemas) que se conectan a Internet y se comunican entre sí.

Swagger: Especificación y un conjunto de herramientas de código abierto utilizadas para documentar, diseñar y probar APIs RESTful

Introducción

Este proyecto plantea una solución enfocada en el desarrollo de un producto software completo, destinado a la gestión y automatización de módulos hidropónicos inteligentes. El objetivo principal es permitir a los usuarios visualizar la información recogida por los sensores instalados en el sistema y facilitar la programación de acciones automáticas que optimicen el mantenimiento del cultivo. A través del procesamiento y presentación adecuada de los datos capturados (como temperatura, humedad o electro-conductividad del agua), se busca garantizar un control preciso que permita mejorar el rendimiento y la viabilidad de los cultivos hidropónicos.

Planteamiento del problema

Con el desarrollo del proyecto, se pretende analizar y aplicar metodologías ágiles durante la gestión del proceso, empleando un enfoque iterativo e incremental. Gracias a este modelo, el producto podrá ir incorporando nuevas funcionalidades de manera progresiva a lo largo de diferentes iteraciones, permitiendo que sea operativo desde las primeras fases y favoreciendo la obtención de feedback por parte de los usuarios. Esto facilita la detección temprana de errores y reduce los costes asociados a posibles cambios, además de asegurar una evolución continua del sistema a medida que se desarrollan nuevas versiones.

En cuanto a la arquitectura, se ha optado por un diseño basado en microservicios virtualizados mediante contenedores Docker, lo que permite dividir el sistema en diferentes componentes independientes, cada uno encargado de una funcionalidad específica, garantizando flexibilidad, escalabilidad y facilidad de mantenimiento. La comunicación entre estos microservicios es fundamental y se realiza a través de peticiones bien definidas que permiten integrar de manera eficiente todas las partes del sistema.

El producto final integra tanto el desarrollo de la aplicación web, que proporciona al usuario acceso a los datos y configuración del módulo hidropónico, como el diseño físico del propio módulo, fabricado mediante impresión 3D y equipado con sensores y componentes electrónicos. Gracias a esta combinación de hardware y software, se ofrece una solución completa que facilita el control inteligente y automatizado de cultivos hidropónicos, proporcionando una alternativa eficiente y sostenible para la producción de alimentos.

Objetivos

El objetivo principal del proyecto es desarrollar una aplicación web que permita la gestión y automatización de módulos hidropónicos inteligentes, facilitando a los usuarios la monitorización de datos en tiempo real y la programación de acciones automáticas para optimizar el mantenimiento del cultivo.

Además del objetivo principal, hay una serie de objetivos específicos:

- Comprender qué es un módulo hidropónico inteligente y cuáles son sus principales componentes.
- Comprender la arquitectura basada en microservicios y su aplicación en sistemas de gestión de datos IoT.
- Conocer los procedimientos y métodos para desarrollar una arquitectura basada en microservicios mediante Docker.
- Comprender el funcionamiento y la integración de sensores en sistemas de monitoreo ambiental (temperatura, humedad, nutrientes).
- Conocer los medios de comunicación entre los microservicios del sistema y cómo garantizar su correcta interacción.
- Evaluar la experiencia del usuario en la aplicación web, analizando la usabilidad y accesibilidad de las funcionalidades ofrecidas.
- Integrar hardware y software de forma eficiente para ofrecer una solución completa de gestión de cultivos hidropónicos.
- Conocer las ventajas que aporta el uso de un bus de datos a la hora de evitar pérdidas de información.
- Desarrollar un módulo hidropónico diseñado específicamente para la aplicación.
- Analizar los datos obtenidos y realizar recomendaciones para el usuario.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se ha seguido una metodología ágil e incremental, gestionando el ciclo de vida del software a través de la plataforma GitHub como herramienta principal para el control de versiones y seguimiento del progreso. El trabajo se ha dividido en dos grandes etapas de aproximadamente tres meses cada una.

Durante la primera etapa, el objetivo principal fue obtener una primera versión del prototipo funcional,

enfocada en desarrollar un Producto Mínimo Viable (MVP) que incluyera las características básicas necesarias para validar el funcionamiento del sistema. En esta fase inicial se priorizó la integración de los componentes esenciales del sistema, como la captura de datos desde sensores, la visualización básica de información en la aplicación web y la ejecución de acciones automáticas simples.

La planificación del desarrollo se organizó en iteraciones de dos semanas, al final de las cuales se incorporaba al proyecto al menos una nueva funcionalidad que permitiera avanzar de forma continua y medible. Además, esta estructura permitió realizar pruebas parciales y corregir posibles errores antes de continuar con nuevas implementaciones.

Una vez validado el prototipo inicial, se llevó a cabo una segunda etapa, también de tres meses, centrada en el perfeccionamiento del sistema y el desarrollo de la versión final. En esta fase se añadieron mejoras tanto a nivel funcional como visual, incluyendo la optimización de la interfaz de usuario, la ampliación de las opciones de configuración y la integración completa de todas las funcionalidades planificadas para el producto final.

El uso de esta metodología ha permitido mantener un flujo de trabajo flexible y adaptativo, facilitando la incorporación de mejoras continuas y la resolución temprana de incidencias, lo que ha contribuido a obtener un sistema estable y operativo al finalizar cada ciclo de desarrollo.

Estructura del trabajo

Este trabajo se organiza en varios apartados que permiten guiar al lector a través de todas las fases del desarrollo del proyecto, desde su concepción hasta su evaluación final:

Capítulo 1: Análisis del problema

En esta sección se contextualiza la problemática que da origen al proyecto, detallando las necesidades detectadas y los objetivos que se persiguen. También se analizan las alternativas existentes y se justifican las tecnologías seleccionadas para abordar la solución.

Capítulo 2: Planificación y gestión del proyecto

Aquí se describe cómo se ha organizado el desarrollo del sistema, incluyendo la definición del alcance del trabajo, la distribución y calendarización de tareas, así como los recursos empleados a lo largo del proceso. Se detallan las estrategias seguidas para garantizar una gestión eficiente y controlada del proyecto.

Capítulo 3: Desarrollo de la solución

En este apartado se profundiza en la solución implementada, explicando de manera detallada el diseño del sistema, sus principales componentes y la arquitectura adoptada. Se justifica cada decisión técnica tomada y se describe cómo estas decisiones permiten cumplir con los objetivos planteados.

Capítulo 4: Validación y resultados

Esta sección recoge el proceso llevado a cabo para verificar el correcto funcionamiento del sistema, así como las pruebas realizadas. Además, se presentan los resultados obtenidos y se analiza hasta qué punto se han alcanzado los objetivos iniciales.

Capítulo 5: Conclusiones y futuras mejoras

Finalmente, se realiza una reflexión global sobre el trabajo desarrollado. Se exponen los principales retos y dificultades encontrados durante el proyecto, se valoran los resultados alcanzados y se proponen posibles líneas de mejora y evolución futura del sistema.

Anexo 1: Registro del desarrollo

Este anexo recoge de forma cronológica la evolución del proyecto, mostrando cómo ha progresado a lo largo del tiempo y los hitos más relevantes alcanzados.

Anexo 2: Guía de usuario

Incluye instrucciones claras y detalladas para facilitar al usuario la utilización de la aplicación, desde su puesta en marcha hasta el manejo de sus principales funcionalidades.

Anexo 3: Proyecto Ansible

Incluye un proyecto utilizado para la configuración automática del entorno de producción del proyecto. Su desarrollo permite el despliegue continuo en el entorno de despliegue, simplificando tareas complementarias al desarrollo.

Capítulo 1

Estudio del problema

En esta sección se realiza el estudio del contexto del problema, su estado en la actualidad y se define sus aspectos clave.

1.1 El contexto del problema

El Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el desarrollo de GreenhouseIOT, una aplicación web orientada a la gestión y supervisión de datos generados por un módulo hidropónico. La idea principal surge como una oportunidad para consolidar conocimientos en tecnologías actuales del ámbito del desarrollo web, además de obtener experiencia práctica en la creación de soluciones reales con proyección profesional.

El proyecto propone una herramienta capaz de monitorizar y almacenar los datos obtenidos a partir de sensores instalados en sistemas hidropónicos, permitiendo así un control preciso de variables críticas como temperatura, humedad o nivel de nutrientes. Todo ello está pensado para facilitar el seguimiento de estos cultivos en tiempo real desde una plataforma web intuitiva y accesible.

Gracias al uso de tecnologías modernas como React para el frontend, FastAPI para la lógica del backend, MariaDB como sistema de almacenamiento, junto con Kafka para el envío de datos y Docker para la contenerización de servicios, la aplicación busca ofrecer una solución completa para el seguimiento local de instalaciones hidropónicas.

1.2 El estado de la cuestión

El auge de la agricultura inteligente y, en particular, de los sistemas hidropónicos, ha impulsado el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas al monitoreo y gestión de cultivos mediante sensores IoT. A nivel industrial, existen plataformas robustas que ofrecen servicios avanzados de análisis de datos, control remoto y optimización de recursos, aunque muchas de estas soluciones están orientadas a explotaciones a gran escala y suponen altos costes de implementación.

En cambio, GreenhouseIoT surge como una alternativa pensada para instalaciones locales o de pequeña escala, proporcionando una plataforma sencilla, adaptable y sin grandes requerimientos técnicos para el usuario final. Mientras que otras herramientas del mercado priorizan la integración de sistemas complejos y centralizados, este proyecto apuesta por una arquitectura distribuida mediante microservicios, facilitando así su mantenimiento, escalabilidad y despliegue en diferentes entornos.

Para que una solución tecnológica de este tipo sea realmente útil en un sistema hidropónico, es fundamental entender las bases agronómicas del proceso. La hidroponía, en esencia, consiste en cultivar plantas sin necesidad de suelo, utilizando en su lugar soluciones nutritivas disueltas en agua. Esto permite un control más preciso sobre los factores que influyen en el desarrollo de las plantas, como la conductividad eléctrica (EC), la oxigenación del agua y la disponibilidad de nutrientes.

Comprender estos principios es vital para interpretar correctamente los datos recogidos por los sensores y realizar ajustes eficaces en tiempo real. Por ejemplo, en sistemas que emplean agua de ósmosis inversa —una opción común debido a su pureza y neutralidad química—, se requiere la adición controlada de sales minerales específicas para hidroponía. Estas sales aportan los macro y micronutrientes esenciales, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), entre otros.

El monitoreo de estos nutrientes no se realiza midiendo cada elemento por separado en el sistema, sino que se utilizan indicadores indirectos como la conductividad eléctrica (EC) para estimar la concentración total de sales disueltas en la solución nutritiva. Un nivel de EC demasiado bajo indicaría una carencia de nutrientes, mientras que uno excesivamente alto podría generar toxicidad o desequilibrios osmóticos en las raíces. Por ello, el sistema debe ser capaz de registrar y visualizar estos valores de forma accesible y comprensible para el usuario, permitiendo acciones correctivas rápidas y eficientes.

1.3 La definición del problema

En base al análisis previo, el problema principal que aborda este proyecto es la falta de soluciones accesibles y adaptadas a pequeñas instalaciones hidropónicas que permitan gestionar y visualizar de manera eficiente los datos recogidos por sensores IoT.

Con GreenhouseIoT se pretende cubrir las siguientes necesidades:

- Monitorización continua de parámetros ambientales relevantes (temperatura, humedad, nivel de agua, etc.).
- Almacenamiento ordenado y seguro de los datos generados por los sensores.

- Visualización clara e intuitiva de los datos históricos y en tiempo real desde una interfaz web.
- Comunicación eficiente entre los diferentes módulos del sistema.
- Facilitar la escalabilidad del sistema mediante una arquitectura basada en contenedores (Docker) y microservicios.

Además, uno de los objetivos clave de la aplicación es ofrecer una experiencia de usuario sencilla, que permita tanto la instalación como la gestión del sistema sin necesidad de conocimientos avanzados en tecnología o programación. A partir de una plataforma web accesible desde cualquier dispositivo, el usuario puede supervisar su módulo hidropónico, realizar consultas de los registros históricos y recibir recomendaciones basadas en los datos almacenados.

Con todo ello, GreenhouseIOT pretende ser una herramienta útil y práctica para impulsar el uso de la agricultura inteligente en proyectos locales y domésticos.

Capítulo 2

Gestión de proyecto software

2.1 Alcance del proyecto

En este apartado se describen las tareas necesarias para llevar a cabo el desarrollo de GreenhouseIOT, así como los recursos requeridos, la estimación de costes y los posibles riesgos asociados. La finalidad del proyecto es crear una aplicación web que permita monitorizar y gestionar los datos de sensores instalados en un módulo hidropónico, facilitando su visualización, análisis y almacenamiento de manera sencilla y eficiente para el usuario final.

La aplicación busca ofrecer una herramienta de apoyo a pequeñas instalaciones hidropónicas, proporcionando información en tiempo real y registros históricos que permitan optimizar el cultivo y anticipar posibles problemas en el entorno controlado.

2.1.1 Definición del proyecto

El proyecto consiste en el desarrollo de una plataforma web que permita a los usuarios supervisar y gestionar los datos de su módulo hidropónico. La aplicación incluirá funciones como:

- Visualización en tiempo real de datos ambientales (temperatura, humedad, nivel de nutrientes, etc.).
- Consulta de registros históricos y gráficas comparativas.
- Alertas ante valores críticos o anómalos detectados.
- Gestión del almacenamiento de datos mediante una base de datos relacional.
- Panel de administración básico para supervisar el sistema y verificar el estado de los distintos módulos.

La arquitectura estará dividida en 3 capas: origen de datos, persistencia y explotación, desarrolladas de manera paralela y coordinada, asegurando una integración continua y modular para facilitar su mantenimiento y escalabilidad.

La tecnología elegida para la capa de explotación es React, que permitirá diseñar una interfaz interactiva y dinámica para el usuario, en la capa de persistencia encontramos la base de datos y un contenedor desarrollado con Fastapi que permite interactuar con ella. Por último, en la capa de origen

de datos encontramos un servicio de Python que se encarga de preguntar a los módulos hidropónicos los datos de forma periódica y prepara esos datos para ser transportados por Kafka hacia la capa de persistencia.

Además, todo el entorno se desplegará utilizando contenedores Docker, asegurando así la portabilidad y estabilidad de la aplicación, independientemente del entorno de ejecución.

El sistema está diseñado para su funcionamiento a nivel local, pensado para pequeñas instalaciones hidropónicas que requieran una solución asequible, funcional y sencilla de implementar.

2.1.2 estimación de tareas y recursos

Tareas

El desarrollo del proyecto se organizará en tareas semanales, dentro de una metodología incremental que permitirá ir incorporando nuevas funcionalidades progresivamente. A lo largo del desarrollo se realizarán reuniones periódicas para revisar los avances, valorar posibles mejoras y ajustar las prioridades.

Entre las tareas principales previstas se encuentran:

- Diseño de la arquitectura de la aplicación y configuración inicial del entorno.
- Desarrollo del backend con FastAPI.
- Desarrollo del frontend con React.
- Integración de la base de datos MariaDB.
- Configuración y manejo de envío de datos mediante Kafka.
- Creación de pruebas funcionales para asegurar el correcto comportamiento de cada módulo.
- Despliegue de los servicios con Docker.
- Elaboración de documentación técnica y manual de usuario.
- Pruebas finales y validación del sistema.

Cada entrega de una nueva funcionalidad tendrá una duración estimada mínima de dos semanas, dependiendo de la complejidad y los recursos disponibles.

Recursos

Para el desarrollo de GreenhouseIOT se contemplan tanto recursos humanos como físicos:

Humanos

El equipo ideal del proyecto estaría compuesto por cuatro perfiles clave, cada uno enfocado en áreas específicas del desarrollo:

Jefe de proyecto: encargado de planificar, supervisar y coordinar todas las fases del desarrollo.

Backend developer: encargado de la implementación de la lógica de negocio, API y conexiones con la base de datos. Se encargaría del mantenimiento y configuración de la base de datos y de las tareas relacionadas con Docker. Desarrollaría prácticas de ci/cd para asegurar el correcto funcionamiento y entrega de las actualizaciones del sistema.

Frontend developer: responsable del desarrollo de la parte visual e interactiva de la plataforma. Se encargaría de conseguir una interfaz amigable para el usuario haciendo uso de librerías de componentes UI.

Encargado hardware: responsable del diseño de circuitos electrónicos, diseño de los componentes 3D, procesos de impresión 3D, montaje de módulos hidropónicos, desarrollo del código de microcontroladores esp32 y configuraciones derivadas.

Físicos

Los recursos físicos necesarios para llevar a cabo el proyecto son:

- Hardware: equipos informáticos para cada miembro del equipo, capaces de ejecutar entornos de desarrollo y contenedores de Docker de manera eficiente. El coste de la impresión 3D y materiales asociados a componentes del módulo.
- Software: no se prevén costes adicionales, ya que todas las tecnologías utilizadas son open source (React, FastAPI, MariaDB, Kafka y Docker).

2.1.3 Presupuesto

El presupuesto para el desarrollo de GreenhouseIoT se ha estimado considerando los costes asociados tanto a los recursos humanos como a los recursos físicos e infraestructurales necesarios para garantizar el correcto desarrollo del proyecto.

Recursos Humanos

El equipo de trabajo estará formado por los siguientes perfiles profesionales, junto con su coste mensual aproximado y la duración estimada del proyecto (3 meses):

Puesto	Coste por hora(€/h)	Horas de trabajo	Coste total (€)
Jefe de proyecto	30	216	6.480
Backend developer	25	352	8.800
Frontend developer	25	248	6.200
Encargado hardware	25	280	7.000

Figura 2. 1. Coste estimado de recursos humanos

Total, RRHH 28.480€

Nota: Se ha estimado un equipo reducido enfocado en cubrir las áreas críticas del proyecto, prescindiendo de perfiles secundarios para optimizar los costes. Otra opción más económica sería contratar a un desarrollador fullstack y alargar ligeramente la duración del desarrollo.

Recursos Físicos

Hardware:

Aquí se observa el listado de materiales necesarios para la realización de 1 módulo.

Nombre del recurso	Trabajo	Costo
Impresora 3D	1 und	319,00 €
Plástico PLA	3 bobina 850g	63,00 €
portátiles	4 und	1.716,00 €
Cableado	2 metros	22,98 €
DHT22	1 und	4,63 €
Sensor temperatura del agua	1 und	1,39 €
Sensor TDS	1 und	3,49 €
Fuente de alimentación	1 und	7,24 €
Regulador de voltaje	1 und	2,97 €
Foco led	1 und	5,79 €
Tornillería	1 caja	4,79 €
LDR	1 und	1,42 €
Resistencias	1 caja	2,92 €
Modulo 4x Relé	1 und	2,42 €
Conexiones	1 caja	9,80 €
ESP32 S3	1 und	6,03 €
ESP32 Cam	1 und	7,49 €
Contenedores	1 und	4,50 €
Oxigenador	1 und	2,49 €
Ventilador	1 und	1,54 €
Pegamento	1 caja	3,50 €
Tuercas inyección	1 caja	3,99 €
pcb	1 caja	2,84 €
lente 77mm	1 und	6,36 €
Nivel de agua	1 und	2,79 €
Soldador	1 kit	21,00 €
	Coste Total	2.230.37€

Figura 2. 2. Listado de materiales

En el presupuesto anterior vienen incluidos costes materiales asociados a la compra de equipos de montaje o producción. A continuación, se muestra el presupuesto mínimo que requiere la construcción de un segundo módulo, no se incluyen costes como la compra de la impresora 3D o de nueva tornillería ya que el gasto viene por caja y no siempre es necesario comprar más unidades.

