

# 2021 INFORME



Proyectos

## “SISPATINT 2021”

PRUEBA, CONFIGURACIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA PATINT, Y  
ESTUDIO Y ANÁLISIS DE BIOMATERIALES

Informe: Resumen de resultados técnicos

Número de proyecto: 22100010

Expediente: IMAMCC/2021/1

Duración: Del 01/01/2021 al 31/12/2021

Coordinado en AIDIMME por: ABIÁN PÉREZ, MIGUEL ÁNGEL

Línea de I+D: BIOMATERIALES



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## ÍNDICE

---

1. Motivación del proyecto.....	3
2. Objetivo general del proyecto.....	5
3. Objetivos concretos del proyecto.....	11
4. Paquete de trabajo 1. Definición de una nueva arquitectura para el sistema PATINT.....	12
5. Paquete de trabajo 2. Implementación, configuración y prueba de la nueva arquitectura del sistema PATINT.....	19
6. Paquete de trabajo 3. Desarrollo, configuración y prueba de una red completa de sensores del sistema PATINT.....	36
7. Resumen y conclusiones.....	50

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto SISPATINT 2021, continuación del proyecto SISPATINT desarrollado en 2020 y financiado por fondos GVA, consta de diferentes actividades de investigación aplicada para **probar, configurar y mejorar el sistema PATINT** (desarrollado en 2019 en el proyecto DIPPATINT, también con la financiación de fondos GVA), así como de actividades para el estudio y análisis de biomateriales.

El innovador sistema PATINT es una herramienta para monitorizar, preventivamente y de forma automatizada y en tiempo real, la madera en obras de arte, construcciones de patrimonio y obra nueva.

Este sistema, robusto, flexible y escalable, se ha diseñado desde el principio para que sea compatible con plataformas de Smart Cities y con futuros avances en el campo de ciudades inteligentes, que cada vez se extiende más tanto en tecnologías y estándares como en aspectos semánticos (vocabularios, ontologías, etc.).

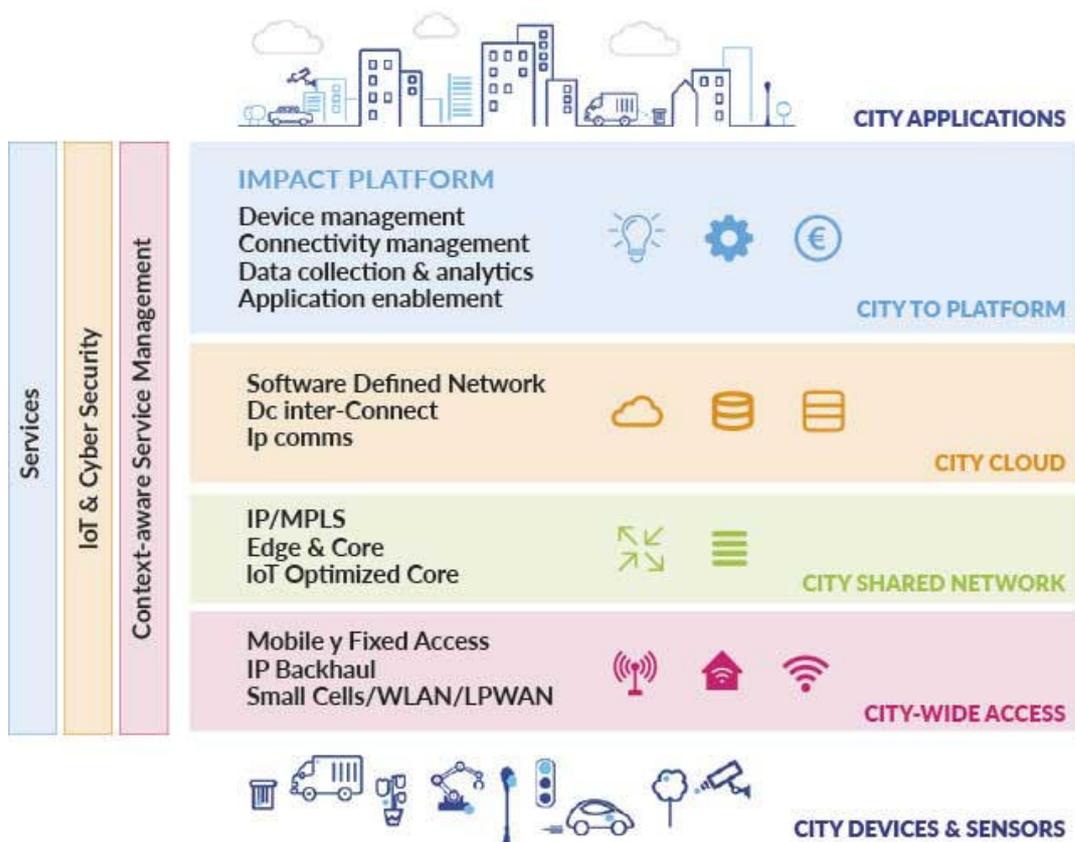


Imagen 1. Esquema simplificado de una plataforma de Ciudad Inteligentes. Fuente: Cámara de Comercio de Valencia

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

AIDIMME forma parte del comité CTN 178 «Ciudades inteligentes», que elabora normas UNE sobre ciudades inteligentes, su aplicación, el escenario internacional y las implicaciones para los diferentes agentes. Por ejemplo, la norma UNE 178201 analiza el concepto de “Ciudad Inteligente” y propone una definición formal, además de determinar los atributos que la caracterizan y los requisitos necesarios para que una ciudad pueda considerarse como inteligente.

Los requisitos que incluye esta norma son útiles como base de una semántica común de Ciudad que permita una definición coherente de indicadores normalizados, y que sirva como elemento de relación entre las infraestructuras TIC, métricas y políticas de las Ciudades Inteligentes. Este conocimiento se ha tenido en cuenta en SISPATINT 2021.



Imagen 2. Ejemplo de la interfaz provisional que se está desarrollando en el proyecto SISPATINT 2021 para la visualización de datos de la madera. En este ejemplo se muestran solamente tres variables (temperatura ambiental, humedad ambiental y contenido en humedad).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 2. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

El presente proyecto incluye diferentes actividades de investigación aplicada para la prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, que presenta mejoras sustanciales respecto a las herramientas actuales de monitorización preventiva y automatizada de la degradación de materiales, en concreto de la madera y materiales derivados (madera microlaminada, tableros contrachapados, tableros de partículas, tableros de fibras o MDF, madera laminada encolada, etc.).

En la Comunitat Valenciana y en general en el entorno mediterráneo, la madera sufre con frecuencia ataques tanto bióticos (termitas, hongos de pudrición y cromógenos, carcoma fina y gruesa) como abióticos (humedad, salinidad, fuego, radiación solar).

Este material, que forma parte de obras de arte y de estructuras de muchos edificios del patrimonio histórico valenciano, necesita por tanto **un sistema de monitorización eficaz y que esté adaptado a las tecnologías TIC más recientes.**

La falta de monitorización preventiva de la madera tiene como principales consecuencias:

- 1) **La necesidad de aplicar tratamientos y rehabilitaciones costosas, que además repercuten muy negativamente en el medio ambiente.**  
Por ejemplo, los pesticidas usados contra las termitas pueden contaminar los sistemas acuáticos y entrar en la cadena alimentaria. El hexaflumorón, que se usa hoy en muchos tratamientos, es muy tóxico para las abejas y los organismos acuáticos. Sus efectos crónicos y a largo plazo en las personas son principalmente toxicidad hepática, enfisema moderado y trastornos metabólicos de las proteínas. Además, es una sustancia química persistente y resulta elevada su bioacumulación en la cadena alimentaria humana.  
Algunos pesticidas contra las termitas, como el flufenoxurón, fueron ya prohibidos en la Unión Europea por su toxicidad tanto para el medio ambiente como para los seres humanos.
- 2) **El deterioro progresivo del patrimonio histórico y artístico valenciano,** que en algunos casos puede afectar directamente a la seguridad de los visitantes y ocupantes.

Las siguientes fotografías muestran deterioros producidos en el patrimonio histórico valenciano que podrían haberse detectado precozmente usando el sistema PATINT y que por tanto no hubieran necesitado costosas rehabilitaciones ni tratamientos químicos, que repercuten negativamente en el medio ambiente. Por ejemplo, los

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

pesticidas usados contra las termitas subterráneas contaminan los sistemas acuáticos y terminan entrando en la cadena alimentaria.

Anualmente, esa especie de termitas provoca en Europa gastos que sobrepasan los **730 millones de €uros en daños, tratamientos y reparación en estructuras y edificios de madera**. Dicha cantidad está aumentado por el **cambio climático**, que ocasiona que las termitas estén comenzando a extenderse a zonas donde hasta ahora había bajas temperaturas prolongadas en invierno y, en consecuencia, sus colonias no podían sobrevivir.