Nombre del recurso	Trabajo	Costo
Plástico PLA	3 bobina 850g	63,00 €
Cableado	2 metros	22,98 €
DHT22	1 und	4,63 €
Sensor temperatura del agua	1 und	1,39 €
Sensor TDS	1 und	3,49 €
Fuente de alimentación	1 und	7,24 €

Regulador de voltaje	1 und	2,97 €
Foco led	1 und	5,79 €
LDR	1 und	1,42 €
Modulo 4x Relé	1 und	2,42 €
ESP32 S3	1 und	6,03 €
ESP32 Cam	1 und	7,49 €
Contenedores	1 und	4,50 €
Oxigenador	1 und	2,49 €
Ventilador	1 und	1,54 €
lente 77mm	1 und	6,36 €
Nivel de agua	1 und	2,79 €
Coste total		146,53 €

Figura 2. 3. Listado de materiales por módulo

Software: No se contemplan costes adicionales debido al uso exclusivo de herramientas y tecnologías open source como FastAPI, React, MariaDB, Kafka y Docker.

Costes Indirectos

Oficina: Se optará por el trabajo remoto por lo que no se aplican costes debidos a oficinas físicas.

Para el desarrollo y testeo de la aplicación será necesaria la construcción del por lo menos 1 módulo hidropónico inteligente.

En este caso se considerará que se construye solo el primer módulo ya que tras el desarrollo el cliente será responsable y propietario de la compra y mantenimiento del módulo físico.

Presupuesto Total

Concepto	Coste (€)
Recursos Humanos	28.480 €
Hardware	2.230.37€
Total	30.710,37€

Figura 2. 4. Presupuesto total

Este presupuesto está sujeto a posibles ajustes según la evolución del proyecto, cambios en los plazos o incorporación de nuevos requerimientos.

Coste total

Concepto	Coste (€)
Recursos Humanos	28.480 €
Hardware	2.230 €
Beneficio industrial (15 %)	4.607 €
Impuestos (I.V.A. 21 %)	7.417 €
Total del proyecto	42.733 €

Figura 2. 5. Costes con impuestos

2.2 Plan de trabajo

En esta sección se detalla cómo se han establecido las diferentes tareas del desarrollo de la aplicación GreenhouseIoT, así como el tiempo aproximado de dedicación a cada una. El plan de trabajo sigue una metodología incremental, permitiendo validar cada funcionalidad antes de avanzar a la siguiente, asegurando un desarrollo controlado y eficiente.

2.2.1 Identificación de tareas

Tareas de investigación del sector

Nombre de tarea
a) Investigación sobre el sector
b) Investigación sobre las tecnologías
c) Planificación de objetivos esperados
d) Estudio de viabilidad del proyecto
e) Creación de la identidad del producto
f) Diseño del primer boceto relativo a la interfaz de la aplicación y estructura
g) Planificación de metodología de desarrollo.

Figura 2. 6. Tareas de investigación

a) Investigación sobre el sector

Se llevó a cabo un estudio exploratorio para entender el contexto actual de la agricultura inteligente y el uso de módulos hidropónicos en pequeñas instalaciones. Este análisis permitió definir con precisión el alcance del sistema GreenhouseIOT.

b) Investigación sobre las tecnologías

Se investigaron herramientas modernas como React, FastAPI, Docker o Kafka, seleccionando las más adecuadas para la arquitectura distribuida del sistema. Esta fase resultó fundamental para garantizar una integración tecnológica eficiente.

c) Planificación de objetivos esperados

Se definieron los objetivos principales y secundarios del proyecto, delimitando funcionalidades clave a implementar. Esta etapa permitió estructurar las tareas de desarrollo con metas alcanzables en cada iteración.

d) Estudio de viabilidad del proyecto

Se evaluaron aspectos técnicos, económicos y de tiempo para confirmar que el proyecto era ejecutable

en el plazo y con los recursos disponibles. Se ajustaron prioridades para optimizar el proceso de desarrollo.

e) Creación de la identidad del producto

Se estableció la imagen de la plataforma, incluyendo nombre, paleta de colores y estilo visual. Esta identidad facilitará su futura expansión y diferenciación frente a soluciones similares.

f) Diseño del primer boceto relativo a la interfaz de la aplicación y estructura

Se elaboraron prototipos iniciales de la interfaz de usuario, priorizando la claridad, accesibilidad y facilidad de uso. Este diseño sirvió de base para el posterior desarrollo del frontend.

g) Planificación de metodología de desarrollo.

Se definió una estrategia basada en metodologías ágiles, con entregas iterativas, control de versiones mediante GitHub y pruebas continuas. Esta elección permitió adaptar el desarrollo a los cambios surgidos durante el proyecto.

Tareas de desarrollo

Nombre de tarea
GreenhouseIOT
Planificación inicial
a) Definición de la idea y requisitos
b) Diseño de la arquitectura base
c) Configuraciones del repositorio de código
d) Creación de la arquitectura del proyecto
Creación del módulo
e) Diseño del circuito eléctrico
f) Montaje del circuito
g) Diseño de la carcasa 3D
h) Impresión de la carcasa
i) Montaje del módulo
j) Programación del módulo
Origen de datos
k) Creación de la api de origen de datos
l) Programación del productor kafka
Persistencia de datos

m) Diseño de la base de datos
n) Creación de la base de datos
o) Creación de api para la base de datos
p) Programación del consumidor Kafka
Explotación de datos
q) Boceto diseño gráfico de la aplicación web
r) Desarrollo estructura básica de la web
s) Visualización de datos de ultima lectura
t) Visualización de datos haciendo uso de graficas
u) Paneles de configuración para automatizaciones
v) Lógica de gestión de múltiples módulos
Sistema visión artificial
w) Pagina dedicada para imágenes de los módulos
x) Recolección de dataset de imágenes
y) Entrenamiento de sistema de visión artificial
z) Creación de recomendaciones personalizadas para el usuario
Control de calidad
aa) Creación test automáticos para Apis
bb) Creación test automáticos para la web

Figura 2. 7. Tareas de desarrollo

Planificación inicial

a) Definición de la idea y requisitos

Se establecieron los objetivos funcionales y técnicos de la plataforma, así como los requisitos mínimos que debía cumplir cada uno de los módulos. Esta fase permitió fijar las expectativas del proyecto y orientar el diseño del sistema hacia la resolución de necesidades reales en el control de cultivos hidropónicos.

b) Diseño de la arquitectura base

Se optó por una arquitectura de microservicios desplegada con Docker, separando las capas de origen de datos, persistencia y explotación. Este enfoque garantiza la escalabilidad y permite mantener cada componente de forma independiente, favoreciendo el mantenimiento y evolución del sistema.

c) Configuraciones del repositorio de código

Se configuró un repositorio Git para almacenar y gestionar el código fuente, estableciendo ramas de

desarrollo, revisión y producción. También se añadieron flujos básicos de integración continua para automatizar pruebas y asegurar la calidad del software a lo largo del proyecto.

d) Creación de la arquitectura del proyecto

Se definieron las rutas internas de comunicación entre los servicios y se organizaron las carpetas y módulos del código según buenas prácticas. Esto facilitó el trabajo colaborativo y la modularización del sistema, permitiendo realizar cambios sin afectar otras partes del código.

Creación del módulo

e) Diseño del circuito eléctrico

Se diseñó el esquema electrónico del módulo hidropónico, determinando los sensores y actuadores necesarios para medir variables clave como temperatura, humedad, TDS y nivel de agua. Este diseño sirvió de referencia para el montaje físico y programación posterior del sistema.

f) Montaje del circuito

Tras definir el esquema eléctrico, se procedió a la integración física de los componentes en una placa base. Se soldaron y conectaron sensores, relés y microcontroladores, verificando la correcta comunicación entre todos los elementos del sistema.

g) Diseño de la carcasa 3D

Se creó un diseño 3D personalizado que alojara todos los componentes del sistema de forma compacta y funcional. Se emplearon herramientas de modelado para asegurar el acoplamiento entre piezas, facilitando tanto el montaje como el mantenimiento futuro del hardware.

h) Impresión de la carcasa

Utilizando una impresora 3D y filamento PLA, se imprimieron las distintas piezas del módulo hidropónico. Durante este proceso se ajustaron parámetros de impresión y tolerancias para garantizar la estabilidad estructural y la correcta colocación de los sensores y cableado.

i) Montaje del módulo

Una vez disponibles todas las piezas, se ensambló el módulo completo, incluyendo el encaje de sensores, conexión del circuito y pruebas preliminares de funcionamiento. Esta etapa permitió validar la parte física del sistema antes de comenzar con su programación.

j) Programación del módulo

Se desarrolló el código que permite al ESP32 recoger datos de los sensores, formatearlos y enviarlos al sistema mediante Kafka. También se configuraron rutinas automáticas que permiten ejecutar acciones como activar ventilación o iluminación en función de valores críticos.

Origen de datos

k) Creación de la api de origen de datos

Se desarrolló una API ligera en FastAPI que actúa como puente entre el módulo físico y el sistema. Esta API permite recibir solicitudes periódicas desde el microcontrolador y estructurar los datos antes de su envío, garantizando que la información fluya correctamente hacia las capas superiores del sistema.

l) Programación del productor Kafka

Se implementó un productor Kafka que toma los datos provenientes de la API y los envía a un topic específico en el sistema de mensajería. Este productor se encarga de asegurar que los datos lleguen de forma rápida y confiable al consumidor, permitiendo desacoplar la adquisición de datos de su posterior almacenamiento.

Persistencia de datos

m) Diseño de la base de datos

Se diseñó un esquema relacional en MariaDB para almacenar de forma estructurada todos los datos generados por los sensores. El diseño contempla la escalabilidad del sistema y permite la consulta eficiente de los registros históricos, incluyendo información por módulo y por fecha.

n) Creación de la base de datos

Se llevó a cabo la implementación práctica del modelo de datos definido, creando tablas, relaciones y restricciones necesarias. Además, se realizaron pruebas de integridad y rendimiento para asegurar un almacenamiento fiable y sin pérdidas de información.

o) Creación de api para la base de datos

Se desarrolló una API en FastAPI que actúa como intermediaria entre el frontend y la base de datos. Esta API permite acceder a los datos, aplicar filtros por fecha o tipo de módulo y realizar operaciones CRUD, todo ello respetando las reglas de seguridad y acceso definidas.

p) Programación del consumidor Kafka

El consumidor Kafka recibe los mensajes generados por el productor y los interpreta para insertarlos automáticamente en la base de datos. Se implementó un sistema de validación para asegurar que los datos sean coherentes y se almacenen correctamente sin duplicados ni errores.

Explotación de datos

q) Boceto diseño gráfico de la aplicación web

Se creó un prototipo visual de la interfaz gráfica utilizando principios de usabilidad y diseño centrado en el usuario. Este boceto incluyó la disposición de gráficos, menús y paneles interactivos, sirviendo como guía para el desarrollo del frontend en React.

r) Desarrollo estructura básica de la web

Se implementaron las rutas principales, componentes base y lógica de navegación de la plataforma. Esta estructura permite que el usuario acceda fácilmente a las diferentes funcionalidades, como la visualización de datos, configuración de módulos y consultas históricas.

s) Visualización de datos de ultima lectura

Se implementó un panel principal que muestra en tiempo real los valores más recientes de cada sensor del módulo hidropónico. Esta vista proporciona una lectura rápida del estado actual del cultivo, permitiendo al usuario actuar de inmediato si se detectan valores críticos.

t) Visualización de datos haciendo uso de graficas

Se integraron gráficas dinámicas que permiten al usuario visualizar la evolución de los datos registrados a lo largo del tiempo. Esta funcionalidad facilita el análisis del rendimiento del cultivo y ayuda a identificar patrones o anomalías en el entorno.

u) Paneles de configuración para automatizaciones

Se desarrollaron herramientas para que el usuario pueda definir reglas personalizadas de automatización, como activar el riego o la ventilación si se superan ciertos umbrales. Estos paneles convierten la plataforma en una solución inteligente, adaptable a diferentes tipos de cultivo.

v) Lógica de gestión de múltiples módulos

La aplicación fue diseñada para soportar varios módulos hidropónicos simultáneamente. Se creó una lógica de gestión que permite registrar, supervisar y configurar individualmente cada módulo desde la misma interfaz web, facilitando la expansión del sistema en el futuro.

Sistema visión artificial**w) Pagina dedicada para imágenes de los módulos**

Se incorporó una sección en la aplicación donde se muestran imágenes capturadas por las cámaras instaladas en los módulos. Esta funcionalidad permite al usuario observar el estado visual del cultivo y tener un control adicional mediante visión remota.

x) Recolección de dataset de imágenes

Se llevó a cabo la captura y almacenamiento de imágenes representativas de los cultivos en distintos estados. Este dataset sirvió como base para entrenar modelos de visión artificial, orientados a detectar situaciones anómalas como falta de luz, marchitamiento o sobrecrecimiento.

y) Entrenamiento de sistema de visión artificial

Utilizando aprendizaje automático, se entrenó un modelo que puede interpretar imágenes del módulo hidropónico y generar alertas automáticas ante condiciones desfavorables. Este sistema complementa la monitorización por sensores, añadiendo una capa adicional de supervisión.

z) Creación de recomendaciones personalizadas para el usuario

Basado en los datos recogidos y procesados (tanto numéricos como visuales), se generó un sistema de recomendaciones que sugiere acciones al usuario. Estas sugerencias ayudan a optimizar el cultivo y a prevenir errores comunes, mejorando el rendimiento general del sistema.

Control de calidad

a) Creación test automáticos para Apis

Se diseñaron e implementaron pruebas automatizadas que verifican el correcto funcionamiento de los endpoints de las APIs. Estas pruebas aseguran que las funcionalidades principales de la plataforma se mantengan operativas tras cualquier actualización o modificación del sistema.

b) Creación test automáticos para la web

Se desarrollaron pruebas para comprobar que la interfaz web responde correctamente ante diferentes interacciones del usuario. Se validó la carga de datos, la navegación entre secciones y el correcto despliegue de los gráficos, minimizando así errores en producción.

Tareas finales

Nombre de tarea
a) Documentación de producto
b) Creación de la memoria de desarrollo y producto
c) Corrección de errores
d) Tareas de mantenimiento

Figura 2. 8. Tareas finales

a) Documentación de producto

Se elaboró una documentación técnica que detalla la arquitectura del sistema, los componentes utilizados y la lógica de funcionamiento de cada módulo. Esta documentación está orientada a facilitar el mantenimiento del proyecto y su posible evolución por parte de futuros desarrolladores.

b) Creación de la memoria de desarrollo y producto

Se redactó la memoria oficial del Trabajo de Fin de Grado, recogiendo todo el proceso de desarrollo desde la concepción de la idea hasta la validación final. En ella se incluyen los fundamentos teóricos, decisiones técnicas, metodología utilizada y resultados obtenidos.

c) Corrección de errores

Durante esta fase se revisaron todas las funcionalidades del sistema, corrigiendo errores detectados en pruebas anteriores. Se depuró el código tanto del backend como del frontend, y se ajustaron pequeños detalles visuales y de rendimiento para mejorar la experiencia del usuario.

d) Tareas de mantenimiento

Se implementaron acciones preventivas y de mantenimiento para garantizar la estabilidad del sistema en el tiempo. Esto incluye la actualización de librerías, refactorización de código redundante y mejora de logs, así como una revisión general del entorno Dockerizado para asegurar compatibilidad futura.

2.2.2. Asignación de tareas y estimación

En esta sección se muestra la asignación de tareas y estimación de duraciones organizado por grupo de desarrollo asignado.

Figura 2. 9 Estimación de tareas

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Desarrollador backend	288 horas	39d
Creacion de la api de origen de datos	16 horas	2 días
<i>Desarrollador backend</i>	16 horas	
Programación del productor kafka	8 horas	1 día
<i>Desarrollador backend</i>	8 horas	
Diseño de la base de datos	8 horas	1 día
<i>Desarrollador backend</i>	8 horas	
Creación de la base de datos	8 horas	1 día
<i>Desarrollador backend</i>	8 horas	
Creación de api para la base de datos	16 horas	2 días
<i>Desarrollador backend</i>	16 horas	
Programación del consumidor Kafka	8 horas	1 día
<i>Desarrollador backend</i>	8 horas	
Recolección de dataset de imágenes	112 horas	14 días
<i>Desarrollador backend</i>	112 horas	
Entrenamiento de sistema de visión artificial	56 horas	7 días
<i>Desarrollador backend</i>	56 horas	
Creación test automáticos para apis	56 horas	7 días
<i>Desarrollador backend</i>	56 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Desarrollador backend;Desarrollador frontend	72 horas	33d
Lógica de gestión de multiples módulos	24 horas	3 días
<i>Desarrollador backend</i>	8 horas	
<i>Desarrollador frontend</i>	16 horas	
Creación de recomendaciones personalizadas para el usuario	48 horas	3 días

<i>Desarrollador backend</i>	24 horas	
<i>Desarrollador frontend</i>	24 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Desarrollador frontend	152 horas	52d
Desarrollo estructura básica de la web	56 horas	7 días
<i>Desarrollador frontend</i>	56 horas	
Visualización de datos de ultima lectura	8 horas	1 día
<i>Desarrollador frontend</i>	8 horas	
Visualización de datos haciendo uso de graficas	8 horas	1 día
<i>Desarrollador frontend</i>	8 horas	
Paneles de configuración para automatizaciones	16 horas	2 días
<i>Desarrollador frontend</i>	16 horas	
Pagina dedicada para imágenes de los módulos	8 horas	1 día
<i>Desarrollador frontend</i>	8 horas	
Creación test automáticos para la web	56 horas	7 días
<i>Desarrollador frontend</i>	56 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Desarrollador frontend;Jefe de proyecto	112 horas	7d
Boceto diseño gráfico de la aplicación web	112 horas	7 días
<i>Desarrollador frontend</i>	56 horas	
<i>Jefe de proyecto</i>	56 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Encargado hardware	168 horas	21d
Diseño del circuito eléctrico	112 horas	14 días
<i>Encargado hardware</i>	112 horas	
Programación del módulo	56 horas	7 días
<i>Encargado hardware</i>	56 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Encargado hardware	24 horas	3d
Montaje del circuito	24 horas	3 días

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Encargado hardware;Jefe de proyecto	64 horas	4d
Diseño de la carcasa 3D	64 horas	4 días
<i>Encargado hardware</i>	32 horas	
<i>Jefe de proyecto</i>	32 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Encargado hardware	40 horas	5d

Impresión de la carcasa	40 horas	5 días
-------------------------	----------	--------

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Encargado hardware	16 horas	2d
Montaje del módulo	16 horas	2 días

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Jefe de proyecto	56 horas	12d
Definición de la idea	40 horas	5 días
<i>Jefe de proyecto</i>	40 horas	
Configuraciones del repositorio de Código	16 horas	2 días
<i>Jefe de proyecto</i>	16 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Jefe de proyecto;Desarrollador backend	64 horas	4d
Creación de la arquitectura del proyecto	64 horas	4 días
<i>Desarrollador backend</i>	32 horas	
<i>Jefe de proyecto</i>	32 horas	

Nombre de tarea	Trabajo	Duración
Nombres de los recursos: Jefe de proyecto	40 horas	5d
Diseño de la arquitectura base	40 horas	5 días

2.2.3. Planificación de tareas

En la siguiente figura se observa un diagrama de Gantt con una vista general de la planificación completa del proyecto

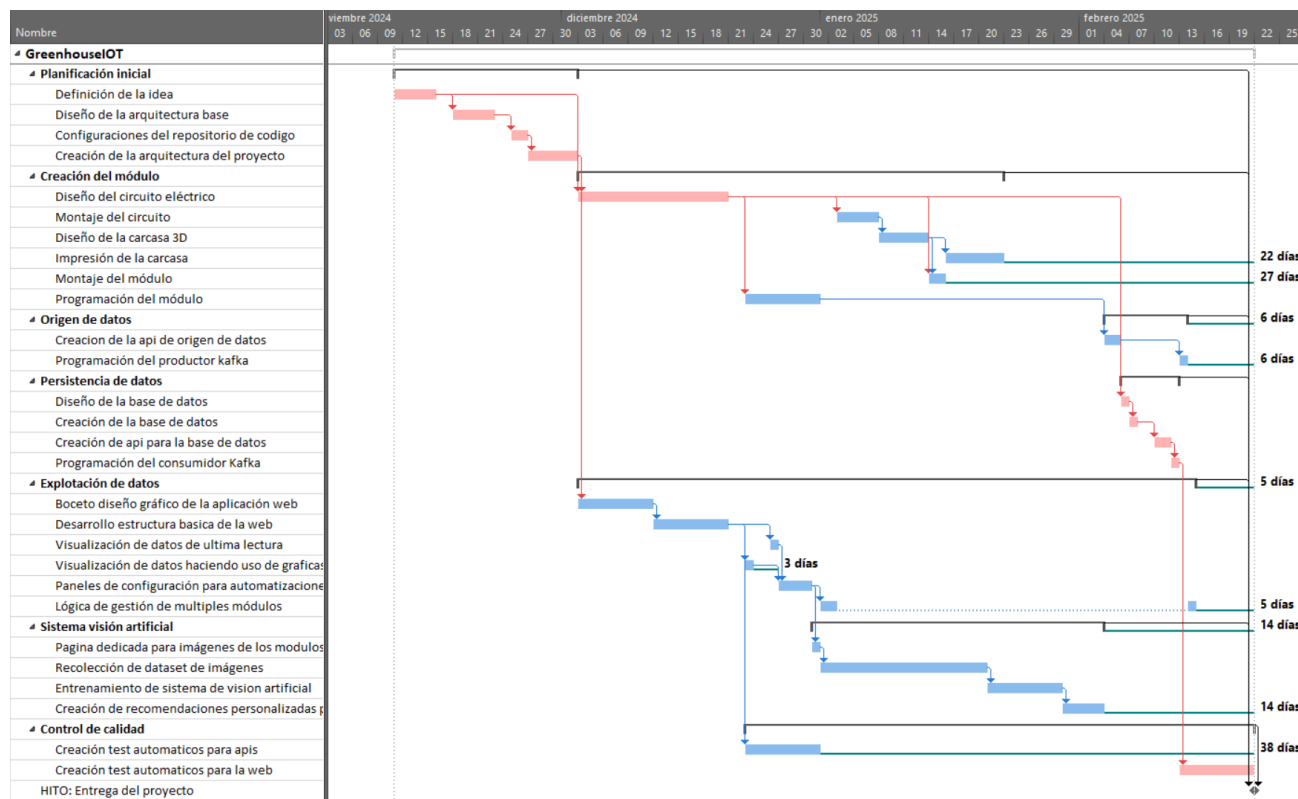


Figura 2. 10. Diagrama de Gantt

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de planificación concreta de desarrollo comprendida entre las fechas 11/11/24 y 21/02/25

Figura 2. 11. Ejemplo de planificación

Nombre	Duración	Comienzo	Fin
GreenhouseIoT	75 días	lun 11/11/24	vie 21/02/25
Planificación inicial	16 días	lun 11/11/24	lun 02/12/24
Definición de la idea	5 días	lun 11/11/24	vie 15/11/24
Diseño de la arquitectura base	5 días	lun 18/11/24	vie 22/11/24
Configuraciones del repositorio de código	2 días	lun 25/11/24	mar 26/11/24
Creación de la arquitectura del proyecto	4 días	mié 27/11/24	lun 02/12/24
Creación del módulo	37 días	mar 03/12/24	mié 22/01/25
Diseño del circuito eléctrico	14 días	mar 03/12/24	vie 20/12/24
Montaje del circuito	3 días	vie 03/01/25	mar 07/01/25

Diseño de la carcasa 3D	4 días	mié 08/01/25	lun 13/01/25
Impresión de la carcasa	5 días	jue 16/01/25	mié 22/01/25
Montaje del módulo	2 días	mar 14/01/25	mié 15/01/25
Programación del módulo	7 días	lun 23/12/24	mar 31/12/24
Origen de datos	8 días	mar 04/02/25	jue 13/02/25
creación de la api de origen de datos	2 días	mar 04/02/25	mié 05/02/25
Programación del productor kafka	1 día	jue 13/02/25	jue 13/02/25
Persistencia de datos	5 días	jue 06/02/25	mié 12/02/25
Diseño de la base de datos	1 día	jue 06/02/25	jue 06/02/25
Creación de la base de datos	1 día	vie 07/02/25	vie 07/02/25
Creación de api para la base de datos	2 días	lun 10/02/25	mar 11/02/25
Programación del consumidor Kafka	1 día	mié 12/02/25	mié 12/02/25
Explotación de datos	54 días	mar 03/12/24	vie 14/02/25
Boceto diseño gráfico de la aplicación web	7 días	mar 03/12/24	mié 11/12/24
Desarrollo estructura básica de la web	7 días	jue 12/12/24	vie 20/12/24
Visualización de datos de ultima lectura	1 día	jue 26/12/24	jue 26/12/24
Visualización de datos haciendo uso de graficas	1 día	lun 23/12/24	lun 23/12/24
Paneles de configuración para automatizaciones	2 días	vie 27/12/24	lun 30/12/24
Lógica de gestión de múltiples módulos	3 días	mié 01/01/25	vie 14/02/25
Sistema visión artificial	25 días	mar 31/12/24	lun 03/02/25
Pagina dedicada para imágenes de los módulos	1 día	mar 31/12/24	mar 31/12/24
Recolección de dataset de imágenes	14 días	mié 01/01/25	lun 20/01/25
Entrenamiento de sistema de visión artificial	7 días	mar 21/01/25	mié 29/01/25
Creación de recomendaciones personalizadas para el usuario	3 días	jue 30/01/25	lun 03/02/25
Control de calidad	45 días	lun 23/12/24	vie 21/02/25
Creación test automáticos para apis	7 días	lun 23/12/24	mar 31/12/24
Creación test automáticos para la web	7 días	jue 13/02/25	vie 21/02/25
HITO: Entrega del proyecto	0 días	vie 21/02/25	vie 21/02/25

2.3. Gestión de recursos

En este apartado se van a especificar cuáles han sido los diferentes recursos utilizados en el desarrollo. En la siguiente imagen se muestra el listado completo de recursos. Muchos de ellos cuentan con características particulares especificadas en el siguiente apartado.

Figura 2. 12. Gestión de recursos

Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de material	Iniciales	Grupo	Capacidad máxima	Tasa estándar	Tasa horas extra	Costo/Us	Acumular
Jefe de proyecto	Trabajo		J		100%	30,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorratio
Desarrollador frontend	Trabajo		D		100%	25,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorratio
Desarrollador backend	Trabajo		D		100%	25,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorratio
Encargado hardware	Trabajo		E		100%	25,00 €/hora	0,00 €/hora	0,00 €	Prorratio
Impresora 3D	Material	und	I			319,00 €		0,00 €	Comienzo
Plástico PLA	Material	bobina 850g	P			21,00 €		0,00 €	Comienzo
portátiles	Material	und	P			429,00 €		0,00 €	Comienzo
Cableado	Material	metros	C			11,49 €		0,00 €	Comienzo
DHT22	Material	und	D			4,63 €		0,00 €	Comienzo
Sensor temperatura del agua	Material	und	S			1,39 €		0,00 €	Comienzo
Sensor TDS	Material	und	S			3,49 €		0,00 €	Comienzo
Fuente alimentación de	Material	und	F			7,24 €		0,00 €	Comienzo
Regulador de voltaje	Material	und	R			2,97 €		0,00 €	Comienzo
Foco led	Material	und	F			5,79 €		0,00 €	Comienzo
Tornillería	Material	caja	T			4,79 €		0,00 €	Comienzo
LDR	Material	und	L			1,42 €		0,00 €	Comienzo
Resistencias	Material	caja	R			2,92 €		0,00 €	Comienzo
Modulo 4x Relé	Material	und	M			2,42 €		0,00 €	Comienzo
Conexiones	Material	caja	C			9,80 €		0,00 €	Comienzo
ESP32 S3	Material	und	E			6,03 €		0,00 €	Comienzo
ESP32 Cam	Material	und	E			7,49 €		0,00 €	Comienzo
Contenedores	Material	und	C			4,50 €		0,00 €	Comienzo
Oxigenador	Material	und	O			2,49 €		0,00 €	Comienzo
Ventilador	Material	und	V			1,54 €		0,00 €	Comienzo
Pegamento	Material	caja	P			3,50 €		0,00 €	Comienzo
Tuercas inyección	Material	caja	T			3,99 €		0,00 €	Comienzo
pcb	Material	caja	p			2,84 €		0,00 €	Comienzo

lente 77mm	Material	und	I			6,36 €		0,00 €	Comienzo
Nivel de agua	Material	und	N			2,79 €		0,00 €	Comienzo
Soldador	Material	kit	S			21,00 €		0,00 €	Comienzo

2.3.1. Especificación de recursos

La elección de los recursos utilizados en este proyecto no se ha basado únicamente en su disponibilidad, sino que ha seguido criterios técnicos, económicos y de compatibilidad con el entorno de desarrollo propuesto.

Por ejemplo, el microcontrolador ESP32 S3 fue seleccionado por su bajo consumo energético, integración nativa de WiFi/Bluetooth y suficiente capacidad de cómputo para manejar tareas de adquisición y envío de datos en tiempo real.

Asimismo, se optó por sensores como el DHT22 y DS18B20 por su fiabilidad y facilidad de integración mediante protocolos digitales, facilitando su conexión directa al ESP32 sin necesidad de conversores adicionales.

En cuanto a la impresión 3D, la impresora Ender-3 V3 KE permite obtener piezas funcionales a bajo coste con una calidad suficiente para soportar las condiciones del entorno hidropónico, especialmente gracias al uso de PLA+, que ofrece mayor resistencia térmica y mecánica que el PLA convencional.

Figura 2. 13. Especificación de recursos

Nombre del recurso	Tipo	Modelo / Especificaciones	Observaciones	Nombre del recurso
Impresora 3D	Hardware	Máximo 500 mm/s, extrusor Sprite, admite múltiples filamentos	Control por WiFi, USB y teléfono	Impresora 3D
Filamento PLA+	Consumible	850g, Ø 1.75 mm, 212-230 °C	Compatible con la impresora	Filamento PLA+
Portátiles	Hardware	HP 255 G9, Ryzen 5 5625U, 8GB RAM, 512GB SSD, 15.6"	Uso en desarrollo	Portátiles
Cableado	Material	Cable rígido 22AWG, 2m, núcleo de cobre sólido	Para conexión entre componentes	Cableado
Sensor DHT22	Electrónico	Temp: -40°C a 80°C, Hum: 0-100% RH, Precisión: ±0.5°C y ±2% RH	Sensor combinado de temperatura y humedad	Sensor DHT22
Sensor de temperatura agua	Electrónico	DS18B20, Rango: -55°C a +125°C, 3-	Apto para inmersión	Sensor de temperatura agua

		5.5V, resolución 9-12 bits		
Sensor TDS	Electrónico	Rango señal: 0-2.3V, Voltaje: 3.3-5.5V, señal AC	Mide sólidos disueltos en agua	Sensor TDS
Fuente de alimentación	Electrónico	12V, 6A, 72W	Suministro general de energía	Fuente de alimentación
Regulador de voltaje	Electrónico	XL4016 DC-DC, entrada: 5-40V, salida: 1.2-35V, máx. 9A	Módulo reductor ajustable	Regulador de voltaje
Foco LED	Iluminación	5V, cuerpo de aluminio, intensidad ajustable	Luz de crecimiento para el cultivo	Foco LED
Tornillería	Consumible	M2/M3, 100 unidades de tornillos y tuercas por tamaño	Para montaje de estructuras	Tornillería
LDR	Electrónico	Fotoresistencia 5528	Detecta intensidad lumínica	LDR
Resistencias	Electrónico	Kit 600 unidades, varios valores	Uso general en circuitos	Resistencias
Módulo 4x Relé	Electrónico	HW-316A, 5V, alimentación unificada, LEDs indicadores	Control de actuadores eléctricos	Módulo 4x Relé
Conexiones	Material	Conectores DC macho-hembra 12V, pack de 5 pares	Compatibles con 5V y 12V	Conexiones
ESP32 S3	Microcontrolador	N16R8, 44 pines, WiFi, Bluetooth, PSRAM	Control principal del módulo	ESP32 S3
ESP32-CAM	Microcontrolador	Módulo con cámara OV2640, WiFi	Para visión remota del cultivo	ESP32-CAM
Contenedores	Estructura	Contenedor plástico estándar	Soporte físico para las plantas	Contenedores
Oxygenador	Electrónico	G613A, 5V, 1W	Mantiene oxigenación del agua	Oxygenador
Ventilador	Electrónico	6010, 5V, 60x60x10 mm, 3500 rpm	Control de temperatura y humedad	Ventilador
Tuercas de inserción	Material	Latón, 220 unidades, varios diámetros	Inserción térmica en PLA	Tuercas de inserción
PCB	Material	Placa 3x7 cm, doble cara, 10 unidades	Para montaje de circuitos	PCB

Lente 77 mm	Óptico	Lente estándar de cámara	Complemento para visión con ESP32-CAM	Lente 77 mm
Sensor de nivel de agua	Electrónico	Sensor sin contacto, 3.3-5V	Para detección de nivel de agua	Sensor de nivel de agua
Soldador	Herramienta	Estación digital 60W, 200-480°C	Ensamblaje de circuitos	Soldador

2.4. Gestión de riesgos

El desarrollo de GreenhouseIOT, al igual que cualquier proyecto tecnológico, está sujeto a una serie de riesgos que pueden afectar negativamente al cumplimiento de plazos, calidad del producto o disponibilidad de recursos. La gestión de riesgos se ha enfocado en su identificación temprana, análisis de impacto y definición de medidas preventivas o correctoras.

2.4.1. Identificación de riesgos

A continuación, se detallan los principales riesgos detectados y las estrategias adoptadas para su mitigación:

Figura 2. 14. Identificación de riesgos

ID	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Medidas preventivas/correctoras
R1	Fallo de hardware durante pruebas	Media	Alta	Duplicar sensores y componentes críticos. Validación previa en entorno controlado.
R2	Retrasos en el desarrollo de alguna capa del sistema	Alta	Media	Desarrollo paralelo con entregas iterativas. Revisión semanal del progreso.
R3	Dificultades de integración entre microservicios	Media	Alta	Uso de APIs bien documentadas y pruebas automatizadas de integración.
R4	Errores de comunicación entre hardware y software	Media	Alta	Pruebas exhaustivas del protocolo de comunicación y manejo de errores en firmware.
R5	Cambios de requisitos del usuario final	Baja	Media	Aplicación de metodología ágil. Flexibilidad en el desarrollo por iteraciones.

R6	Pérdida o corrupción de datos	Baja	Media	Uso de base de datos con copias de seguridad periódicas. Validación de datos en entrada.
R7	Escasa respuesta de la comunidad sobre tecnologías usadas	Baja	Baja	Documentación oficial, foros de desarrolladores y recursos educativos complementarios.

Matriz de análisis de riesgos

A continuación, se presenta una matriz de riesgos que permite priorizar las amenazas en función de su impacto y probabilidad:

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo
Fallo de hardware durante pruebas	Media	Alta	Alto
Retrasos en el desarrollo	Alta	Media	Alto
Problemas de integración	Media	Alta	Alto
Errores en la comunicación HW/SW	Media	Alta	Alto
Cambios de requisitos	Baja	Media	Medio
Pérdida o corrupción de datos	Baja	Media	Medio

Figura 2. 15. Tabla de análisis de riesgos

2.5. Legislación y normativa

Durante el desarrollo de GreenhouseIOT se han tenido en cuenta diversas normativas aplicables tanto desde el punto de vista técnico como legal. La aplicación se orienta al uso doméstico y educativo, sin implicaciones industriales o comerciales directas, pero aun así se ha optado por cumplir con buenas prácticas generales de seguridad y estándares de calidad.

Normativa técnica aplicada

- UNE 157001:2004: Normas para la redacción de proyectos, en cuanto a estructura y requisitos formales del documento.
- UNE-EN 61010-1: Seguridad en equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.

Aplicable al diseño de los circuitos electrónicos.

- Reglamento de instalaciones eléctricas de baja tensión (REBT): Para asegurar que los módulos contruidos cumplen con requisitos de seguridad eléctrica si se emplean en entornos domésticos.
- UNE-EN ISO/IEC 27001 (referencial): Aunque no se certifica el sistema, se han tenido en cuenta principios de esta norma sobre seguridad de la información, como la protección de datos y control de accesos a la base de datos.

Legislación sobre protección de datos

Aunque los datos recogidos por el sistema no incluyen información personal, si en versiones futuras se introduce autenticación de usuarios o almacenamiento de preferencias, será obligatorio cumplir con el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), asegurando el tratamiento seguro de cualquier información de carácter personal.

Capítulo 3

Solución

En esta sección se va a explicar detalladamente todo el proceso de desarrollo.

3.1. Descripción de la solución

GreenhouseIOT es un sistema distribuido basado en microservicios orientado a la gestión de datos procedentes de invernaderos inteligentes. La solución propuesta responde a la necesidad de supervisión remota de condiciones ambientales en cultivos mediante tecnologías modernas, modulares y escalables.

La arquitectura del sistema se ha dividido en cuatro capas principales:

Capa de origen de datos (Data Source): implementada mediante microcontroladores ESP32 con sensores DHT22 conectados, encargados de tomar lecturas de temperatura y humedad y transmitirlas a través de la red Wi-Fi. En esta capa englobaríamos una api dedicada a la preparación de los datos para ser enviados a través de un bus de streaming Kafka

Capa de procesamiento (Data Processing): un microservicio desarrollado en Python que consume los datos publicados en el bus Kafka. También se encarga de actuar como interfaz REST para trabajar con la base de datos

Capa de persistencia (Data Persistence): una base de datos relacional MariaDB que almacena la información ya estructurada para su consulta posterior.

Capa de explotación (Data Mining): una interfaz de usuario construida con React que permite consultar, visualizar y analizar los datos mediante gráficas e informes.

Cada capa se ha implementado como un contenedor Docker, facilitando el despliegue, aislamiento y escalabilidad del sistema. Se ha optado por esta estructura para permitir actualizaciones independientes y mantenimiento modular.

3.2. El proceso de desarrollo

3.2.1. Análisis

En esta fase se estudiaron los requisitos funcionales del sistema, que incluyen:

- Recolección periódica de datos ambientales.
- Envío automático de los datos al servidor de procesamiento.
- Validación de los datos recibidos (rango, formato, frecuencia).
- Almacenamiento estructurado en una base de datos SQL.
- Visualización de los datos mediante una interfaz web.
- Modularidad para permitir la integración futura de nuevos sensores (luz, CO2, etc.).

El siguiente listado muestra los requisitos que debe cumplir el sistema

Requisitos funcionales

RF 1: El sistema debe permitir la recepción automática de datos desde sensores IoT.

RF 2: El sistema debe procesar y validar los datos antes de almacenarlos.

RF 3: Los datos deben almacenarse en una base de datos estructurada y relacional.

RF 4: La interfaz web debe permitir visualizar la información en tiempo casi real.

RF 5: Los usuarios deben poder seleccionar un invernadero específico para visualizar sus datos.

RF 6: Los datos deben representarse mediante etiquetas, gráficos y tablas.

RF 7: El sistema debe enviar alertas visuales si los valores superan ciertos umbrales.

RF 8: El sistema debe listar los módulos conectados y desconectados.

RF 9: El usuario podrá solicitar la descarga de datos de los módulos asociados a su cuenta.

RF 10: El sistema debe ofrecer la posibilidad de exportar los datos en formato CSV.

RF 11: La interfaz debe permitir el filtrado de datos por fecha y tipo de sensor.

RF 12: La API debe aceptar datos en formato JSON desde dispositivos remotos.

RF 13: El sistema debe admitir múltiples invernaderos con datos independientes.

RF 14: Cada módulo debe tener un identificador único para su trazabilidad.