**Imagen 3. Degradación de jácenas de madera de un palacio renacentista perteneciente al patrimonio histórico valenciano. Los daños ocasionados por termitas curvaron varios forjados de grandes luces.**

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



**Imagen 4. Degradaciones por carcoma y hongos en un ermitorio valenciano gótico del siglo XIV.**

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 5. Degradaciones por termitas y carcoma en un ermitorio valenciano gótico del siglo XIV.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 6. Degradaciones por termitas y carcoma en un edificio patrimonial valenciano del siglo XVIII.



Imagen 7. Degradaciones por hongos y carcoma en un edificio patrimonial valenciano del siglo XIX.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 8. Degradaciones por hongos y termita en el empotramiento de una viga de carga.



Imagen 9. Degradación activa por termitas en un edificio renacentista valenciano.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

### 3. OBJETIVOS CONCRETOS DEL PROYECTO

Los objetivos concretos del proyecto en las anualidades 2021 y 2022 se exponen a continuación:

- Definición de una nueva arquitectura del sistema completo PATINT para facilitar la conexión a la nube (*cloud computing*) y a plataformas IoT, de manera que el nodo receptor deje de ser un mero repetidor y se convierta en un computador embebido, cerrado y autónomo, con capacidad suficiente para registrar el estado de la madera en todo momento y generar las alertas oportunas.
- Diseño, implementación, configuración y prueba de un nuevo nodo receptor del sistema PATINT, basado en una Raspberry Pi o similar, de acuerdo con la nueva arquitectura.
- Desarrollo, configuración y prueba de una red completa de sensores de monitorización de la madera en obras de arte y construcciones de patrimonio y obra nueva, compatible con 3G/4G/5G/WiFi y Smart Cities, y basada en la nueva arquitectura.

Todo lo anterior tiene como propósito que los gestores y rehabilitadores puedan optimizar la prevención de estructuras y obras del patrimonio, salvaguardando así la **riqueza cultural de la Comunitat Valenciana**.

Asimismo, el sistema desarrollado puede utilizarse para **monitorizar estructuras nuevas** y vencer la tradicional resistencia en el entorno mediterráneo al uso de madera como material arquitectónico y de ingeniería. El principal factor de esa resistencia es el prejuicio de que la madera se degrada inevitablemente por hongos, humedades e insectos.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 4. PAQUETE DE TRABAJO 1. DEFINICIÓN DE UNA NUEVA ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA PATINT

### Estado del paquete de trabajo: Concluido

La arquitectura inicial del sistema (Arq1), que se muestra en la siguiente figura, se diseñó e implementó en 2019 (proyecto DIPPATINT) y 2020 (proyecto SISPATINT).

Resultó adecuada para probar exhaustivamente en condiciones de laboratorio los nodos sensores y los nodos receptores, así como la comunicación entre ellos. Pero necesitaba ser mejorada y simplificada para hacer posible su uso en inmuebles y para facilitar la conexión a la nube (*cloud computing*) y a plataformas IoT.

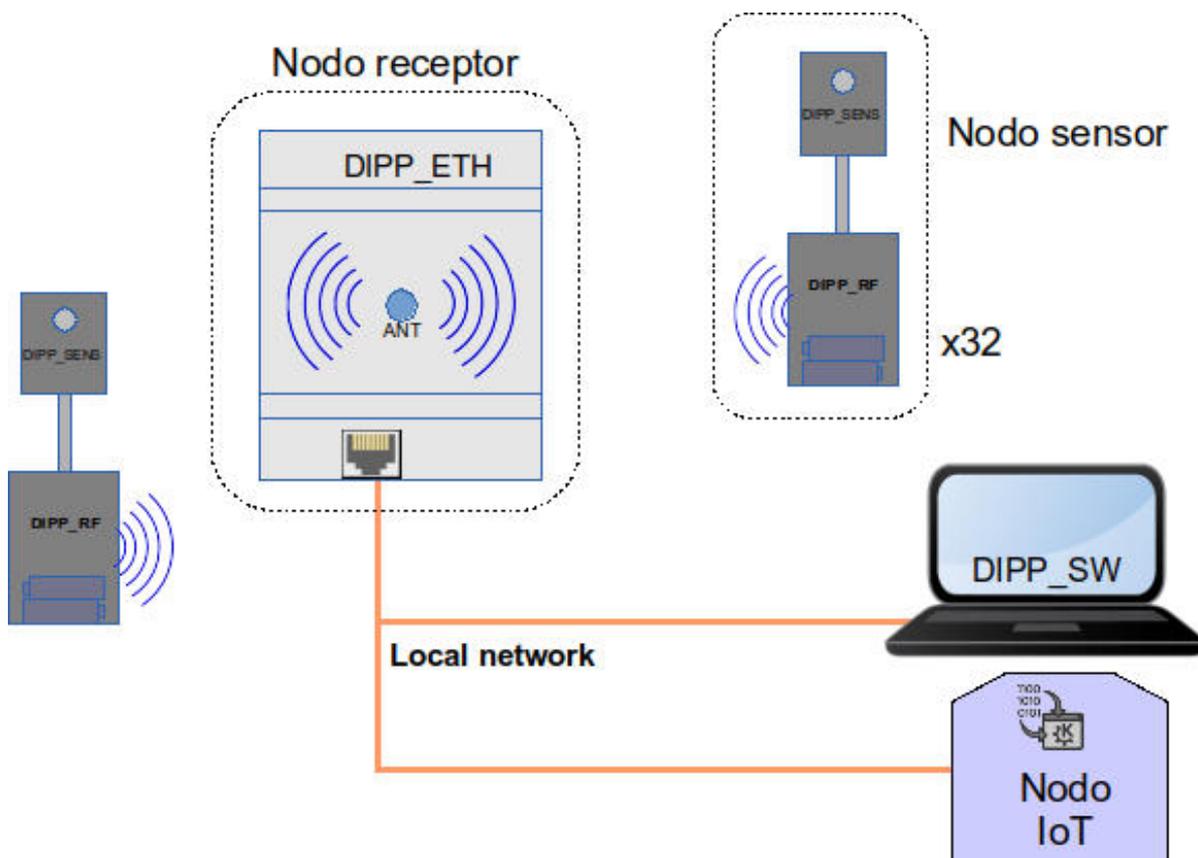


Imagen 10. Esquema simplificado de la arquitectura inicial del sistema PATINT (Arq1), diseñada e implementada en 2019 y 2020. En esta arquitectura era necesario instalar un software de gestión (DIPP\_SW) en el servidor que recibía los datos.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

En Arq1, el nodo sensor del sistema consta de 2 módulos:

- Módulo insertado en madera (**DIPP\_SENS**)
- Módulo de control y comunicaciones (**DIPP\_RF**)

A continuación se muestran fotografías de ambos módulos.



Imagen 11. Fotografía del nodo sensor completo.

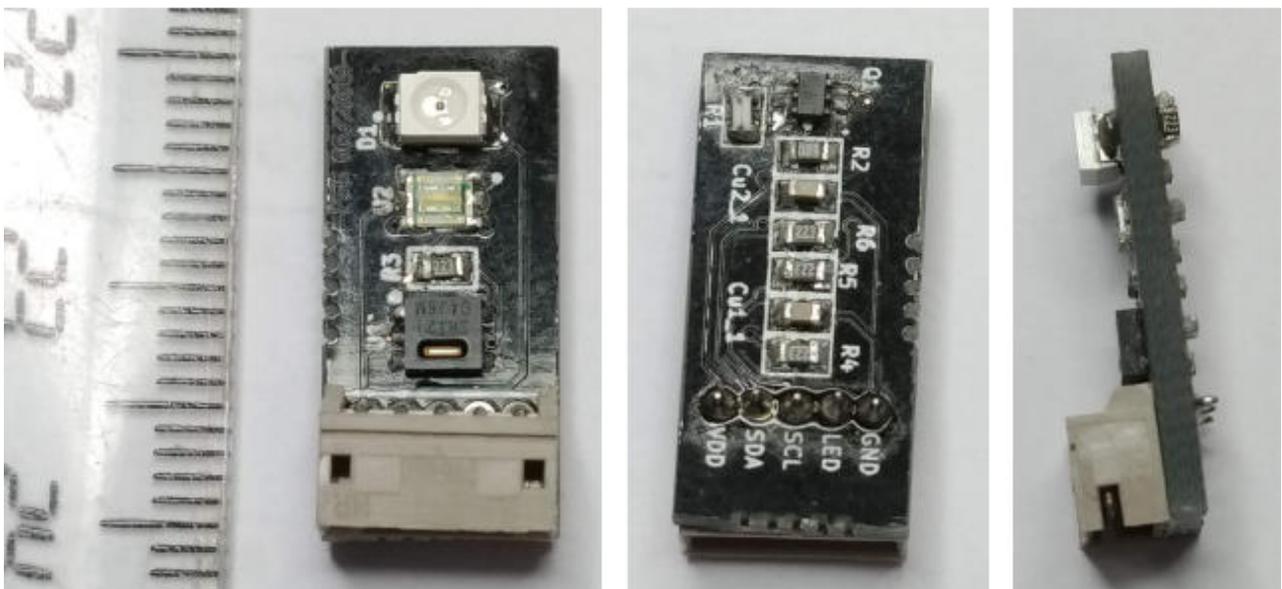


Imagen 12. Fotografía de la placa electrónica del módulo insertado en madera (**DIPP\_SENS**).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 13. Fotografía de DIPP\_SENS con el encapsulado de madera.