RF 15: El sistema debe registrar la fecha y hora exacta de cada medición.

RF 16: La interfaz debe mostrar la última medición registrada para cada sensor.

RF 17: El sistema debe iniciarse automáticamente cuando se despliegue mediante Docker.

RF 18: La interfaz debe estar adaptada para su uso desde ordenador, Tablet y móvil.

RF 19: El usuario debe poder consultar el histórico de lecturas por invernadero.

RF 20: El sistema debe mostrar un resumen estadístico de los datos.

Requisitos no funcionales

RNF 1: El sistema debe ser tolerante a fallos de red temporales.

RNF 2: El sistema debe tener una latencia de respuesta inferior a 1 segundo en la visualización.

RNF 3: El sistema debe ejecutarse en cualquier sistema operativo que soporte Docker.

RNF 4: El sistema debe ser modular para permitir el reemplazo independiente de cada servicio.

RNF 5: El sistema debe permitir la integración futura con servicios en la nube (por ejemplo, VPS).

RNF 6: La base de datos debe realizar copias de seguridad automáticas.

RNF 7: La arquitectura debe estar preparada para añadir sensores adicionales sin rediseñar el sistema completamente.

RNF 8: La seguridad debe incluir validación de origen de datos.

RNF 9: El sistema debe ser capaz de manejar múltiples dispositivos simultáneamente.

Especificación de requisitos

En esta sección se especifican los principales casos de uso

Caso de uso 1

Descripción: Recepción automática de datos

Actores: Módulo IoT (sensor), API

Precondiciones: El módulo debe estar encendido y tener conexión de red

Flujo básico:

1. El módulo IoT recoge datos del entorno (temperatura, humedad, etc.)
2. Los datos son enviados vía HTTP en formato JSON a la API
3. La API recibe la información correctamente

Post condiciones: Los datos se registran en el sistema para su posterior validación y almacenamiento

Caso de uso 2

Descripción: Validación y procesamiento de datos

Actores: API, sistema de validación

Precondiciones: Se ha recibido un paquete de datos

Flujo básico:

1. El sistema comprueba si el JSON recibido contiene los campos esperados
2. Se validan los tipos de dato y los rangos válidos
3. Si los datos son correctos, se procesan

Excepciones:

- Si el JSON está malformado, se descarta
- Si los valores son incoherentes, se descarta

Post condiciones: Solo los datos válidos se almacenan

Caso de uso 3

Descripción: Almacenamiento en base de datos

Actores: Sistema de persistencia, base de datos

Precondiciones: El dato ya ha sido validado

Flujo básico:

1. El sistema genera una consulta SQL
2. Se inserta el dato en la tabla correspondiente del invernadero

Post condiciones: El dato queda persistido en la base de datos relacional

Caso de uso 4

Descripción: Visualización en tiempo real

Actores: Usuario, sistema de visualización

Precondiciones: Hay datos recientes en la base de datos

Flujo básico:

1. El usuario accede a la interfaz
2. La interfaz solicita los datos más recientes
3. Los datos se muestran en pantalla

Post condiciones: El usuario ve las últimas mediciones

Caso de uso 5

Descripción: Selección de invernadero

Actores: Usuario

Precondiciones: El usuario debe tener acceso a al menos un invernadero

Flujo básico:

1. Se listan los invernaderos disponibles
 2. El usuario selecciona uno
 3. El sistema filtra los datos asociados a ese invernadero
-

Caso de uso 6

Descripción: Representación de datos en gráficos/tablas

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El usuario entra a la vista de datos
 2. Se renderizan los datos con etiquetas, gráficos y/o tablas
-

Caso de uso 7

Descripción: Alertas por valores fuera de umbral

Actores: Sistema

Precondiciones: Se ha recibido una medición

Flujo básico:

1. El sistema compara el valor con los umbrales definidos
2. Si se supera, se genera una alerta visual

Post condiciones: Se alerta al usuario en la interfaz

Caso de uso 8

Descripción: Listar módulos conectados/desconectados

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El sistema comprueba qué módulos han enviado datos recientemente
 2. Muestra una lista diferenciando los activos y los inactivos
-

Caso de uso 9

Descripción: Descarga de datos

Actores: Usuario

Precondiciones: El usuario tiene permisos

Flujo básico:

1. El usuario solicita la descarga de datos
 2. El sistema genera el archivo
 3. El archivo se pone a disposición para descarga
-

Caso de uso 10

Descripción: Exportación a CSV

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El usuario selecciona rango de fechas y sensor
 2. El sistema genera el archivo .CSV correspondiente
-

Caso de uso 11

Descripción: Filtrado por fecha y sensor

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El usuario selecciona los filtros
 2. El sistema muestra solo los datos que cumplen los criterios
-

Caso de uso 12

Descripción: Recepción de JSON desde dispositivo

Actores: Módulo IoT, API

Flujo básico:

1. El dispositivo envía un JSON con los datos
 2. La API lo recibe y lo interpreta
-

Caso de uso 13

Descripción: Soporte para múltiples invernaderos

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El sistema permite cambiar entre invernaderos
 2. Los datos cambian automáticamente
-

Caso de uso 14

Descripción: Identificador único de módulo

Actores: Sistema

Precondiciones: Cada módulo debe tener un ID asignado

Flujo básico:

1. El sistema utiliza el ID para identificar el origen del dato
 2. El dato se asocia correctamente al módulo correspondiente
-

Caso de uso 15

Descripción: Registro de timestamp de la medición

Actores: Sistema

Flujo básico:

1. Al recibirse el dato, se registra la fecha y hora exacta de captura
-

Caso de uso 16

Descripción: Mostrar última medición

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El sistema obtiene la medición más reciente para cada sensor
 2. La presenta en la vista principal
-

Caso de uso 17

Descripción: Inicio automático con Docker

Actores: Sistema

Flujo básico:

1. El contenedor Docker se levanta
 2. Todos los servicios se inician automáticamente
-

Caso de uso 18

Descripción: Diseño responsive

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El usuario accede desde cualquier dispositivo
2. La interfaz se adapta a la pantalla

Caso de uso 19

Descripción: Consultar histórico de datos

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El usuario indica rango de fechas
 2. El sistema recupera y muestra los datos
-

Caso de uso 20

Descripción: Ver resumen estadístico

Actores: Usuario

Flujo básico:

1. El sistema calcula valores medios, máximos y mínimos
2. Los datos son mostrados al usuario en la interfaz

Criterios de calidad del sistema

Fiabilidad y tolerancia a fallos

Requisito no funcional 1

Criterio de calidad: El sistema debe ser tolerante a fallos de red temporales, asegurando que los datos no se pierdan si hay desconexiones breves. Para ello, se implementará una lógica de reintentos en los módulos IoT y almacenamiento temporal local si el envío falla.

Requisito no funcional 8

Criterio de calidad: La seguridad debe garantizar que solo datos de origen legítimo sean aceptados. Se utilizarán comprobaciones para validar cada módulo.

Rendimiento

Requisito no funcional 2

Criterio de calidad: El sistema debe tener una latencia de respuesta inferior a 1 segundo en la interfaz web. Esto se asegura mediante consultas optimizadas y renderizado eficiente con React.

Requisito no funcional 9

Criterio de calidad: El sistema debe ser capaz de manejar múltiples dispositivos simultáneamente. Para ello, se utilizará FastAPI por su rendimiento asíncrono y una arquitectura desacoplada mediante microservicios en contenedores.

Portabilidad y despliegue

Requisito no funcional 3

Criterio de calidad: El sistema debe ejecutarse en cualquier sistema operativo que soporte Docker, permitiendo compatibilidad multiplataforma (Windows, Linux, macOS).

Requisito no funcional 4

Criterio de calidad: El sistema debe ser modular. Cada componente (procesamiento, base de datos, frontend) es independiente y desplegable por separado para facilitar el mantenimiento y la escalabilidad.

Escalabilidad y extensibilidad

Requisito no funcional 5

Criterio de calidad: La arquitectura debe permitir integrarse fácilmente con servicios en la nube, como VPS o plataformas como AWS/Azure, gracias al uso de contenedores y estandarización de servicios vía API.

Requisito no funcional 7

Criterio de calidad: La arquitectura debe estar preparada para añadir nuevos tipos de sensores sin rediseñar el sistema. Esto se logra mediante un esquema flexible en la base de datos y controladores de entrada adaptables.

Integridad y disponibilidad de datos

Requisito no funcional 6

Criterio de calidad: La base de datos debe contar con un sistema de copias de seguridad automáticas, programadas para garantizar la disponibilidad y recuperación ante fallos.

3.2.2. Diseño

Durante el diseño se definieron los diagramas de arquitectura, las interfaces entre microservicios, y la estructura de la base de datos.

La comunicación entre la capa de origen y procesamiento se realizó inicialmente vía HTTP mediante una API REST sencilla.

La base de datos fue diseñada con una tabla principal de lecturas de datos, con claves foráneas hacia una tabla de invernaderos.

La arquitectura fue desarrollada a partir del esquema proporcionado por la empresa HPE CDS durante la realización de prácticas.

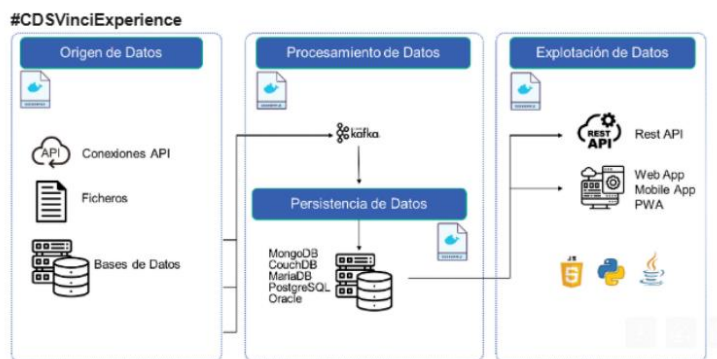


Figura 3. 1. Esquema de capas

La arquitectura se adapta todo lo posible a la imagen anterior, exceptuando algunas implementaciones particulares que fueron necesarias para GreenhouseIOT

Patrones arquitectónicos utilizados

El sistema se ha construido siguiendo principios de arquitectura basada en microservicios, adoptando además ciertos patrones bien establecidos:

- **API Gateway:** cada cliente (la interfaz web) se comunica exclusivamente con la API de backend, que centraliza y abstrae la lógica interna del sistema.
- **Productor-Consumidor asíncrono (Kafka):** utilizado para desacoplar la recolección de datos (productor) del almacenamiento persistente (consumidor).
- **Separación de responsabilidades (SoC):** cada microservicio tiene una función concreta (origen, persistencia, visualización) y puede escalarse de forma independiente.

Esta estrategia facilita no solo la escalabilidad futura del sistema sino también su mantenimiento, ya que cualquier fallo o mejora puede abordarse de manera modular.

3.2.3. Implementación

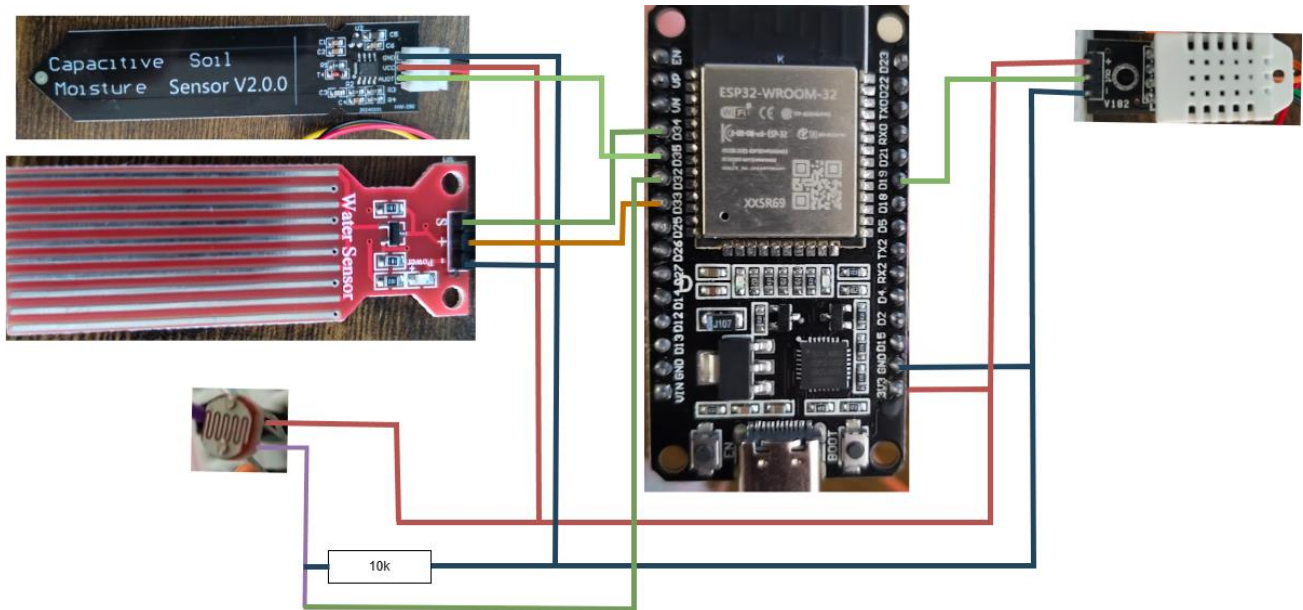
El desarrollo del sistema se puede organizar en dos versiones diferenciadas. El objetivo de la primera versión fue el desarrollo de un MPV que permitiese ver las funciones más básicas del sistema. Una vez se consiguió esta versión, se analizó los puntos fuertes, los puntos débiles y la proyección a futuro del sistema para terminar consiguiendo una segunda versión mucho más completa y estable.

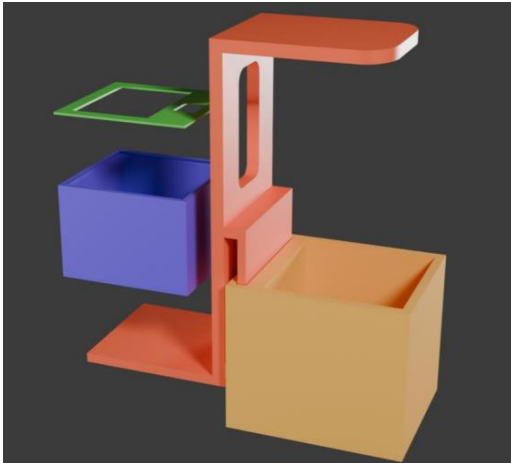
MPV Desarrollo detallado y resultados

La primera etapa del desarrollo fue la implementación de las diferentes capas. Se profundizó en su correcta contenerización haciendo uso de Docker. Posteriormente se completaron las configuraciones necesarias para el correcto funcionamiento de las comunicaciones entre capas haciendo uso de Docker Compose.

Capa de origen de datos

La capa de datos se encuentra en una versión estable que implementa la API y el productor kafka. Funciona correctamente y los datos son almacenados en el bus kafka. De forma extra, se ha diseñado un prototipo de circuito eléctrico para los sensores del módulo de micro invernadero. El prototipo ha sido montado y se ha programado un programa simple que recoge los datos de los sensores de forma periódica. El programa se ejecuta en una placa de desarrollo ESP32 y los datos son enviados a la API para su posterior envío por kafka.





Sección naranja: Contenedor del sustrato

Sección roja: Estructura principal del módulo

Sección azul: Contenedor de circuitería

Sección verde: Tapa con orificios para sacar sensores y cableado.

Figura 3. 3. Renderizado primer prototipo

El módulo fue impreso en 3D y ensamblado. Se realizaron varios intentos de diseño y reimpresión hasta obtener un resultado pulido.

El microcontrolador incorpora un servidor web para realizar configuraciones.

Además, se incorporan endpoints para su configuración remota.

Capa de procesamiento y persistencia

La capa de procesamiento y persistencia implementa actualmente la base de datos y la api que permite su acceso. Faltan por desarrollar algunos endpoints pero los principales funcionan correctamente. Se ha implementado el consumidor kafka y recibe los datos correctamente. Faltan algunas configuraciones específicas para futuros activadores incorporados en el modulo.

Capa de explotación de datos

La capa de explotación de datos fue uno de los principales puntos débiles de esta primera versión. Se desarrolló usando la tecnología Reflex, framework que permite el desarrollo de páginas web haciendo uso únicamente de Python.

Se consiguió una web funcional que permitía al usuario la visualización de los datos y realizar algunas configuraciones, pero los tiempos de carga de cada sección eran demasiado extensos. Estos tiempos de carga se debían a que Reflex compila los archivos Python a tecnologías web tradicionales cuando el usuario entraba por primera vez a cada página. Los tiempos de carga llegaban a superar los 40 segundos en algunas ocasiones. Para el estilado de la web no se usó ninguna tecnología específica ya que Reflex fue construido haciendo uso de librerías de componentes populares como ChakraUI y

RadixUI.

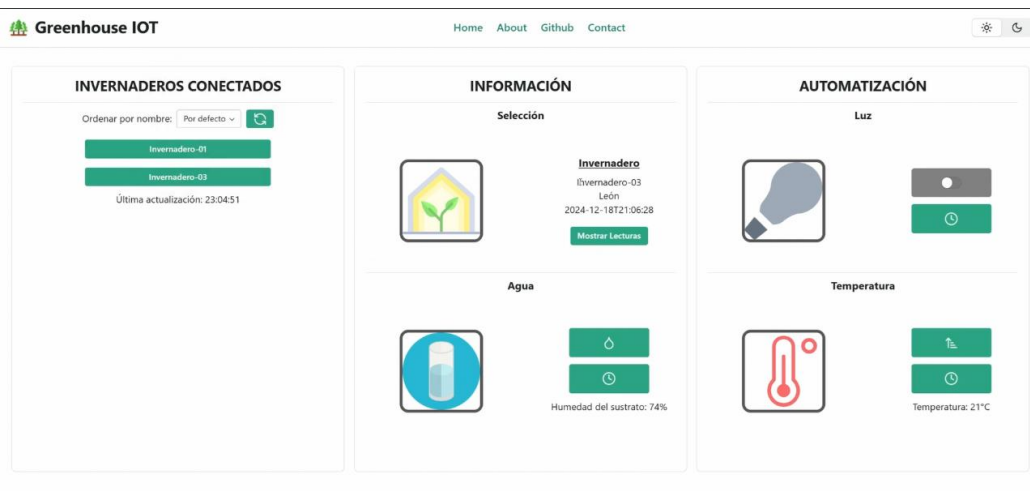


Figura 3. 4. interfaz MPV en modo claro

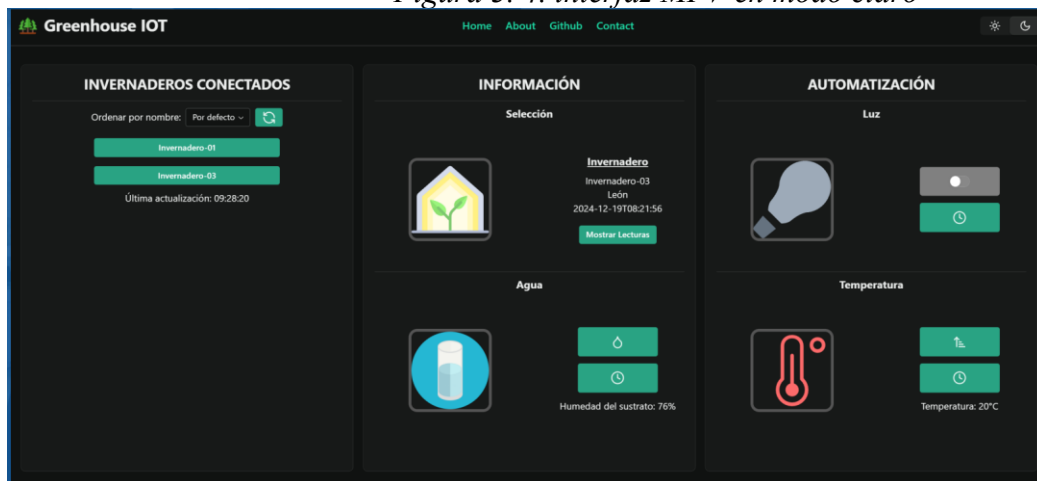


Figura 3. 5 interfaz MPV en modo oscuro

Como un resumen de las tecnologías principales usadas se adjunta la siguiente imagen



Figura 3. 6. Ilustración de tecnologías

Una vez se terminó este prototipo se cerró el desarrollo de esta primera versión creando en el repositorio de GitHub un reléase con la etiqueta de versión 1.0.0

Versión final. Desarrollo detallado y resultados

Para la realización de esta segunda versión se tomaron en cuenta las debilidades de la primera versión y se tomaron decisiones de rediseño en ciertas áreas. En el siguiente diagrama se muestra la estrategia de despliegue de la aplicación de forma general.