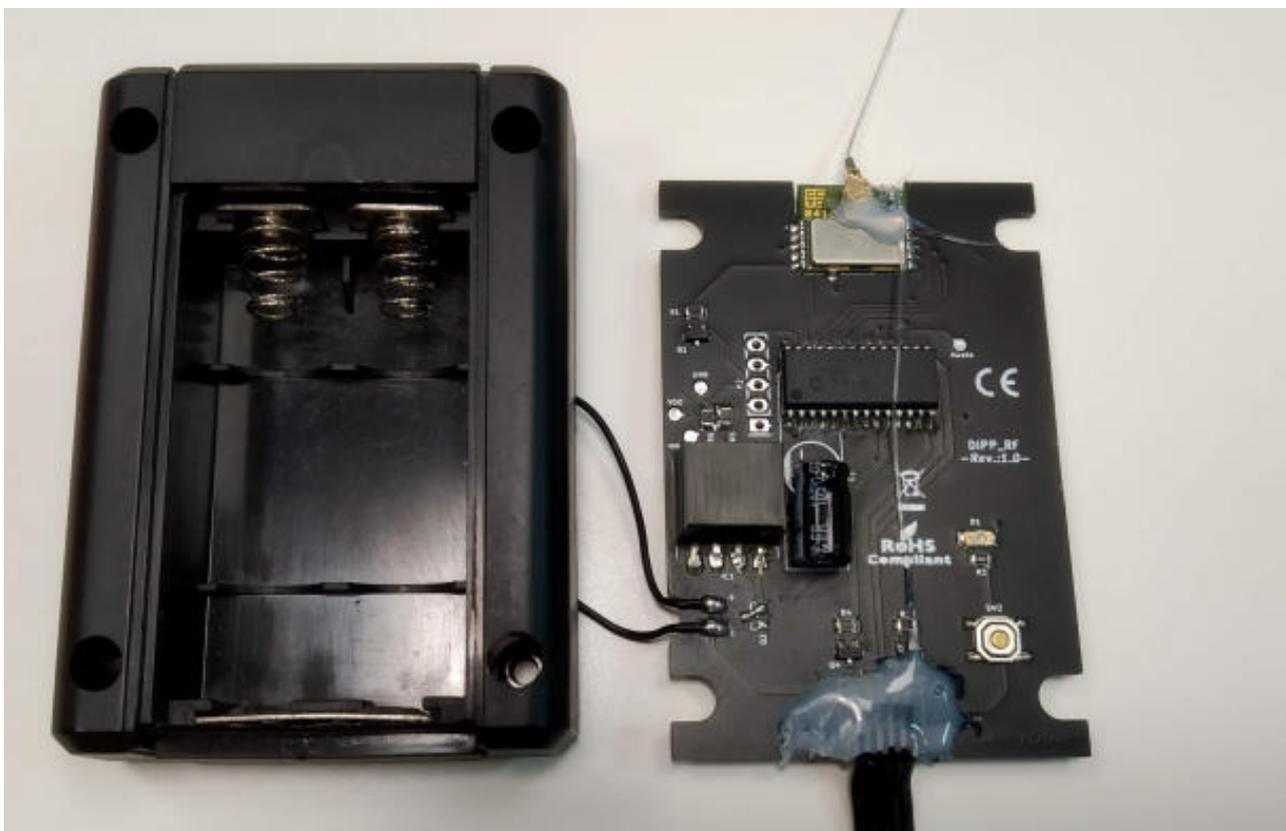


Imagen 14. Placa electrónica del módulo DIPP\_RF.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 15. Nodo sensor. DIPP\_SENS, DIPP\_RF y cable de unión.

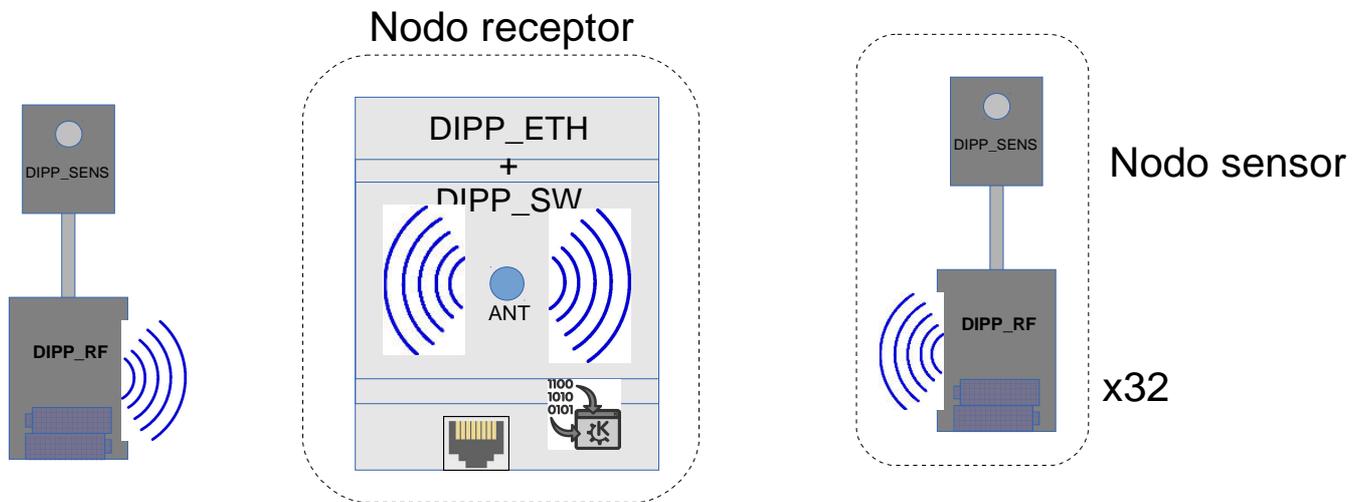
## **Tarea 1.1: Diseño de una nueva arquitectura para el sistema PATINT**

**Estado de la tarea: Concluida**

### **1.1.1. Diseño de la nueva arquitectura (nodo receptor con Raspberry Pi)**

Inicialmente se propuso que el nodo receptor del sistema, encargado de recibir los datos de los nodos sensores y de enviarlos a un nodo IoT, dejase de ser un mero repetidor y se convirtiese en un computador embebido, cerrado y autónomo (Raspberry Pi o similar), con capacidad suficiente para registrar el estado de la madera en todo momento y generar las alertas oportunas. La arquitectura propuesta (Arq2) se muestra en la siguiente imagen.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



**Imagen 16. Nueva arquitectura del sistema (Arq2) propuesta inicialmente en SISPATINT 2021.**

Esa nueva arquitectura requería el diseño de un software de gestión que se instalase en la Raspberry Pi del nodo receptor, con las siguientes funciones:

- Implementación del protocolo de comunicaciones de radiofrecuencia del sistema.
- Registro de datos y visualización de la información.
- Generación de avisos o alarmas por detección de xilófagos, presencia de hongos de pudrición, humedad elevada de la madera, etc.

### [1.1.2. Diseño de la arquitectura final \(sin nodo receptor: conexión directa de los nodos sensores a la nube\)](#)

En Arq2, el nodo receptor está formado por una Raspberry Pi conectada a una PCB hecha a medida para la gestión de la comunicación por radiofrecuencia (RF). El sistema es autónomo, y una vez desarrollado el software de la Raspberry Pi podría monitorizar el estado de la madera y generar avisos o alarmas sin necesidad de instalar un software específico en un servidor receptor de los datos.

**Ahora bien, antes de comenzar el desarrollo del software de la Raspberry se analizaron los avances recientes en componentes WiFi de bajo consumo y tras realizar numerosos cálculos sobre su consumo energético para diversos escenarios de uso, se consideró viable su incorporación al sistema.**

El consumo energético de los componentes WiFi y en general de los componentes de radiofrecuencia resulta por lo general mucho más elevado que el de otros componentes (LED, fotodetector, etc.), y en consecuencia es crítico para la duración

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

de las pilas del sensor. Reduciendo de manera significativa el consumo de los componentes WiFi mediante el ajuste y optimización de los algoritmos y los parámetros de configuración, se consideró posible **prescindir totalmente del nodo receptor sin que la duración de las pilas del nodo sensor sea penalizada en exceso. Esto permite una arquitectura del sistema mucho más simple que Arq2.**

Esta nueva arquitectura (Arq3), que es la que se está implementando finalmente en el proyecto, se esquematiza en la siguiente imagen.

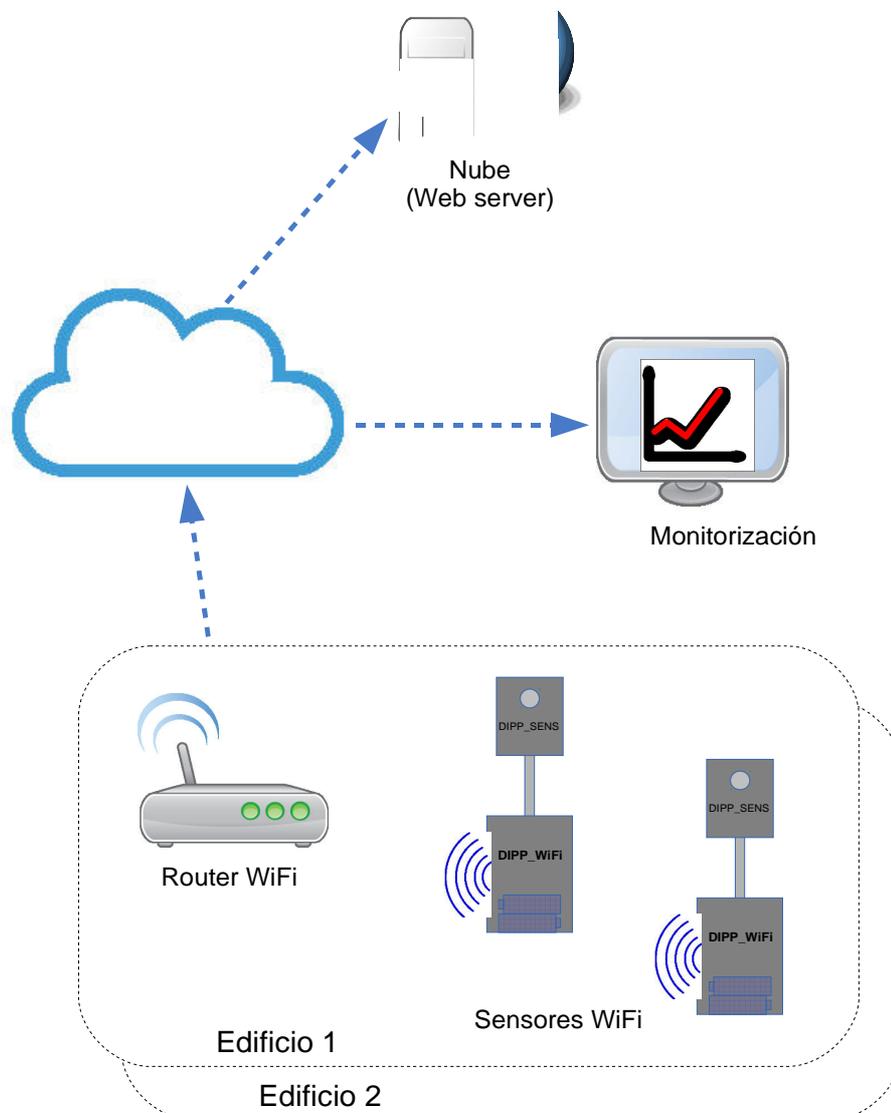


Imagen 17. Nueva arquitectura del sistema (Arq3) propuesta en SISPATINT 2021, que es la que finalmente se está implementando.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

### Tarea 1.2: Valoración de la nueva arquitectura para el sistema PATINT

#### **Estado de la tarea: Concluida**

Con Arq3 se obtienen las siguientes ventajas relevantes con respecto a Arq1 y Arq2:

- **No hay límite en el número de sensores por inmueble.** En Arq1 y Arq2 hay un límite de 32 sensores por cada nodo receptor.
- **Se elimina el nodo receptor y por tanto también desaparece el software de gestión de éste.**
- **Los sensores pueden instalarse en cualquier parte del mundo,** ya que utilizan la red WiFi para comunicarse, en vez de la banda libre de radio de 868 MHz, que limitaba su uso a Europa.
- **Permite la conexión directa con la nube y con plataformas de Smart Cities.**

Ahora bien, la implementación de Arq3 exige diseñar de cero el módulo de control y comunicaciones del nodo sensor (DIPP\_RF) y reducir al máximo su consumo energético del componente WiFi, que es con diferencia el componente de mayor consumo.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 5. PAQUETE DE TRABAJO 2. IMPLEMENTACIÓN, CONFIGURACIÓN Y PRUEBA DE LA NUEVA ARQUITECTURA DEL SISTEMA PATINT

### Estado del paquete de trabajo: En marcha

La tarea 2.1.1 (concluida) corresponde a Arq2. La tarea 2.2.2 (en marcha) corresponde a Arq3, que es la arquitectura final del sistema, como se explicó en el apartado 5 de la memoria.

### Tarea 2.1: Implementación, configuración y prueba de la nueva arquitectura del sistema PATINT

#### Estado de la tarea: En marcha

#### 2.1.1. Implementación de la nueva arquitectura (nodo receptor con Raspberry Pi)

En Arq2, el nodo receptor está formado por una Raspberry Pi conectada a una PCB desarrollada a medida en el proyecto con el objetivo de gestionar la comunicación por radiofrecuencia (RF), como muestra la siguiente imagen.

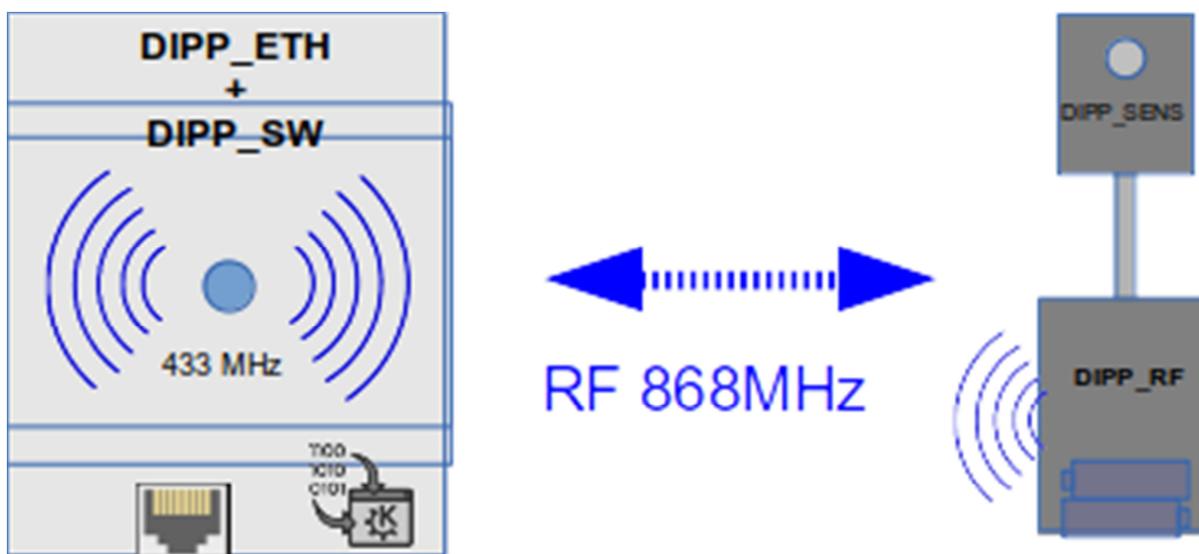


Imagen 18. Nodo receptor en Arq2.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

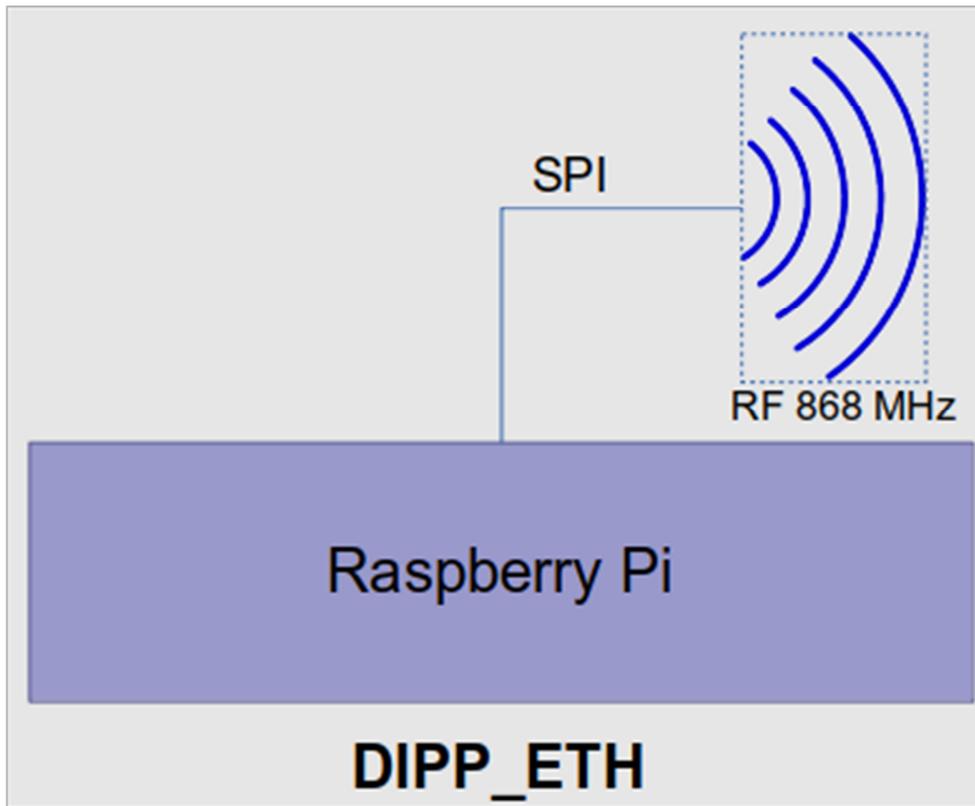


Imagen 19. Diagrama de bloques del nodo receptor en Arq2.