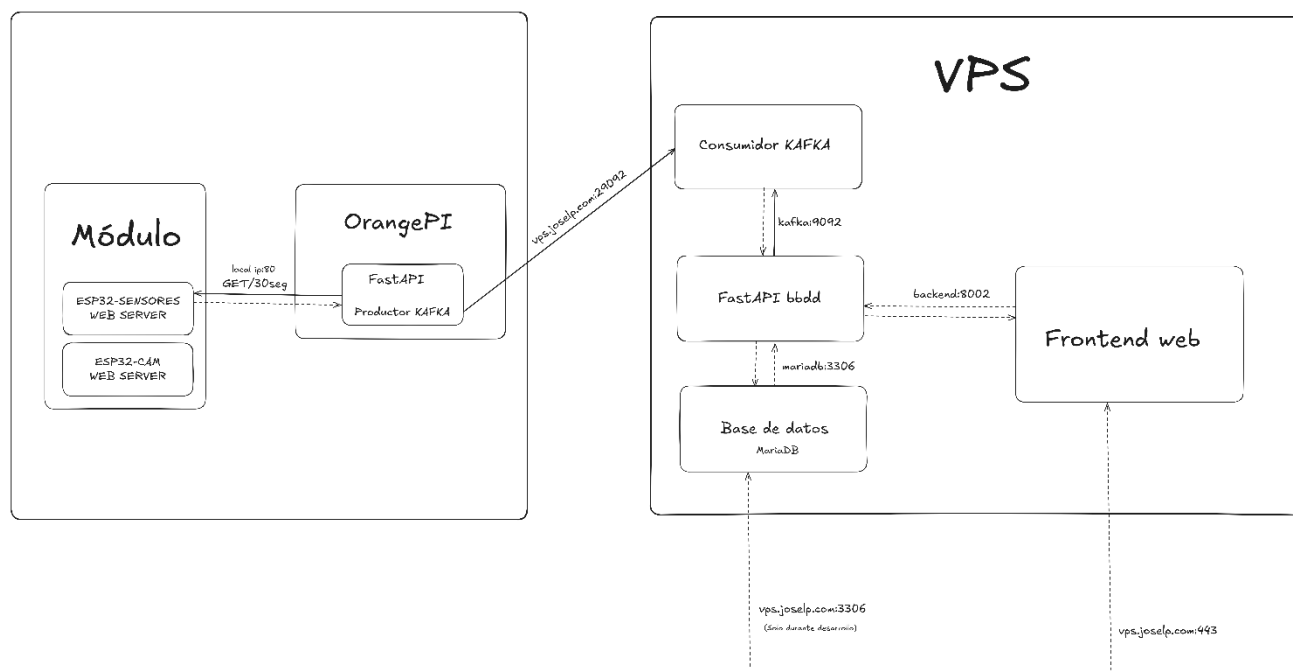


Figura 3. 7. Esquema de despliegue

Estrategia de despliegue automático

Para la estrategia de CI/CD se han realizado diversas automatizaciones comunes en el ámbito DevOps. El proceso comienza al hacer un nuevo push a la rama main del repositorio. Cuando esto sucede, una rutina de Github Actions construye, testea y publica una imagen Docker en DockerHub de cada servicio a desplegar en el servidor VPS.

Para automatizar configuraciones del servidor VPS se ha desarrollado un proyecto basado en Ansible orientado específicamente para este despliegue. El proyecto se desglosa de forma más detallada en un anexo. De forma resumida, es necesaria la ejecución del proyecto una primera vez sobre el servidor VPS con un sistema operativo Ubuntu y tras la ejecución el servidor estará completamente configurado y los servicios levantados. Cuando una imagen nueva se publica es detectado por un servicio llamado WatchTower que reinicia el servicio haciendo uso de la nueva imagen.

Capa de origen de datos

El primer prototipo nos ayudó a entender cómo se podía implementar un sistema de sensores. El desarrollo con Arduino en placas ESP32 permitía la obtención de datos a través de pines digitales y analógicos, pero también permitía la salida de señales eléctricas tanto analógicas como digitales. Una salida digital controlada permite la activación programada de un relé y con ello la automatización de cualquier dispositivo como bombas, ventiladores y oxigenadores cuando el usuario lo desee.

El primer paso fue investigar sobre los requerimientos en cuanto a sensores y activadores que necesita un cultivo hidropónico. Tras obtener un primer listado de requerimientos se comenzó a la búsqueda de los componentes que mejor se adaptasen manteniendo un presupuesto reducido.

Para poder tener cultivos del tamaño de la mayoría de variedades de lechuga sin restricciones de tamaño se optó por una superficie base de 4x4 piezas

Figura 3. 9. Renderizado de las piezas modulares

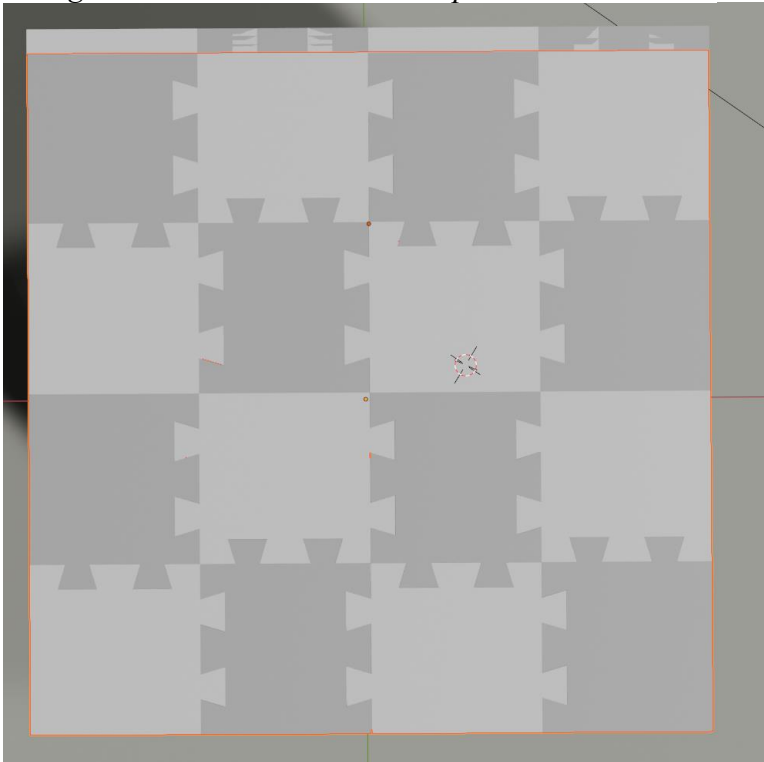


Figura 3. 10. Renderizado ejemplo de estructura modular

Se partió de este primer diseño para comenzar las impresiones.

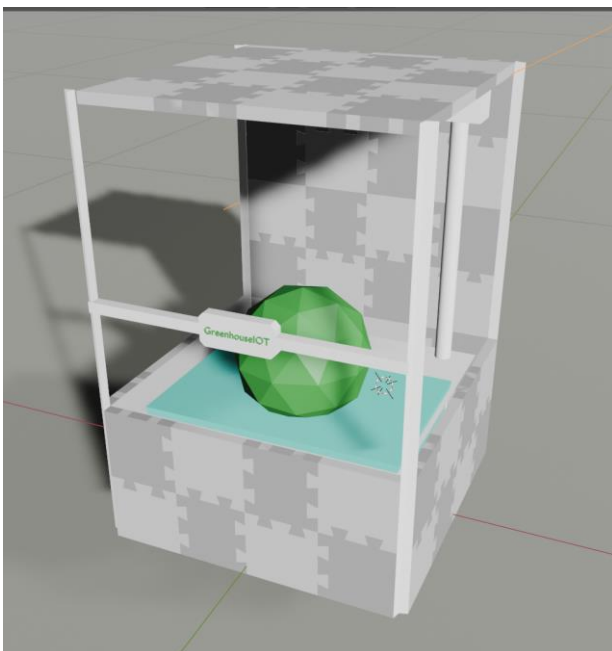


Figura 3. 11. Renderizado del módulo 3D

El módulo final incorpora algunas partes modificadas para dar mayor estabilidad a la estructura como la implementación de pilares mayores.



Figura 3. 12. Imagen del módulo hidropónico

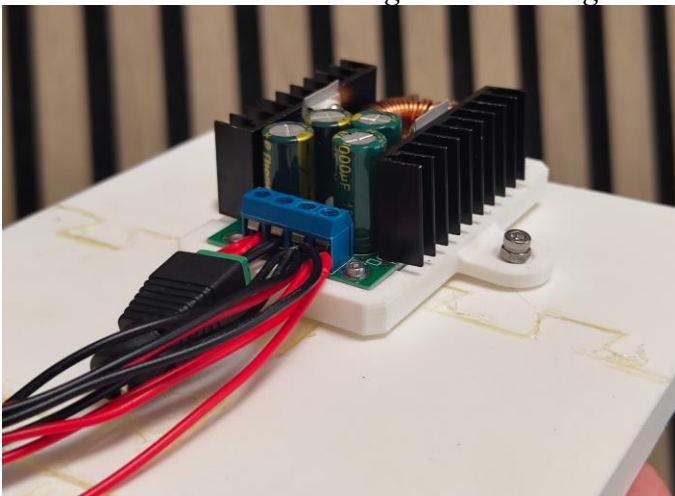


Figura 3. 13. Imagen del regulador de voltaje

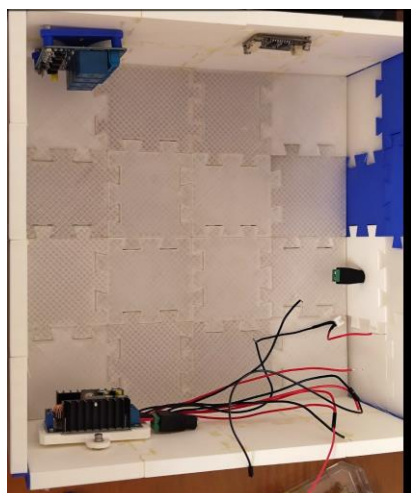


Figura 3. 14. Imagen de construcción

Se cambió el enfoque del funcionamiento del sistema, anteriormente el sistema esperaba a que se solicitase una lectura y posteriormente la enviaba. En esta ocasión se optó por delegar la responsabilidad de envío periódico de datos a los módulos. Si el sistema recibe datos en un margen de tiempo razonable el sistema entiende que el módulo está conectado y está disponible para configuraciones remotas.

Capa de procesamiento y persistencia

La capa de procesamiento siguió el comportamiento explicado en la sección anterior para la lógica de envío de configuraciones. Además, se implementó el soporte para los nuevos sensores y formatos de lecturas.

Con vistas a implementaciones relacionadas con toma de imágenes haciendo uso del nuevo módulo de cámara, se modificó la base de dato para incorporar una tabla dedicada a las lecturas de imágenes.

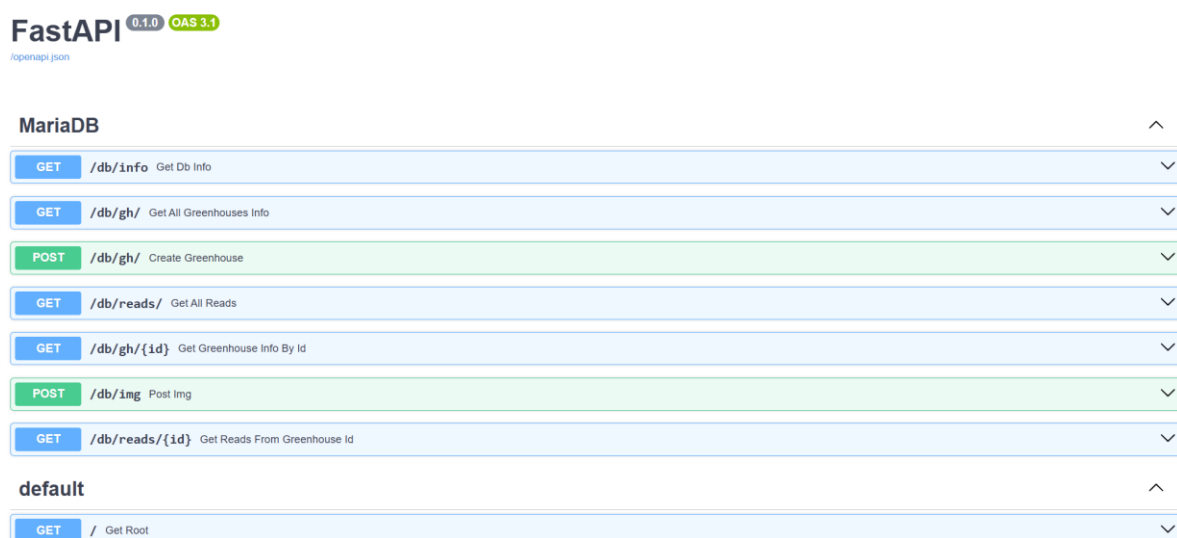


Figura 3. 15. Swagger de la api de la base de datos

Capa de explotación de datos

La capa de explotación de datos sufrió un completo rediseño de arquitectura. Se cambió la tecnología a React funcionando gracias a vite. El lenguaje de desarrollo elegido fue Javascript. Para el desarrollo de la ui se usaron las tecnologías Tailwind y una librería de componentes llamada DaisyUI.

La aplicación cuando llegue a producción debe ser accesible por todos los usuarios y deben por tanto disponer de una cuenta para visualizar solo sus datos y módulos. Para ello se implementó un sistema de autenticación llamado Auth0 que gestiona usuarios y contraseñas. Gracias a que auth0 dispone una capa gratuita, GreenhouseIOT solo debe tener un registro de usuarios y módulos asociados.

Un primer diseño de la interfaz se puede ver en la siguiente imagen

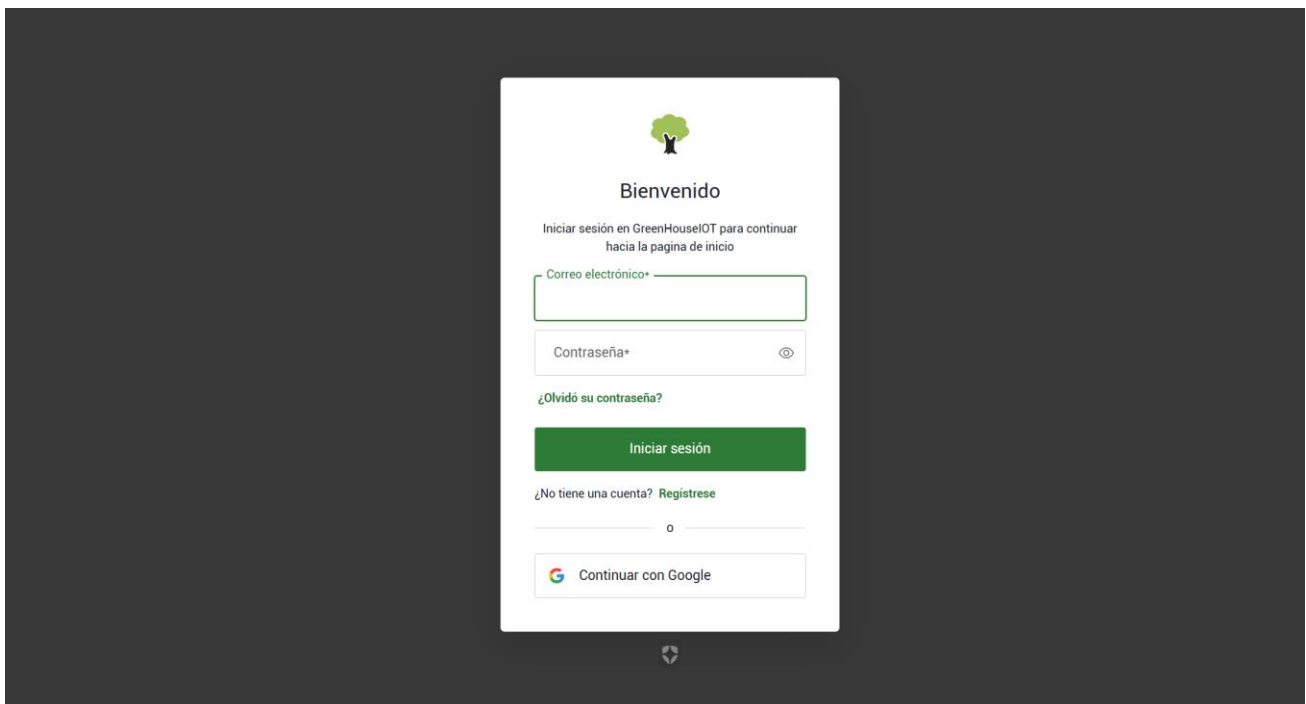


Figura 3. 16. Inicio de sesión en el sistema

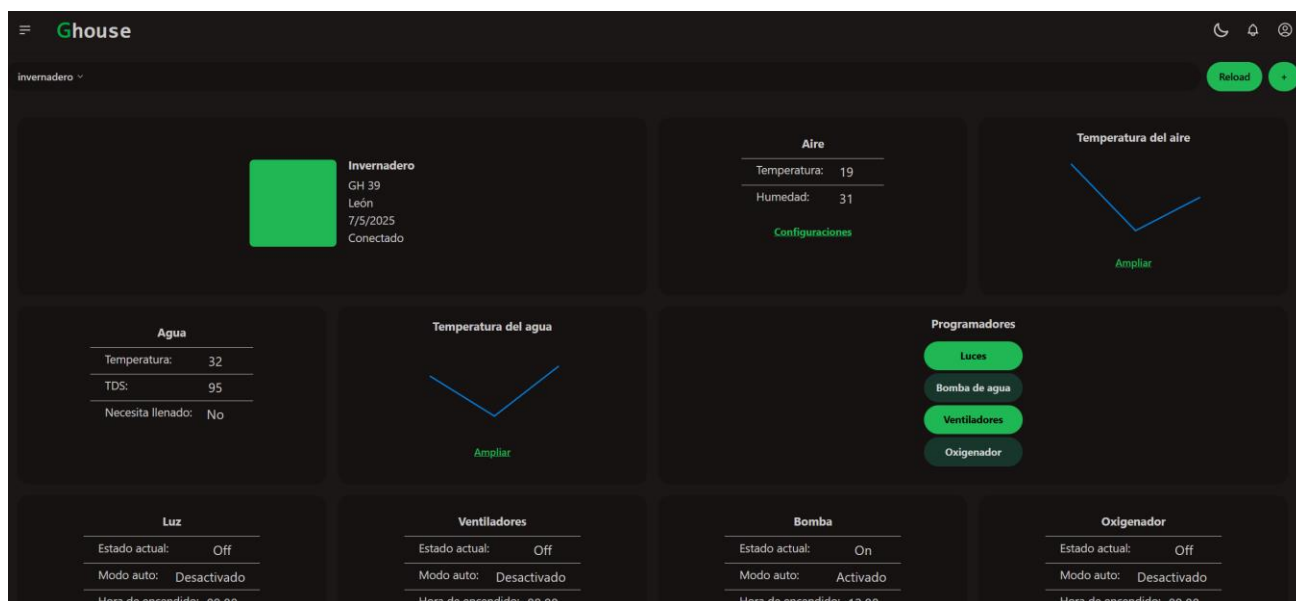


Figura 3. 17. Página de inicio en modo oscuro

Mediante los botones de programación independiente se despliegan formularios con las opciones disponibles.