La siguiente figura muestra la conexión entre el puerto GPIO (*General Purpose Input/Output*) de la Raspberry Pi y el módulo de comunicaciones RF SPSGRF-868 en que se basa la PCB auxiliar desarrollada, que está conectada a Raspberry y permite la comunicación inalámbrica con los nodos sensores.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

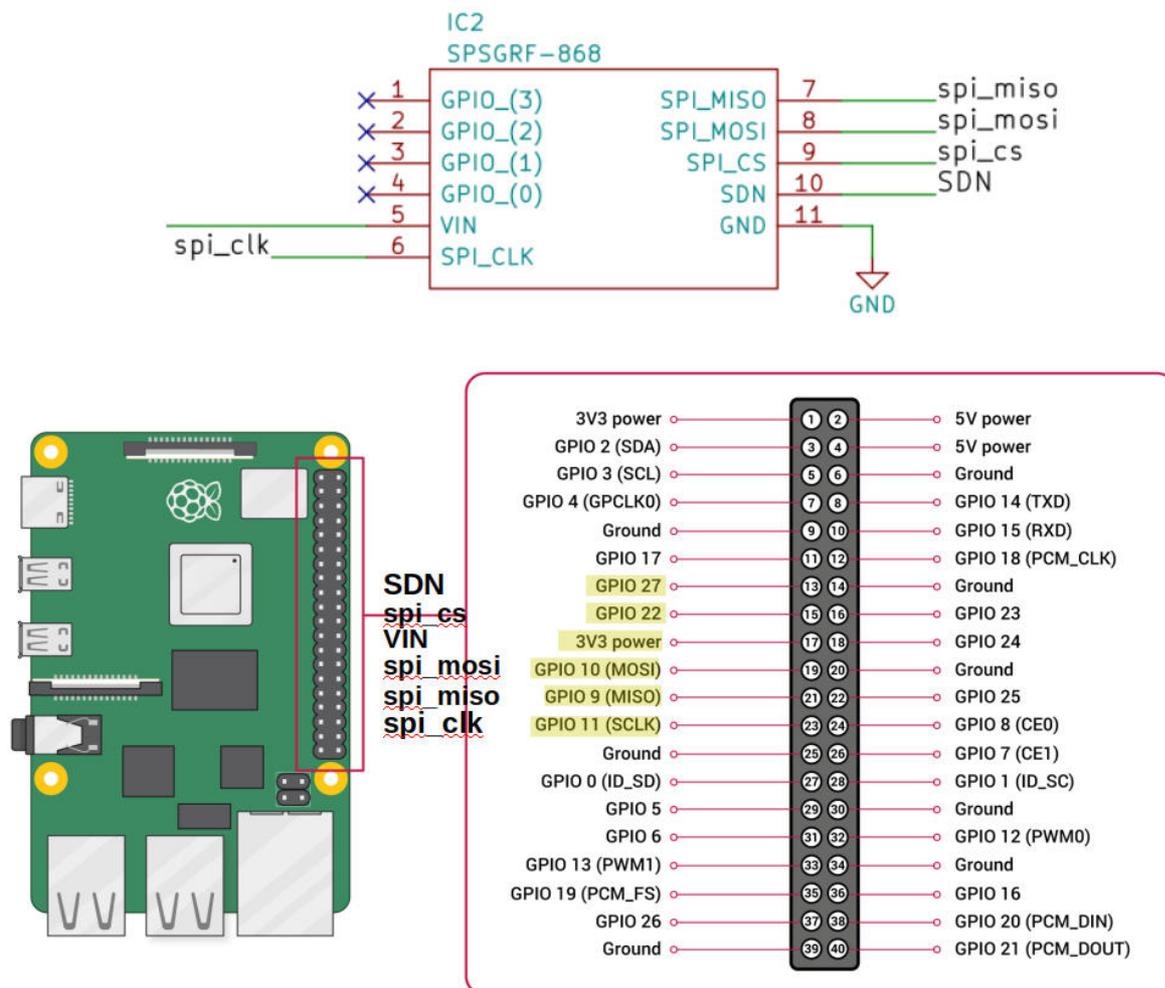


Imagen 20. Interconexión entre Raspberry Pi y el módulo de comunicaciones de radiofrecuencia.

La figura 21 muestra la PCB de comunicaciones desarrollada para la Raspberry Pi. El conjunto se puede montar en una caja para carril DIN o en un módulo de sobremesa, como muestran las figuras 22 y 23.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

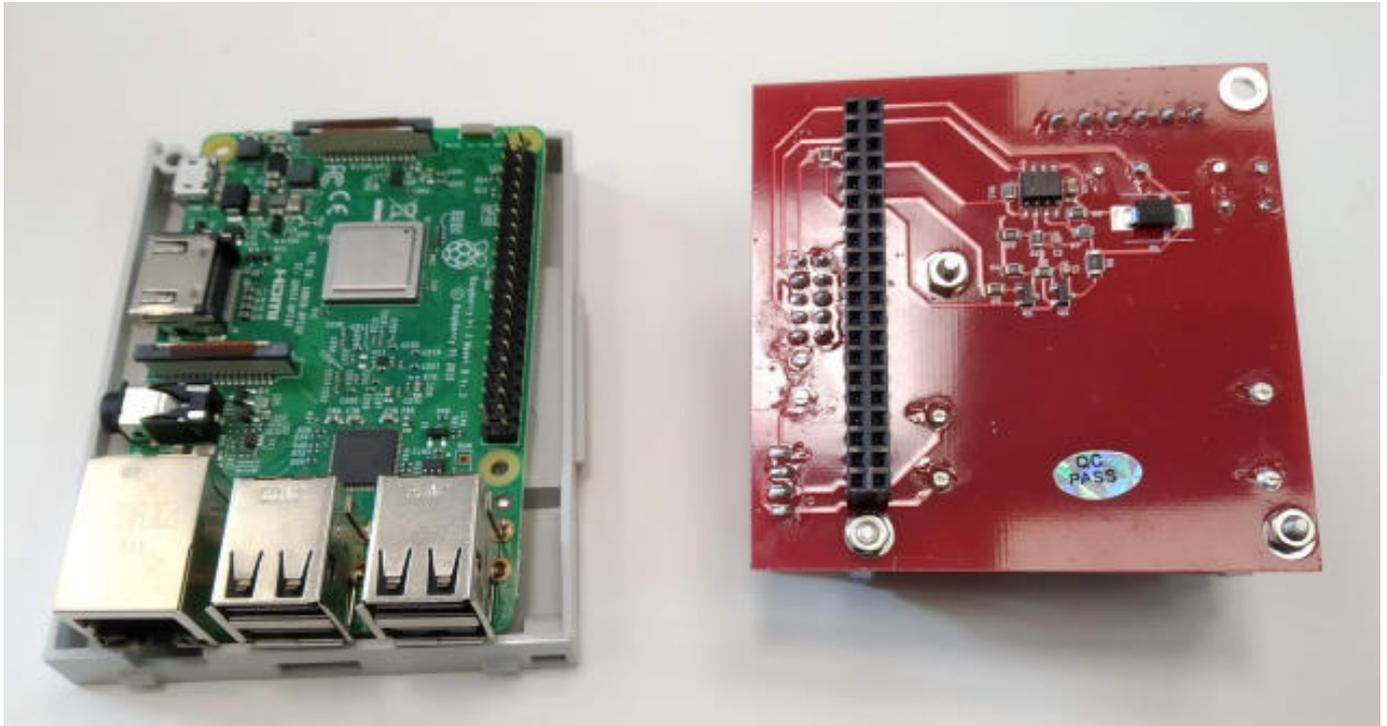


Imagen 21. Raspberry Pi junto a PCB hecha a medida para conectar a su puerto GPIO (General Purpose Input/Output).



Imagen 22. Nodo receptor en caja de carril DIN.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



**Imagen 23. Nodo receptor en caja de sobremesa.**

Dado que al final se decidió implementar Arq3 en vez de Arq2, por los motivos expuestos en el apartado 5 (avances recientes en módulos WiFi de bajo consumo y simplicidad y universalidad de Arq3), no se configuró y probó de forma completa el nodo receptor desarrollado, ya que en Arq3 no existe tal nodo.

### [2.1.2. Implementación de la nueva arquitectura \(sin nodo receptor: conexión directa de los nodos sensores a la nube\)](#)

En Arq3, que es la arquitectura finalmente elegida para su implementación, no hay nodos receptores y los nodos sensores son también nodos WiFi (es decir, monitorizan automáticamente la madera y también transmiten por WiFi los datos obtenidos) y, por tanto, incluyen módulos WiFi de bajo consumo energético.

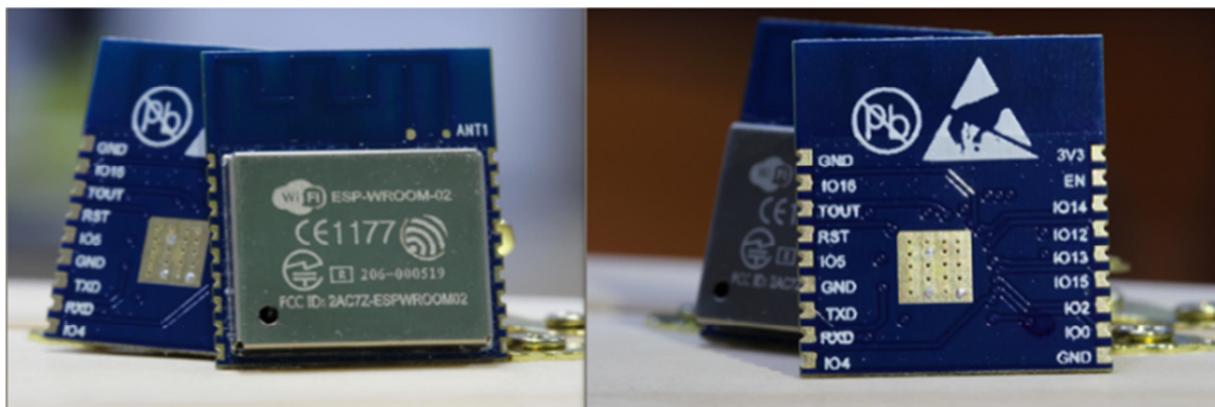
Cada nodo sensor WiFi consta de un módulo DIPP\_WIFI, que sustituye al módulo DIPP\_RF de Arq1 y de un módulo DIPP\_SENS que podría mantenerse sin cambios respecto a Arq1. Dado que para implementar Arq3 resulta imprescindible diseñar nuevas placas impresas, se aprovechó para incorporar pequeñas modificaciones al módulo DIPP\_SENS a fin de facilitar su fabricación y montaje.

#### **2.1.2.1. Módulo DIPP WIFI**

El diseño de este módulo se basó en el componente electrónico ESP-WROOM-02, que integra el microcontrolador ESP8266EX de la marca Espressif.

Dicho componente lleva incorporada la antena y cumple con las reglas de certificación CE (y otras), como muestra la hoja de datos del fabricante.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Categories	Items	Specifications
Wi-Fi	Standards	FCC/CE/TELEC/KCC/SRRC/IC/NCC
	Wi-Fi protocols	802.11 b/g/n
	Frequency range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz (2400M ~ 2483.5M)

**Imagen 24. Componente electrónico ESP-WROOM-02.**

Para abordar el desarrollo del módulo DIPP\_WIFI, se decidió realizar preliminarmente varios prototipos de éste. Para ello hubo primero que diseñar y montar varias PCBs específicamente desarrolladas para el proyecto, que incluyen el componente ESP-WROOM-02. **En total, se desarrollaron de forma iterativa 11 prototipos de la placa de circuito impreso, con los componentes electrónicos ubicados en distintas posiciones de ella, hasta conseguir un prototipo final compacto, simple y muy fácil de montar.**

A modo de ejemplo, las siguientes imágenes muestran varios de los prototipos desarrollados del módulo DIPP\_WIFI, en algunos casos conectados al módulo DIPP\_SENS (sin el encapsulado de madera negra).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

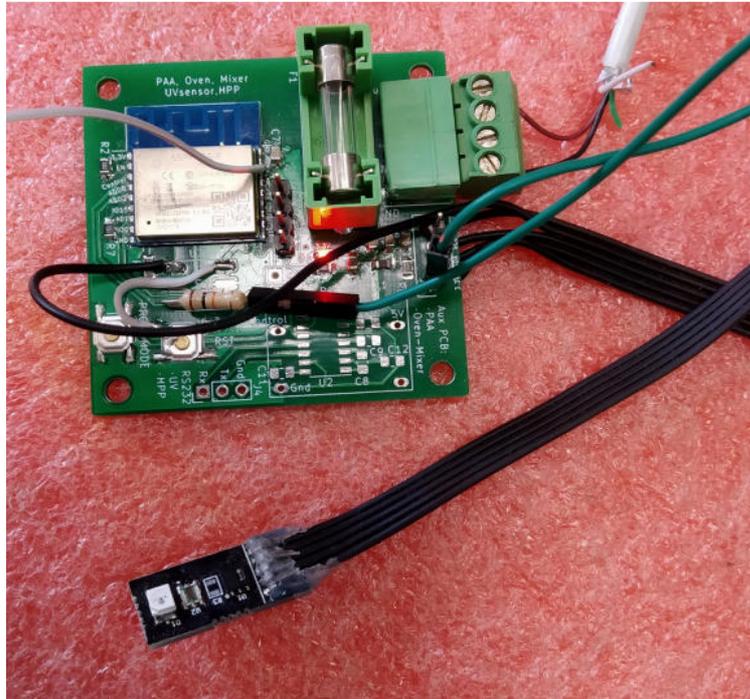


Imagen 25. Uno de los prototipos iniciales DIPP\_WIFI, con la 3ª versión de la PCB, conectado al módulo DIPP\_SENS.

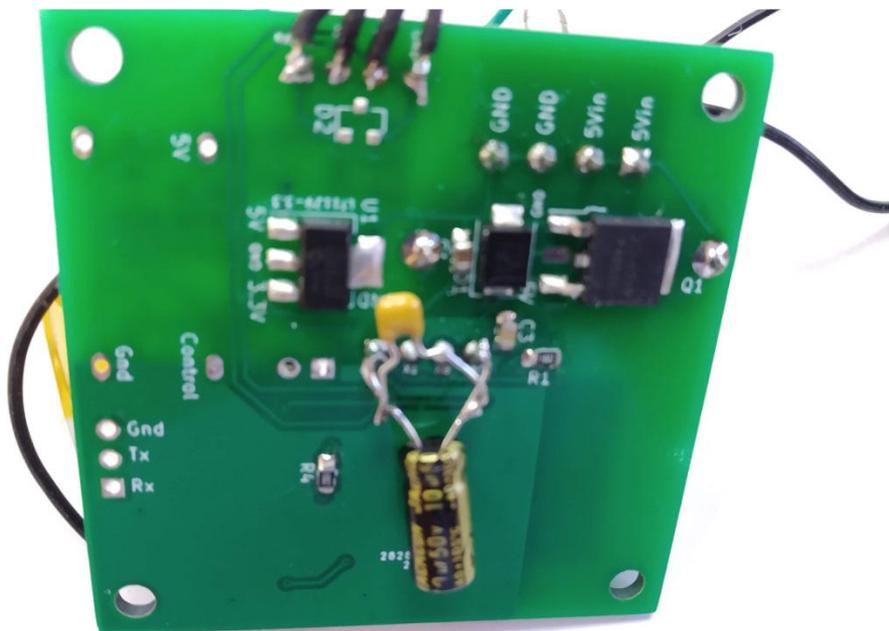


Imagen 26. Otro de los prototipos iniciales DIPP\_WIFI (parte trasera), con la 7ª versión de la PCB.