The screenshot shows the "Configurar Luz" (Configure Light) form. It includes the following elements:

- Title:** "Configurar Luz" with a close button (X).
- Invernadero:** A dropdown menu currently showing "invernadero".
- Luz:** Two radio buttons: "Auto" (unselected) and "Manual" (selected with a checkmark).
- Hora On:** A time picker set to "09:00".
- Hora Off:** A time picker set to "14:00".
- Buttons:** "Cancelar" (Cancel) and "Guardar Luz" (Save Light).

Figura 3. 18 Formulario de configuración de luces

Entre las secciones adicionales encontramos una dedicada a la visualización de gráficas de forma detallada. Se observa la evolución de los parámetros clave a lo largo del tiempo.

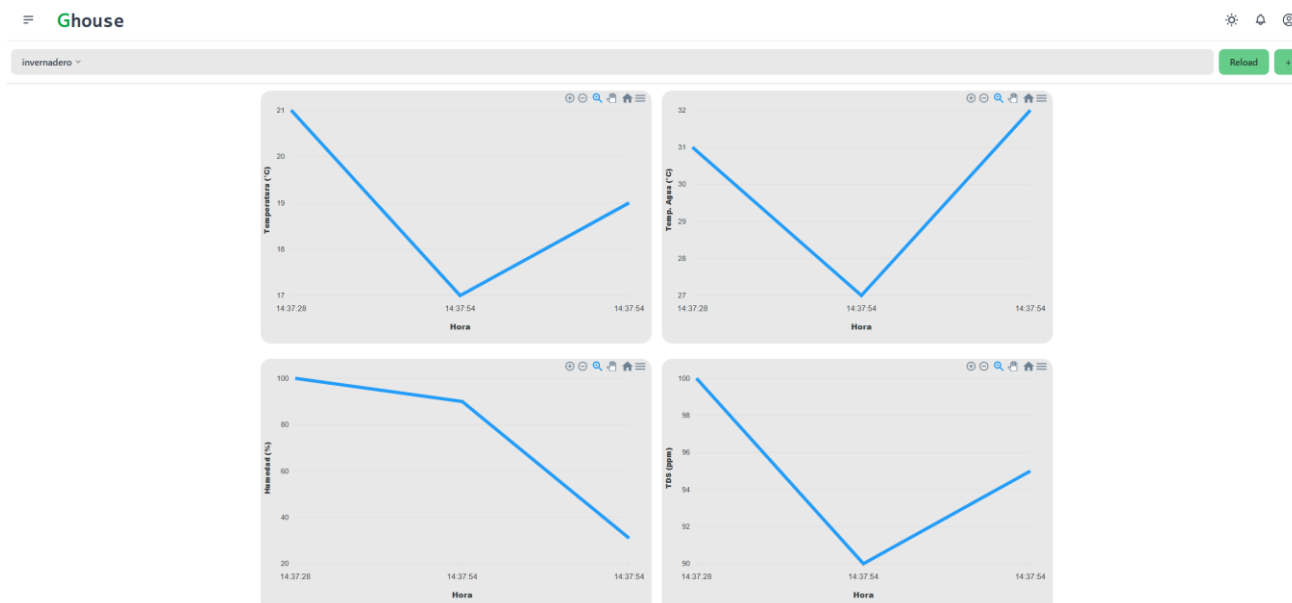


Figura 3. 19 Página de gráficas detalladas

El sistema dispone de un centro de ayuda donde se reúnen ciertas preguntas clave y guías para el usuario. Con esta sección se intenta facilitar al usuario el uso del sistema.

CENTRO DE AYUDA

En esta sección podrá encontrar guías para aprender a usar la aplicación. Además se responden preguntas frecuentes realizadas por los usuarios. Recuerde que cualquier consulta o sugerencia puede enviarla a jllopep09@estudianes.unileon.es

PREGUNTAS FRECUENTES

¿QUÉ ES GHOUSE?

GreenhouseOT es un sistema para el monitoreo de módulos hidropónicos inteligentes.

NO PUEDO SINCRONIZAR MI INVERNADERO

Recomendamos a los usuarios consultar la guía de sincronización para resolver la mayoría de dudas frecuentes.

¿QUÉ SE PUEDE AUTOMATIZAR?

Actualmente puede automatizar las luces, oxigenación, bomba de agua y ventiladores.

¿CUANTO CUESTA EL SERVICIO?

GreenhouseOT es un servicio gratuito. El único coste que tendrá es la compra o montaje de su invernadero.

¿COMO CONSIGO UN INVERNADERO?

Actualmente no disponemos de compra online de invernaderos pero contacte con nosotros para guiarle en la construcción de uno desde 0

GUÍAS DE USUARIO

Trabajamos constantemente para traer nuevas funcionalidades y guías para nuestros usuarios

[GUÍA DE SINCRONIZACIÓN](#)

Figura 3. 20. Centro de ayuda para el usuario

3.2.4. Pruebas

Se implementaron pruebas unitarias en el microservicio de procesamiento, asegurando que los datos

fuera de rango o en formato inválido no se almacenaran.

Además, se realizaron pruebas de integración entre servicios, mediante el uso de docker-compose, validando que los contenedores se comunican correctamente y que los datos se almacenan y se muestran en la interfaz web.

3.3. El producto del desarrollo

El resultado es un sistema funcional desplegable mediante docker-compose, capaz de recibir datos de sensores reales, procesarlos, almacenarlos y visualizarlos en una interfaz web moderna. Este sistema está preparado para escalar tanto en volumen como en funcionalidad, incorporando nuevos tipos de sensores o permitiendo la consulta desde dispositivos móviles en futuras iteraciones.

Capítulo 4

Evaluación

4.1. Proceso de evaluación

El proceso de evaluación se ha realizado con diferentes estrategias, inicialmente se han realizado pruebas manuales entre entregas bisemanales tratando de comprobar el correcto funcionamiento de las nuevas funcionalidades implementadas. Posteriormente, se aplicaron test específicos para requisitos críticos del sistema y finalmente se evaluó la usabilidad por la metodología de cuestionario con un grupo reducido de usuarios.

4.1.1. Forma de evaluación

La evaluación del sistema desarrollado se ha realizado siguiendo un enfoque **integral**, que abarca tanto aspectos técnicos como funcionales, y considera distintos niveles del sistema: desde la captura de datos en el hardware hasta la experiencia del usuario en la interfaz web.

El objetivo de esta evaluación es comprobar el **correcto funcionamiento, la eficiencia, la estabilidad y la usabilidad** del sistema GreenhouseIoT, asegurando que se cumplen los requisitos definidos en la fase de análisis.

A. Criterios de evaluación

La evaluación se ha estructurado en torno a los siguientes **criterios clave**:

1. **Correctitud funcional**: Verificación de que el sistema cumple las funciones descritas en los requisitos funcionales (recepción de datos, almacenamiento, visualización, automatización, etc.).
2. **Rendimiento**: Análisis de la capacidad del sistema para procesar datos en tiempo real, su tiempo de respuesta y comportamiento ante cargas moderadas.
3. **Fiabilidad y estabilidad**: Pruebas prolongadas para detectar posibles errores, pérdidas de datos o bloqueos del sistema.
4. **Usabilidad**: Evaluación de la interfaz de usuario en términos de claridad, accesibilidad y facilidad de navegación.
5. **Escalabilidad y modularidad**: Comprobación del correcto funcionamiento del sistema al añadir múltiples módulos hidropónicos simultáneamente.

6. **Robustez ante fallos:** Simulación de escenarios de error (fallo de sensores, pérdida de red, datos malformados) para comprobar la tolerancia del sistema.

B. Metodología de evaluación

Para cada uno de los criterios anteriores, se han definido procedimientos específicos que permiten obtener **datos objetivos** y, en su caso, medir cuantitativamente el rendimiento del sistema:

- Se ha utilizado una **plataforma de pruebas local**, replicando un entorno doméstico de cultivo, donde se conectó un módulo hidropónico completo (ESP32, sensores, actuadores) a la red local y al sistema completo en contenedores Docker.
- Los microservicios fueron evaluados de forma **individual y conjunta**, midiendo latencia de respuesta, gestión de errores, y compatibilidad entre APIs.
- Se han desarrollado **casos de prueba automatizados** para las APIs del backend, validando las operaciones CRUD, la respuesta a entradas no válidas, y el rendimiento bajo múltiples peticiones concurrentes.
- La interfaz de usuario fue probada en distintos navegadores y dispositivos (ordenador de sobremesa, tablet, teléfono móvil) para asegurar **adaptabilidad y accesibilidad**.
- Se realizaron **sesiones de testeo supervisadas** con usuarios ajenos al desarrollo (nivel técnico básico), observando posibles bloqueos o dificultades de uso.
- Se emplearon **logs detallados y herramientas de monitoreo** (como docker stats, curl, y herramientas propias de medición) para recoger métricas durante el uso continuo del sistema.

C. Herramientas utilizadas en la evaluación

- **Postman:** para probar manualmente los endpoints de la API en distintos escenarios.
- **Pytest:** para crear pruebas automatizadas en el backend desarrollado con FastAPI.
- **React Testing Library:** para pruebas funcionales en el frontend.
- **Excel y pandas:** para análisis y visualización de los datos registrados por los sensores durante las pruebas.

D. Escenarios evaluados

A lo largo de las pruebas se reprodujeron múltiples escenarios relevantes:

- **Flujo normal de datos:** sensores enviando valores periódicos durante 48 horas continuas sin interrupciones.
- **Pérdida temporal de conexión WiFi:** reconexión automática del módulo y reanudación del envío de datos.
- **Múltiples módulos activos:** simulación de tres módulos funcionando simultáneamente, con seguimiento independiente.
- **Umbral superado:** activación automática de ventiladores y alertas por humedad elevada.

- **Carga de datos históricos:** prueba de tiempos de carga en la interfaz al visualizar registros de los últimos 7 días.
- **Errores simulados:** sensores desconectados o mal configurados, recepción de JSON malformado en la API.

4.1.2. Casos de prueba

A. Pruebas del Backend (API y Base de Datos)

ID	Caso de prueba	Entrada	Resultado esperado	Estado
B01	Creación de una nueva lectura	JSON válido con datos de temperatura, humedad y TDS	201 Created + objeto insertado correctamente	
B02	Lectura de datos por ID	GET /db/gh/{id}	Retorno del objeto JSON correspondiente al ID	
B03	Envío de datos malformados	JSON incompleto o con tipo de dato erróneo	422 Unprocessable Entity	
B04	Solicitud de datos por rango de fechas	GET con parámetros start_date y end_date	Lista filtrada correctamente	
B05	Inserción masiva de lecturas (stress test)	1000 lecturas en lote	Respuesta en < 1s, sin errores	

Figura 4. 1. Pruebas del backend

B. Pruebas del Microservicio de Kafka

ID	Caso de prueba	Escenario	Resultado esperado	Estado
K01	Producción de datos desde el origen	Sensor envía datos al tópico Kafka	Datos aparecen en el tópico y son recogidos por el consumidor	
K02	Interrupción temporal de red	Sensor pierde conexión y la recupera	El servicio se reconecta y reanuda el envío	
K03	Datos duplicados en el topic	Doble envío del mismo dato	Solo se almacena una entrada si se detecta duplicado	

Figura 4. 2. Pruebas de Kafka

C. Pruebas de Frontend (Interfaz de Usuario)

ID	Caso de prueba	Acción del usuario	Resultado esperado	Estado
F01	Acceso a la vista principal	Ingreso en /dashboard	Visualización de valores actuales de sensores	
F02	Visualización de datos históricos	Selección de un rango de fechas	Gráficas actualizadas correctamente	
F03	Acceso desde dispositivos móviles	Navegación desde un smartphone	Interfaz adaptada (responsive)	
F04	Creación de regla de automatización	Introducción de valores límite y selección de acción	Regla almacenada y visible en el panel	
F05	Fallo en conexión con el backend	Desconexión del contenedor de la API	Mensaje de error visible al usuario	

Figura 4. 3. Pruebas de frontend

D. Pruebas de integración entre módulos

ID	Caso de prueba	Interacción	Resultado esperado	Estado
I01	Flujo completo de datos	Sensor → API → Kafka → DB → Frontend	Datos visibles en la interfaz en menos de 2 segundos	
I02	Uso simultáneo de 3 módulos	Tres sensores activos enviando datos	Módulos identificados correctamente y sin colisión de datos	
I03	Inyección de datos erróneos desde sensor simulado	Datos con rango fuera de límites	No se almacenan / se activan alertas	

Figura 4. 4. Pruebas de integración

E. Pruebas de robustez y recuperación

ID	Caso de prueba	Condición simulada	Resultado esperado	Estado
R01	Reinicio inesperado del contenedor de Kafka	Reinicio manual durante flujo de datos	Reanudación automática sin pérdida de datos	
R02	Reinicio de frontend mientras se navega	Recarga forzada del navegador	Persistencia del estado tras reconexión	
R03	Pérdida temporal de WiFi en sensor	Desconexión durante 30s	Reconexión automática + reenvío de datos no entregados	

Figura 4. 5. Pruebas de robustez

4.2. Análisis de resultados

Para evaluar la interfaz web destinada a los usuarios, se ha utilizado la metodología de evaluación mediante cuestionario. Esta técnica consiste en que un grupo reducido de usuarios, preferentemente imparciales, interactúa con el sistema llevando a cabo una tarea específica. El cuestionario se estructura en tres secciones principales: pre-tarea, tarea y post-tarea.

La sección pre-tarea incluye preguntas generales orientadas a la segmentación de los participantes, lo que permite determinar si el perfil de los encuestados es adecuado para la evaluación del sistema. En la sección de tarea, todos los usuarios deben completar la misma actividad sin recibir asistencia del moderador, lo que facilita la comparación objetiva de resultados. Finalmente, la sección post-tarea recopila las impresiones, dificultades y percepciones de los usuarios sobre la experiencia, permitiendo así identificar puntos fuertes y áreas de mejora en la interfaz evaluada.

La tarea que ha sido asignada a los usuarios es su registro en el sistema, la sincronización de un módulo hidropónico y su configuración de luces. Para ello se ha proporcionado un nombre y código de sincronización a cada participante de forma individual. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la encuesta.

Sección pre-tarea

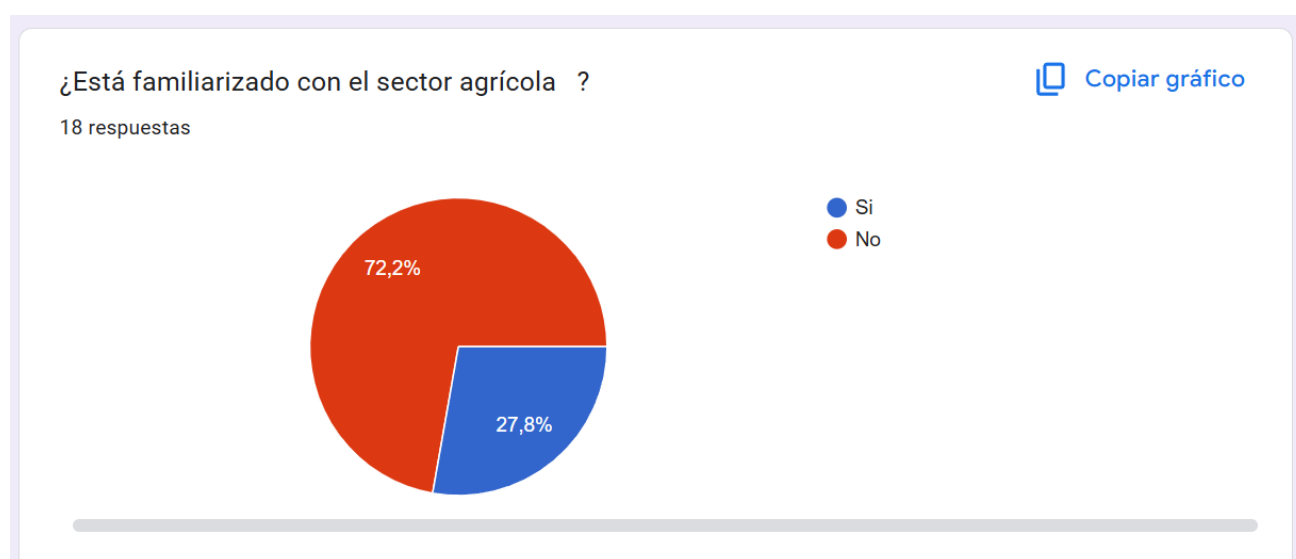


Figura 4. 6. Pregunta de cuestionario sobre sector agrícola

En la primera pregunta observamos que la mayor parte de la población encuestada no está especialmente familiarizada con el sector agrícola, sin embargo, hemos conseguido captar un 27% de usuarios con experiencia en el sector.

Si nuestro objetivo es hacer un producto que permita acercar a las personas al sector agrícola pueden ser buenos resultados.

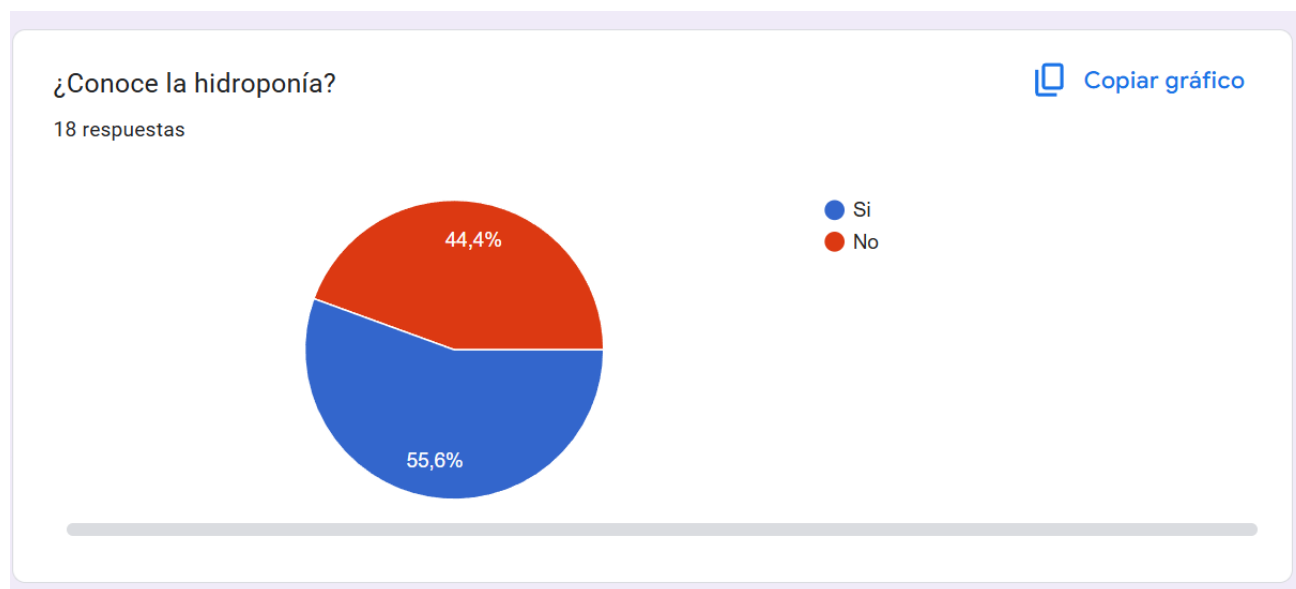


Figura 4. 7. Pregunta de cuestionario sobre hidroponía

La hidroponía es bien conocida por la mayor parte de los encuestados, sin embargo, hay un porcentaje alto de usuarios que no conocen esta modalidad de cultivo. Conociendo este hecho, puede ser buena idea incorporar una sección introductoria para usuarios que no hayan visto ni escuchado nunca que es un módulo hidropónico. Además, si se realizase campañas publicitarias para promocionar este producto sería muy importante enfatizar los beneficios de la hidroponía e invitar a los usuarios a practicar hidroponía de manera accesible.