“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

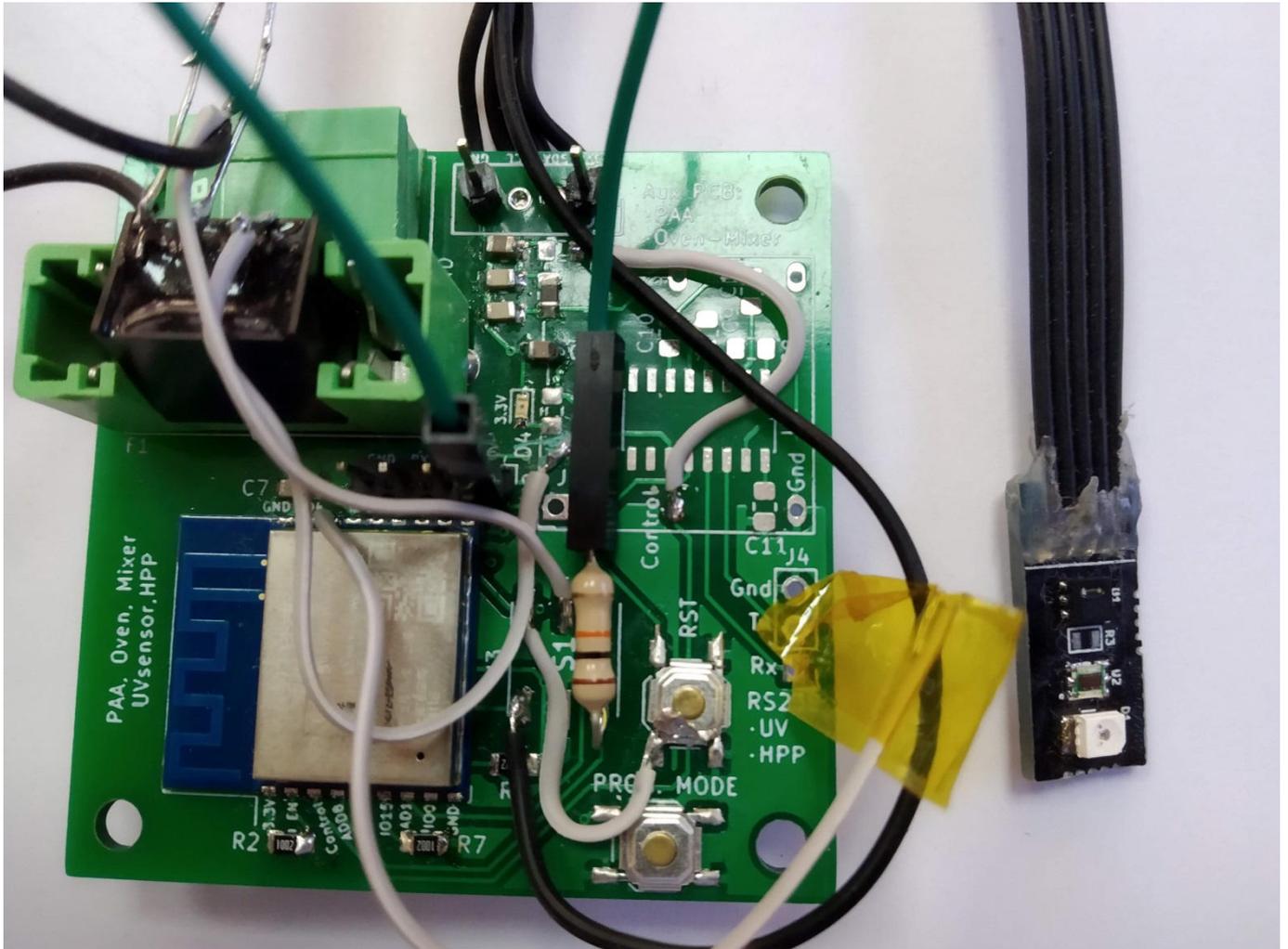


Imagen 29. Otro de los prototipos iniciales DIPP\_WIFI con la PCB final, conectado al módulo DIPP\_SENS (2).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

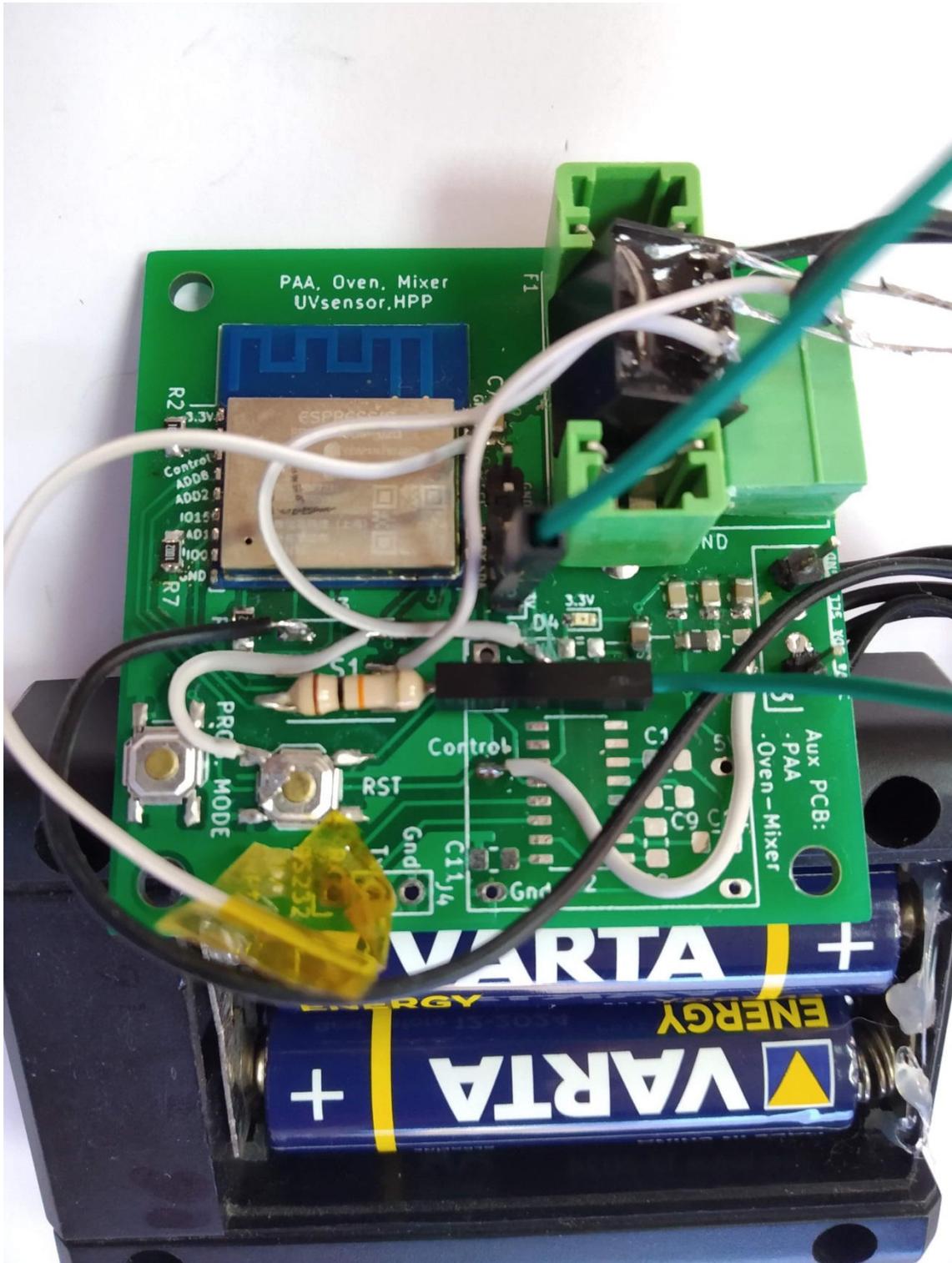


Imagen 28. Otro de los prototipos iniciales DIPP\_WIFI con la PCB final, conectado al módulo DIPP\_SENS (3).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