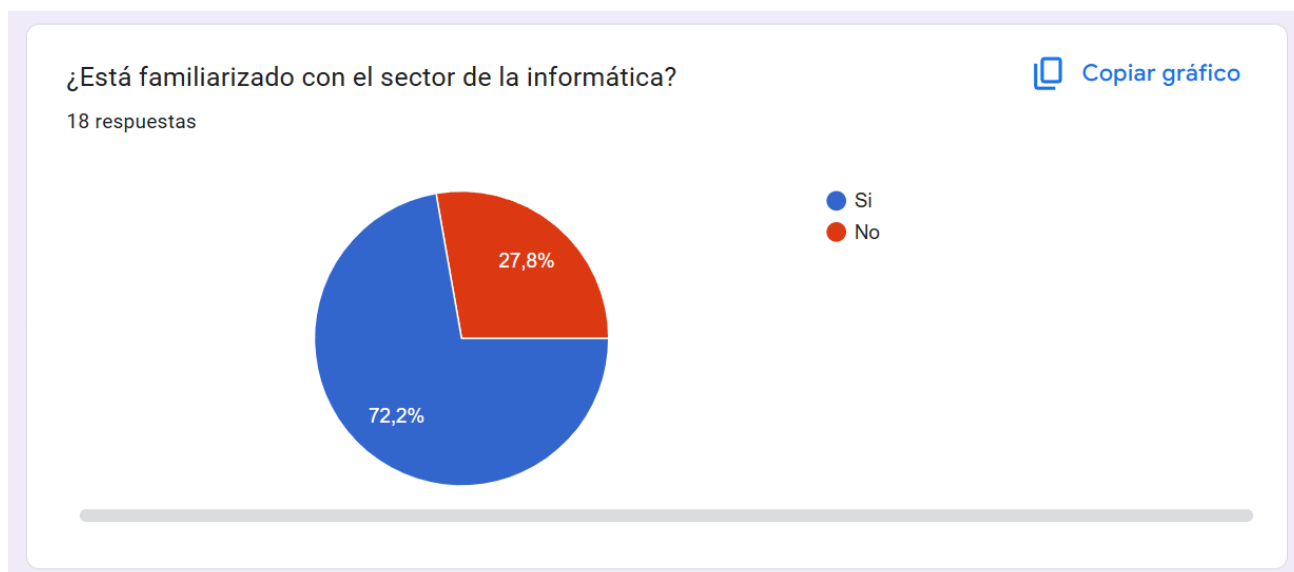


Figura 4. 8. Pregunta de cuestionario sobre sector informático

Observamos que gran parte de los usuarios están relacionados con el sector informático, nos permite valorar la competitividad y robustez de nuestra aplicación al tratar con usuarios mínimamente especializados.



Figura 4. 9Pregunta de cuestionario sobre aspecto a destacar

Observamos que los usuarios valoran la simplicidad del sistema por encima de otras cualidades. Además, observamos que la seguridad es un factor importante para los usuarios.

¿Calificarías como intuitiva la interfaz de GreenhouseIoT?

[Copiar gráfico](#)

18 respuestas

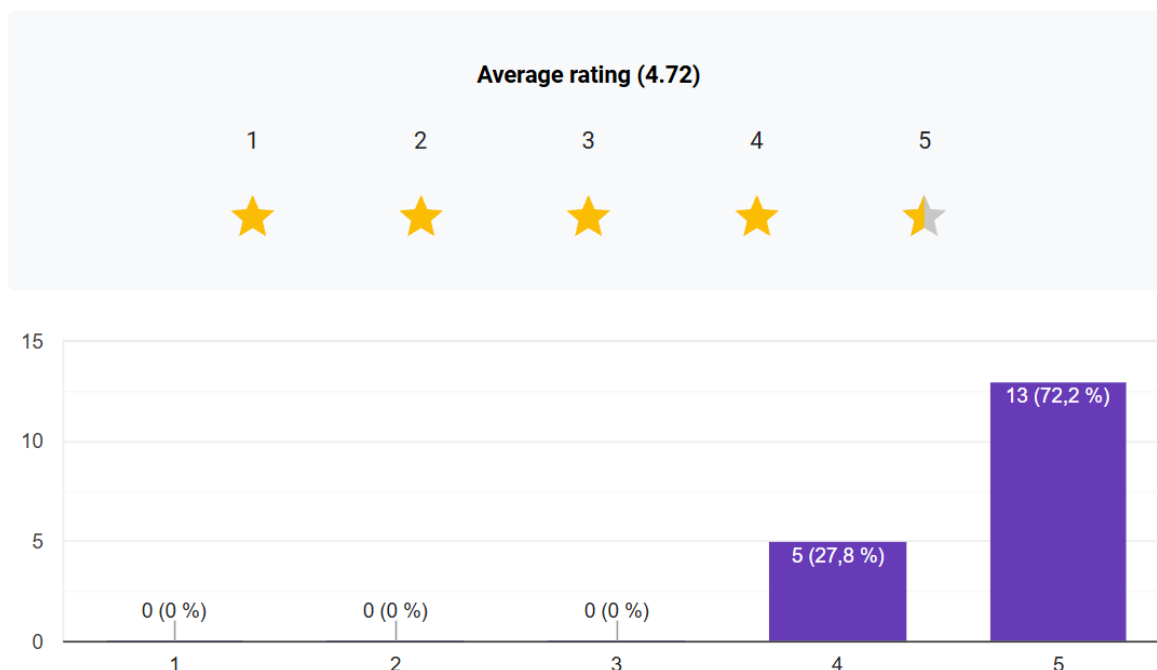


Figura 4. 10 Pregunta de cuestionario sobre interfaz intuitiva

En la calificación de la interfaz intuitiva del sistema encontramos una grata nota de 4.72/5

Los usuarios encuentran sencilla la interfaz en un inicio por lo que estamos consiguiendo ese factor de simplicidad que buscábamos.

¿Los colores elegidos le resultan visualmente agradables?

[Copiar gráfico](#)

18 respuestas

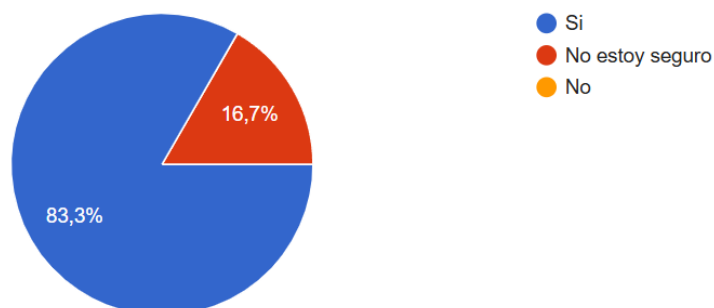


Figura 4. 11. Pregunta de cuestionario sobre la paleta de colores

La mayor parte de los usuarios encuentran agradable los colores elegidos, posiblemente haya sido clave la implementación del sistema de modo claro/oscuro.

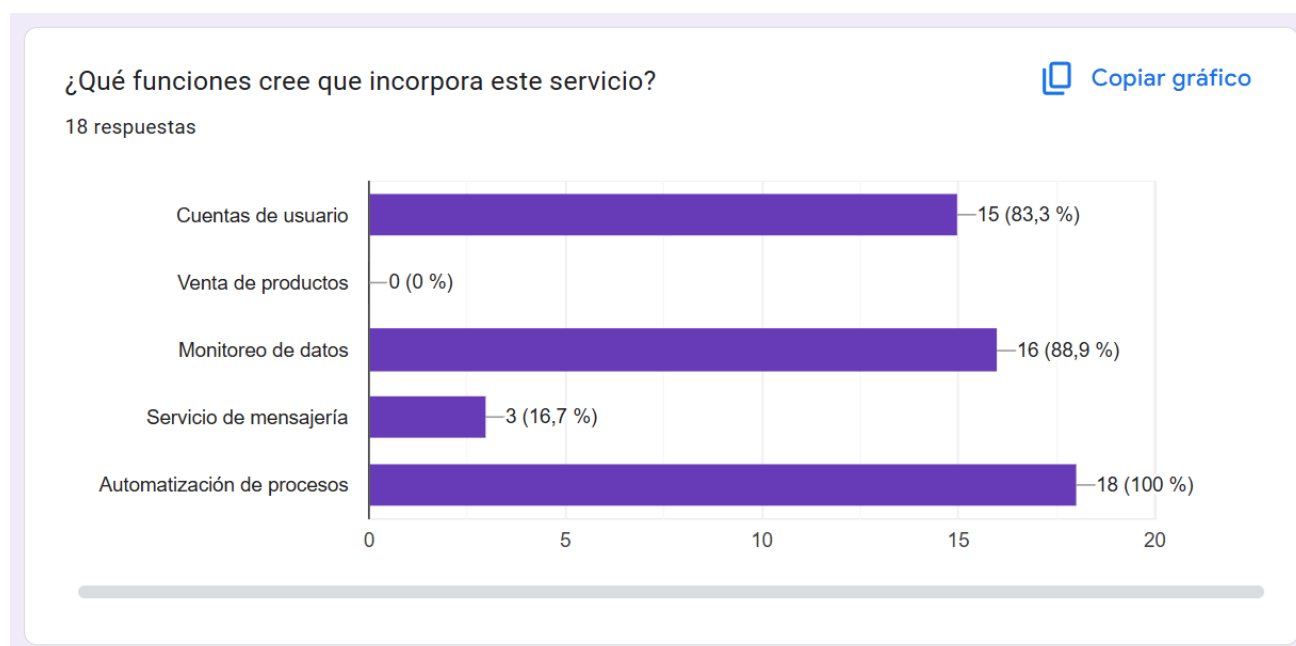


Figura 4. 12. Pregunta de cuestionario sobre funcionalidades

Los usuarios tienen claras las funciones del sistema, sin embargo, encontramos puntuaciones en el servicio de mensajería cuando no es un objetivo principal. Debemos tener presente este hecho, pero puede estar relacionado con la incorporación del sistema de notificaciones en la parte superior izquierda de la interfaz.

Sección post-tarea



Figura 4. 13. Pregunta de cuestionario sobre navegación a la página de registro

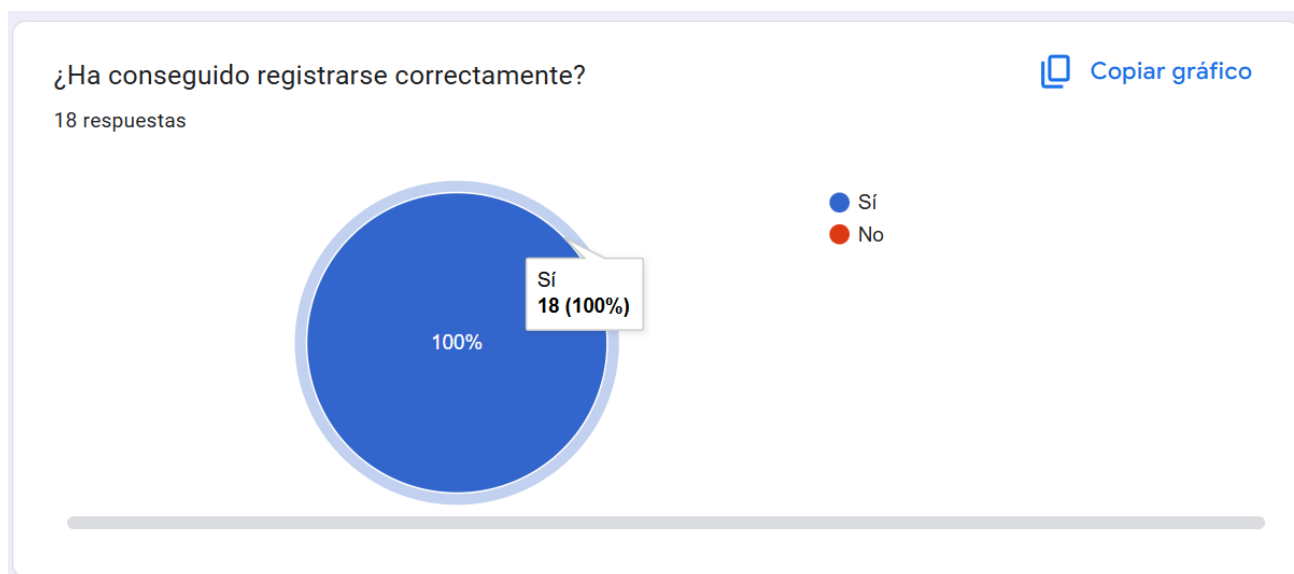


Figura 4. 14. Pregunta de cuestionario sobre proceso de registro

Todos los usuarios han conseguido llegar a la página de registro. Además, han conseguido registrarse en el sistema con éxito. Es una puntuación muy positiva ya que puede ser un punto crítico en aplicaciones similares.



Figura 4. 15. Pregunta de cuestionario sobre puntuación del proceso de registro

La puntuación de navegación al registro ha sido un éxito. Los usuarios están encantados con el sistema de registro.



Figura 4. 16. Pregunta de cuestionario sobre navegación a la sincronización

La sección de sincronización es clara para la mayoría de los usuarios, podemos concluir que es lo suficientemente explícita para la mayor parte de usuarios aunque hay margen de mejora.



Figura 4. 17. Pregunta de cuestionario sobre éxito en sincronización

El proceso de sincronización también ha sido satisfactorio para la mayor parte de usuarios.

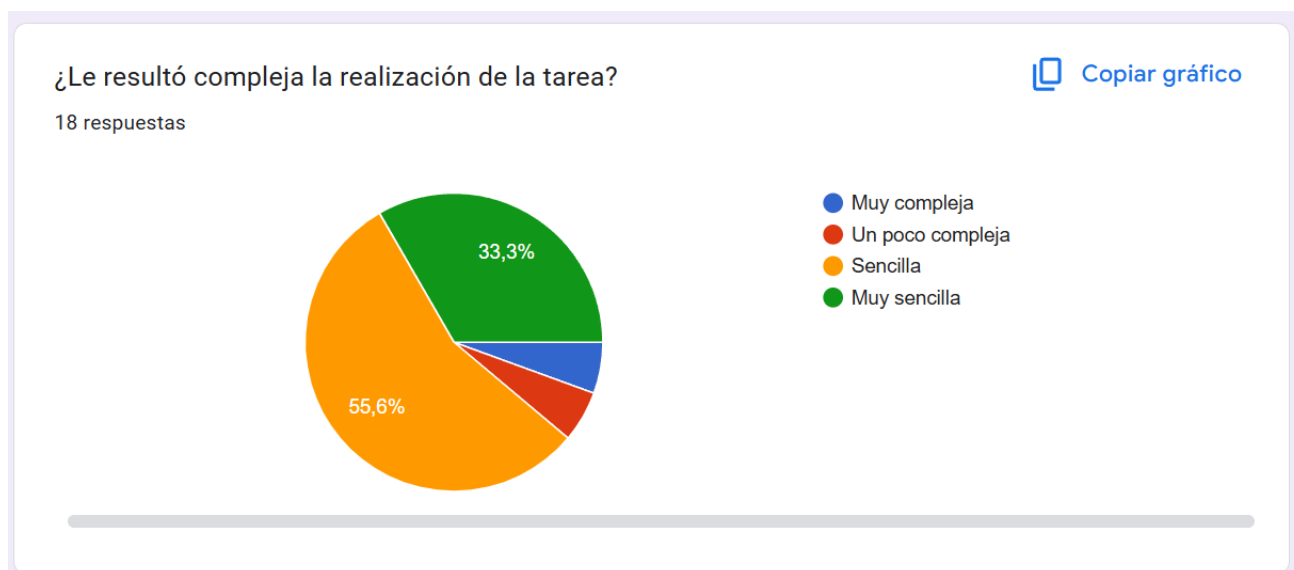


Figura 4. 18. Pregunta de cuestionario sobre la complejidad de la tarea

Los usuarios valoraron como sencilla o muy sencilla la tarea en un porcentaje superior al 85%. Es un muy buen resultado.

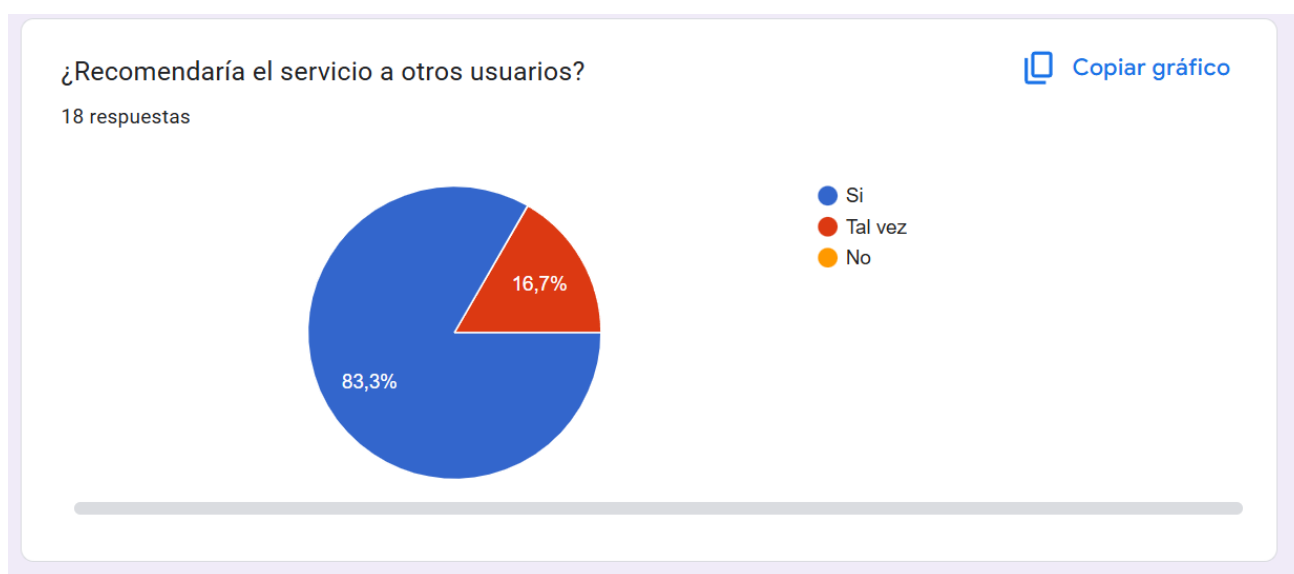


Figura 4. 19. Pregunta de cuestionario sobre recomendación

Por todo ello, observamos que los usuarios sí recomendarían el proyecto. Hay usuarios que no están seguros y sería interesante el estudio de sus motivos para mejorar aún más la experiencia de usuario. Es importante destacar que el espacio muestral de la encuesta es muy reducido, pero nos puede ayudar de una manera muy rápida a detectar problemas graves que corregir.

Conclusión

5.1 Futuras líneas de trabajo

El sistema actualmente implementa las principales funcionalidades esperadas en sistemas de su categoría, sin embargo, existen numerosas ampliaciones que podrían agregarse al proyecto para ampliar su alcance y utilidad. Algunas mejoras posibles para futuros desarrollos podrían ser:

- Incorporar comunicaciones directas servidor-módulos haciendo uso del bus de Kafka. Actualmente los módulos recuperan configuraciones de forma periódica de la base de datos, sin embargo, podría implementarse un sistema de actuación más inmediata para casos urgentes.
- Incorporación de un sistema de recopilación de datos anónimos durante el uso de la interfaz web por parte de los usuarios. De esta forma podrían detectarse los puntos clave de la aplicación y descubrir mejoras para hacer la interfaz más accesible.
- Mejoras de seguridad de las APIs. Actualmente la seguridad de las API se centra en tokens secretos encriptados, sin embargo, en caso de quedar expuesto dicho token se podrían producir algunos riesgos de seguridad de importancia moderada. Un generador de tokens dinámicos podría eliminar este problema.
- Implementación de un módulo simulado virtual. Para el uso de la aplicación actualmente se requiere un módulo hidropónico físico. La creación de una simulación de módulo podría permitir la creación de tutoriales guiados para usuarios nuevos.
- Migración del frontend a NextJS con Typescript. Actualmente el frontend está desarrollado con React y JavaScript, la migración mejoraría la integridad durante el desarrollo al incorporar los estándares de programación más usados en la actualidad como el tipado de datos o el enrutado basado en jerarquía de directorios.
- Rango administrador. La incorporación de un rango administrador facilitaría las tareas de moderación de usuarios al permitir la creación de interfaces web dedicadas.
- Incorporación de monitoreo de PH. La creación de una versión más profesional del módulo permitiría incorporar sensores para el monitoreo del pH del agua. La incorporación de dosificadores podría permitir la regulación automática de parámetros y nutrientes.
- Creación de un entorno de testeo previo al despliegue. Permitiría mejorar la integridad de nuevas versiones publicadas.

5.2 Agradecimientos

Me gustaría empezar agradeciendo a mi hermana Clara, mis padres y a mis amigos, por estar ahí en cada etapa de este camino. Gracias por los ánimos cuando las cosas se complicaban, por las palabras de apoyo y por confiar en mí. Sin vuestro cariño y compañía, este proyecto y los años dedicados a mi carrera no habrían sido lo mismo.

Me gustaría agradecer a HPE CDS por darme la oportunidad de formar parte de su equipo durante mis prácticas. Ha sido una experiencia muy valiosa que me ha permitido crecer tanto profesional como personalmente. En especial, gracias a Rubén Rodríguez, por su cercanía, por estar siempre disponible para ayudar y por crear un ambiente de trabajo tan positivo, donde me sentí motivado para tratar de mejorar constantemente.

Finalmente, me gustaría agradecer a Jesús Fernández y Lidia Sánchez por su ayuda durante el desarrollo de mi proyecto. Sus conocimientos y consejos fueron útiles para orientar el trabajo, y gracias a sus revisiones pude pulirlo hasta su etapa final.

Referencias

- Docker Inc. (2023). Docker Documentation. <https://docs.docker.com>
- FastAPI (2024). FastAPI - Modern Web Framework. <https://fastapi.tiangolo.com>
- Kafka Project Management Committee (2023). Apache Kafka Documentation. Apache Software Foundation. <https://kafka.apache.org/documentation/>
- ReactJS (2024). React – A JavaScript library for building user interfaces. Meta Platforms, Inc. <https://reactjs.org>
- Mariadb Foundation (2024). MariaDB Documentation. <https://mariadb.org>
- Ansible Project (2024). Ansible Documentation. Red Hat, Inc. <https://docs.ansible.com>

Referencias Estado del Arte

- Al-Kodmany, K. (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2), 24. <https://doi.org/10.3390/buildings8020024>
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Nallapaneni Manoj Kumar, Pradeep Kumar Mallick (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, 132, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.170>
- S. V. S. Ramakrishnam Raju, Bhasker Dappuri. (2022). Design and Implementation of Smart Hydroponics Farming Using IoT-Based AI Controller with Mobile Application System.. <https://doi.org/10.1155/2022/4435591>
- Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., et al. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>
- Liang, Chen & Shah, Tufail. (2023). IoT in Agriculture: The Future of Precision Monitoring and Data-Driven Farming. 7. 85-104. https://www.researchgate.net/publication/380165857_IoT_in_Agriculture_The_Future_of_Precision_Monitoring_and_Data-Driven_Farming

Anexo 1 - Seguimiento de Proyecto

El seguimiento del proyecto se ha desarrollado mediante reuniones semanales y bisemanales donde se mostraban los avances de varios compañeros en sus proyectos. Se mostraban las funcionalidades implementadas durante el periodo comprendido entre la reunión anterior, se obtenía retroalimentación por parte del coordinador y se establecían los próximos objetivos. Además, se planteaban dudas y el coordinador orientaba a los desarrolladores para abordar los retos.

El periodo final del desarrollo las reuniones pasaron a ser individuales, enfocando principalmente al cierre de los desarrollos satisfaciendo los requisitos de cada proyecto y documentando correctamente el producto final.

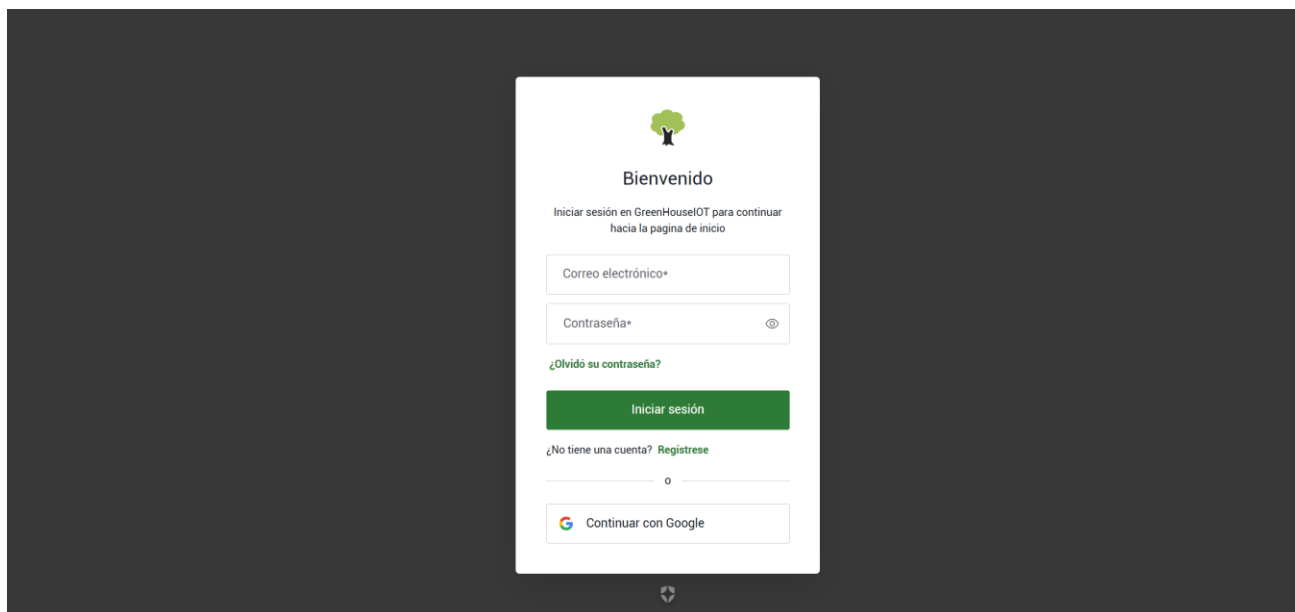
Todo el registro de desarrollo queda reflejado en el correspondiente repositorio de código en Github donde se puede ver la evolución completa del proyecto. En el repositorio se agrupan todos los microservicios, el proyecto de despliegue y documentación relativa al proyecto.

Anexo 2 - Manual de usuario

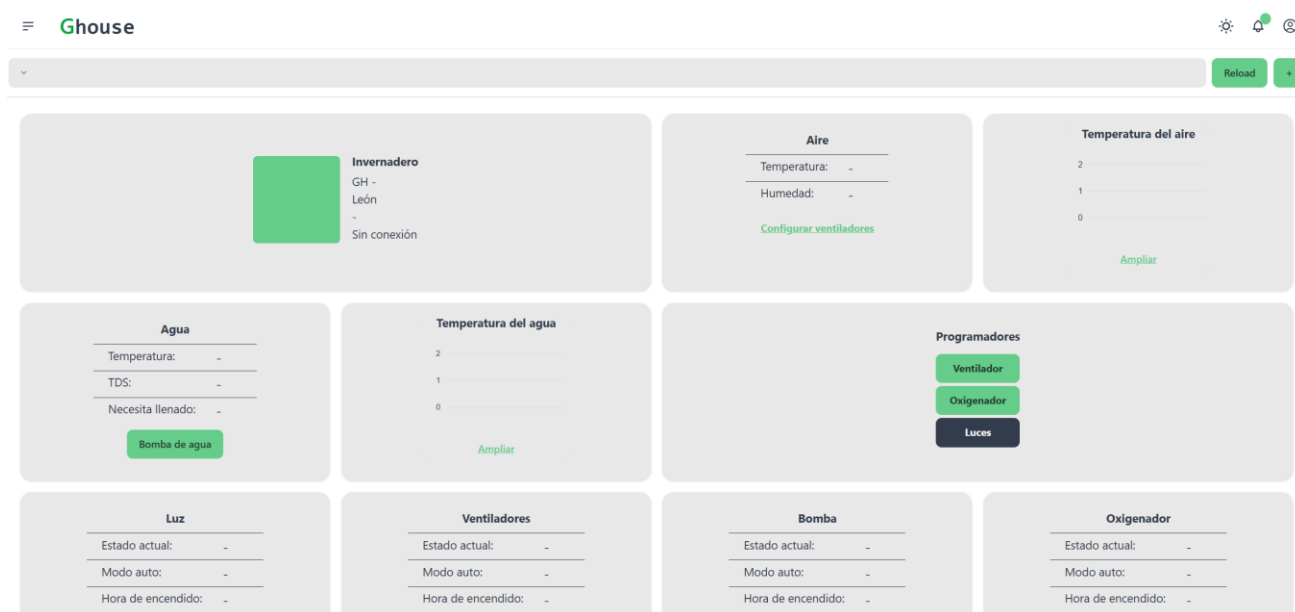
En este anexo se detalla los pasos a seguir para la instalación y uso del sistema por parte del usuario. El primer paso es la adquisición/montaje de un módulo hidropónico. Es requisito necesario la configuración de algunas variables por parte del usuario como las credenciales wifi, la dirección ip local del módulo y diversas configuraciones extra. Una vez encendido todas las configuraciones pueden ser modificadas desde una interfaz web haciendo uso de la ip local del módulo en el puerto 80.

Tras la configuración, se debe encender el servicio de envío de datos en un equipo como un ordenador o una raspberry. Este servicio usa algunas variables de entorno sencillas que pueden modificarse como el servidor donde enviarán los datos. El proceso de configuraciones anteriores puede demorarse pocos minutos si el usuario está habituado al proceso. Con todo ello iniciado, el resto de las acciones se realizarán desde la interfaz web del proyecto, hosteado en el servidor VPS. En este ejemplo se encuentra en la dirección <https://vps.joselp.com/>

Cuando el usuario accede por primera vez debe registrarse en la aplicación, para ello puede elegir entre usar su cuenta de Google o crear una cuenta específica del servicio.



Se encontrará en la página de inicio un menú con información en blanco, ya que no hay ningún módulo sincronizado.



En la sección superior izquierda se encuentra el botón de sincronización representado por el símbolo +. Cuando se acciona el botón aparece un formulario para sincronizar el módulo, el usuario debe introducir las credenciales específicas de su módulo.

Sincroniza tu invernadero

[Guía de sincronización](#)

Cancelar

Enviar

Una vez sincronizado, aparecerá el invernadero en el listado superior.

invernadero

El contenido disponible del invernadero será mostrado al usuario de forma dinámica.

Ghouse

invernadero

Reload

+

Invernadero

GH 39

León

7/5/2025

Conectado

Aire

Temperatura: 19

Humedad: 31

Configuraciones

Temperatura del aire

Ampliar

Agua

Temperatura: 32

TDS: 95

Necesita llenado: No

Temperatura del agua

Ampliar

Programadores

Luces

Bomba de agua

Ventiladores

Oxigenador

Luz

Estado actual: Off

Modo auto: Desactivado

Hora de encendido: 09:00

Ventiladores

Estado actual: Off

Modo auto: Desactivado

Hora de encendido: 09:00

Bomba

Estado actual: On

Modo auto: Activado

Hora de encendido: 12:00

Oxigenador

Estado actual: Off

Modo auto: Desactivado

Hora de encendido: 09:00

Las interfaces son intuitivas para que el usuario sepa en todo momento que está viendo/configurando. Además, mediante el menú de navegación puede acceder a secciones como el de configuración para programar sus dispositivos. En la siguiente imagen se muestran algunas configuraciones.

×

Configurar Actuadores

Invernadero

invernadero

Bomba

Auto

Manual

Hora On

09:00

Hora Off

14:00

Cancelar

Guardar Bomba

Ventilador

Auto

Manual

Hora On

09:00

Hora Off

14:00

Cancelar

Guardar Ventilador

Luz

Anexo 3 – Proyecto Ansible

La idea de este proyecto es configurar de forma automatizada un servidor VPS para hostear servicios basados en imágenes docker. El servidor detectará cuando subes una nueva imagen de tus servicios a dockerhub y hará un nuevo despliegue. El objetivo es configurarlo todo de forma automática en poco tiempo para centrarte en desarrollar el proyecto sin tener que pensar en la infraestructura en exceso. Esta alternativa te permite desplegar tus proyectos de forma más económica respecto a servicios de hosting dedicados al basar su despliegue en un servidor VPS.

Ansible es una herramienta de automatización de TI de código abierto que permite gestionar múltiples servidores y sistemas de forma centralizada. Esta herramienta dispone de una gran cantidad de funcionalidades, pero en este proyecto solo utilizaremos las relacionadas con el despliegue de microservicios Docker y configuraciones básicas.

Ansible se basa en la ejecución de código YAML organizado por tareas dentro de archivos llamados playbooks. Además, permite reunir todos los host destino en un archivo inventory.ini

En nuestro caso, solo hay un host destino.

```
[vps]
vps.joselp.com ansible_user=root ansible_port=22
```

En el playbook principal del proyecto se reúnen las referencias a todos los playbook que agrupan características más concretas, en la siguiente imagen se muestra el orden de ejecución.

```
- import_playbook: playbooks/user.yml
- import_playbook: playbooks/ssh.yml
- import_playbook: playbooks/dependencies.yml
- import_playbook: playbooks/firewall.yml
- import_playbook: playbooks/docker.yml
- import_playbook: playbooks/traefik.yml
- import_playbook: playbooks/greenhouse-db.yml
- import_playbook: playbooks/greenhouse.yml
- import_playbook: playbooks/watchtower.yml
```

Los 4 primeros playbooks se centran en configuraciones más generales, ansible nos automatizará el proceso de creación de un usuario con permisos específicos, configuración de inicio de sesión solo con una clave ssh específica, instalación de dependencias y configuración de un firewall que permita solo los puertos necesarios de nuestro despliegue. Posteriormente se ejecuta el playbook docker.yml, encargado de su instalación desde el repositorio oficial. Traefik es un servidor proxy inverso que nos permite personalizar y aumentar la seguridad de las comunicaciones. Los siguientes playbooks son los relevantes en nuestra aplicación. Algunas tareas importantes son las siguientes.

```
- name: Iniciar sesión en DockerHub
  shell: echo "{{ docker_pass }}" | docker login -u "{{ docker_user }}" --password-stdin
```

En esta tarea se inicia sesión en nuestra cuenta de Dockerhub para poder obtener las imágenes publicadas.

```
- name: Lanzar servicio db (MariaDB)
  docker_container:
    name: mariadb
    image: mariadb:latest
    state: started
    restart_policy: always
    networks:
      - name: mariadb_network
    env:
      MARIADB_ROOT_PASSWORD: "{{ mariadb_root_password }}"
    published_ports:
      - "3306:3306"
```

Se lanza el servicio de MariaDB.

```
- name: Copiar script SQL al VPS
  copy:
    src: /mnt/c/Users/Jose/Desktop/repositoreios/despliegue-gh/resources/init.sql # Ruta en tu máquina local
    dest: /tmp/init.sql
    become: yes
    become_method: sudo

- name: Copiar script SQL al contenedor
  community.docker.docker_container_copy_into:
    container: mariadb
    path: /tmp/init.sql # Ruta en el VPS
    container_path: /tmp/init.sql

- name: Ejecutar script SQL dentro del contenedor
  shell: docker exec mariadb mariadb -uroot -p{{ mariadb_root_password }} -e "source /tmp/init.sql"
  args:
    executable: /bin/bash
```

Para no tener que crear manualmente la estructura de la base de datos, se han creado unas tareas encargadas de copiar y ejecutar un script sql que crea todas las tablas y elementos.

Una vez tenemos la base de datos, pasaremos a la creación del backend.

```
- name: Lanzar contenedor de data_processing
  docker_container:
    name: data_processing
    image: jlopep09/greenhouse-backend:latest
    state: started
    restart_policy: always
    networks:
      - name: red_local_compartida
      - name: mariadb_network
      - name: traefik_proxy
    env:
      DB_HOST: "{{ DB_HOST }}"
      DB_USER: "{{ DB_USER }}"
      DB_PASSWORD: "{{ DB_PASSWORD }}"
      DB_NAME: "{{ DB_NAME }}"
      DB_PORT: "{{ DB_PORT }}"
      SECRET_TOKEN: "{{ SECRET_TOKEN }}"
    expose:
      - "8002"
    labels:
      traefik.enable: "true"
      traefik.docker.network: traefik_proxy

# Enrutado solo desde /api del dominio
      traefik.http.routers.backend.rule: "Host(`vps.joselp.com`) &&
PathPrefix(`/api`)"
      traefik.http.routers.backend.entrypoints: "websecure"
      traefik.http.routers.backend.tls: "true"
      traefik.http.routers.backend.tls.certresolver: "letsencrypt"

      traefik.http.services.backend.loadbalancer.server.port: "8002"
      traefik.http.middlewares.backend-stripprefix.stripprefix.prefixes: "/api"

      traefik.http.routers.backend.middlewares: "backend-stripprefix"
```


Al solo disponer de un servidor vps ha sido necesaria la incorporación del servidor proxy inverso, en la imagen superior observamos que se ha configurado el backend en un router desde el dominio `vps.joselp.com/api`

Finalmente se crean los contenedores del servicio web y de Kafka. Al querer desplegar de forma pública la aplicación, fue necesaria la incorporación de un sistema de usuarios. Para ello se usó Auth0 con el fin de no almacenar contraseñas en la base de datos. Auth0 está configurado para solo permitir conexiones por el protocolo https por lo que ha sido necesario configurar el proxy para que solo permita conexiones por este protocolo y nos brinde una certificación SSL/TLS.

```
- name: Lanzar contenedor de web
  docker_container:
    name: web
    image: jlopep09/greenhouse-web:latest
    state: started
    restart_policy: always
    networks:
      - name: red_local_compartida
      - name: traefik_proxy
    env:
      VITE_APP_NAME: "GreenhouseIOT"
      VITE_DDBB_API_IP: "{{ VITE_DDBB_API_IP }}"
      VITE_SECRET_TOKEN: "{{ SECRET_TOKEN }}"

  expose:
    - "5173"
  labels:
    traefik.enable: "true"
    traefik.docker.network: traefik_proxy
    traefik.http.routers.web.rule: "Host(`vps.joselp.com`)"
    traefik.http.routers.web.entrypoints: "web"
    traefik.http.routers.web.middlewares: "https-redirect"

    traefik.http.middlewares.https-redirect.redirectscheme.scheme: "https"

    traefik.http.routers.websecure.rule: "Host(`vps.joselp.com`)"
    traefik.http.routers.websecure.entrypoints: "websecure"
    traefik.http.routers.websecure.tls: "true"
    traefik.http.routers.websecure.tls.certresolver: "letsencrypt"
    traefik.http.services.web.loadbalancer.server.port: "5173"
```

Traefik enruta cualquier petición por el puerto 80 al puerto 443 encriptado por https. Estas peticiones obtienen los datos del servicio Vite ejecutado en el puerto 5173.

Con todo configurado, solo falta recibir datos desde el módulo de invernadero haciendo uso de publicaciones en el topic de Kafka.