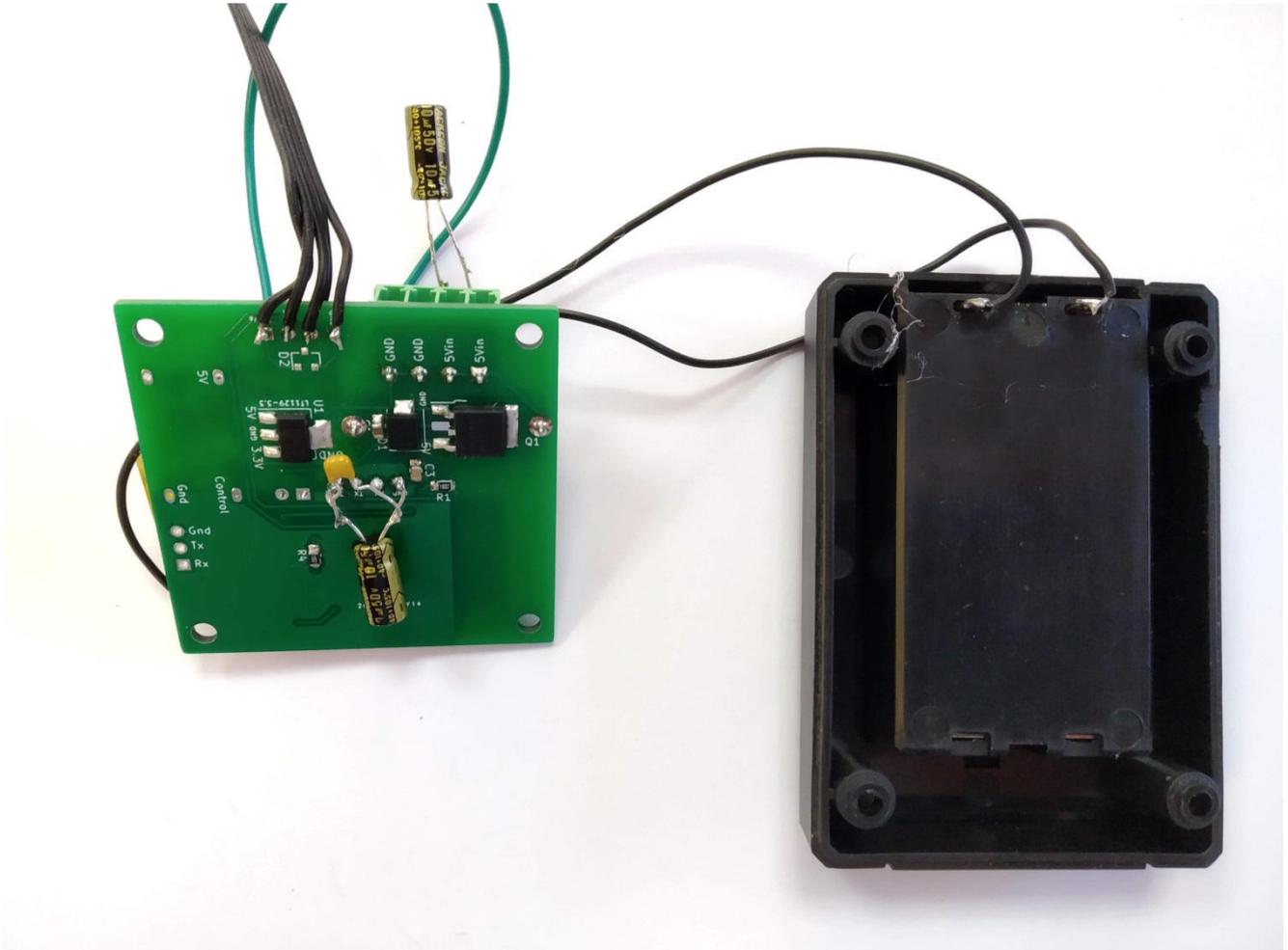


Imagen 29. Otro de los prototipos iniciales DIPP\_WIFI (parte trasera) con la PCB final, conectado al módulo DIPP\_SENS (4).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

La siguiente imagen muestra el diseño del prototipo de la PCB final con el componente WiFi.

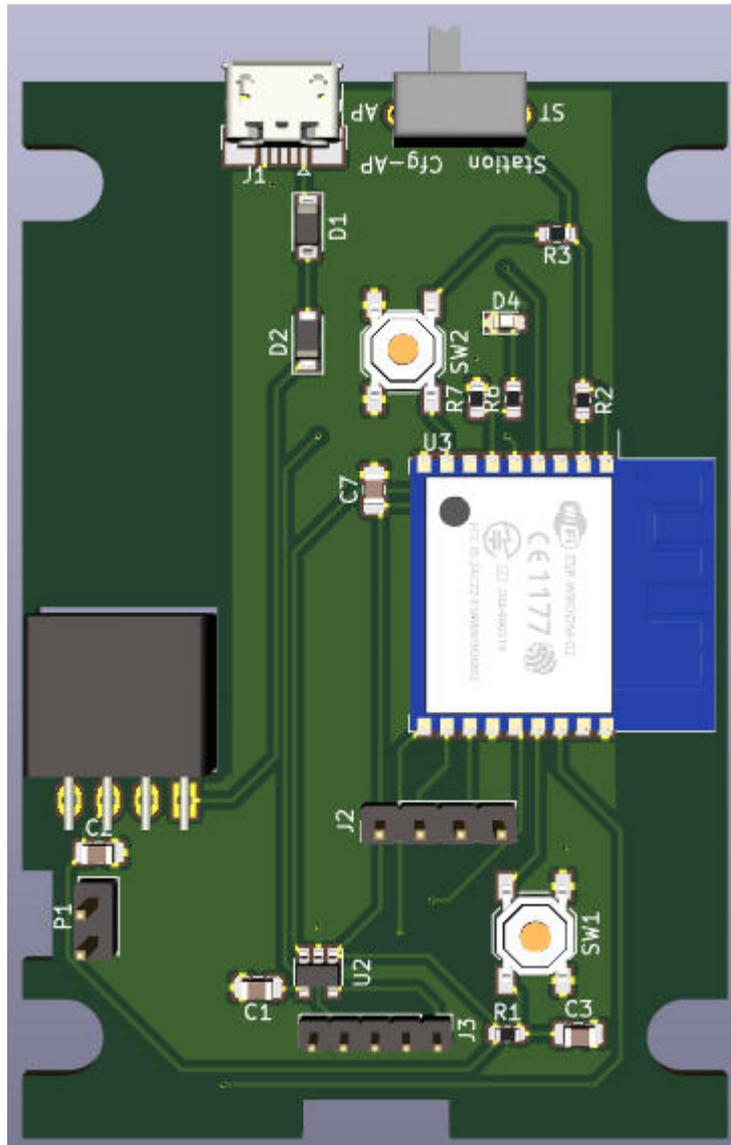


Imagen 30. Esquema del diseño de la PCB final con el componente WiFi.

El prototipo diseñado de PCB final con el componente WiFi tiene las mismas dimensiones que la PCB que se fabricó para Arq1, lo que permite seguir utilizando la misma caja con portapilas.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

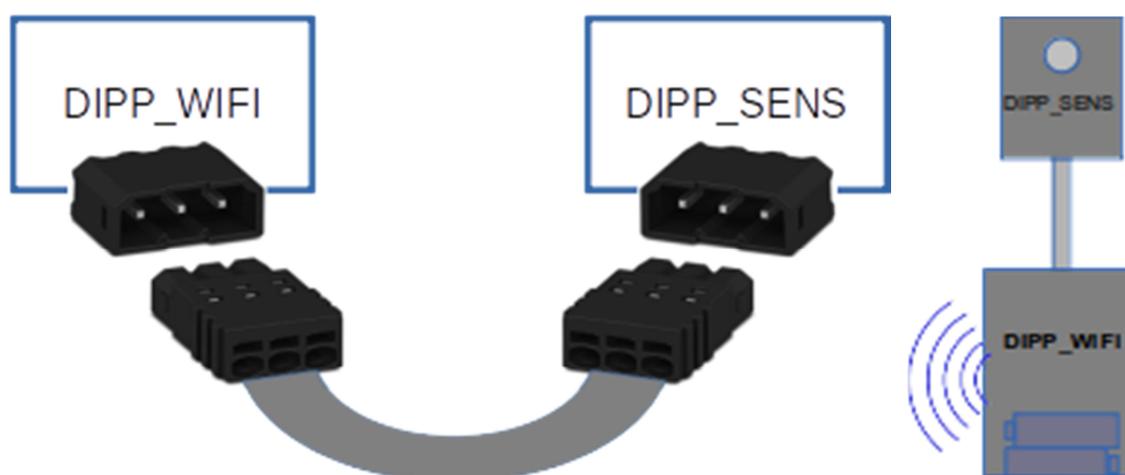


**Imagen 31. Caja con portapilas para el prototipo de PCB con módulo WiFi.**

Como puede observarse, se incorporó un conector micro-USB, que permite alimentar el módulo con una fuente externa (además de las pilas).

Con el objetivo de facilitar el montaje, se incorporó un conector de 5 polos para la conexión de la PCB final con los sensores. En DIPP\_SENS también se incorporó el mismo conector (que no existía en Arq1), lo que permite el intercambio de sensores de forma rápida y la modificación de la longitud del cable fácilmente.

La siguiente figura muestra los conectores que se utilizan para la conexión de DIPP\_WIFI con DIPP\_SENS. Estos conectores pertenecen a la serie de bloques terminales de resorte “COMBICON Compact” de Phoenix Contact. En la PCB final se suelda el modelo 1814809 y al cable se conecta el modelo 1778861.



**Imagen 32. Conectores para la conexión de DIPP\_WIFI con DIPP\_SENS.**

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

La PCB final lleva también un conmutador deslizante para poder seleccionar entre el modo de trabajo normal otros modos de configuración.

**Una vez comprobado el satisfactorio funcionamiento del prototipo final de DIPP\_WIFI y realizados algunos ajustes menores en la electrónica (PCB y componentes) y en la programación, queda pendiente en esta tarea, para la próxima anualidad, desarrollar varios módulos finales DIPP\_WIFI y evaluarlos.**

### **2.1.2.2. Módulo DIPP SENS**

Como se ha mencionado en 2.1.2 (página 24), este módulo podría mantenerse como en Arq1, sin modificaciones, ya que demostró un buen comportamiento en los ensayos realizados en la anualidad anterior. Sin embargo se propone modificar la forma física de la PCB, incorporando un conector que facilite su montaje y evite la soldadura directa de cable sobre PCB, que supone la adición de un adhesivo para fijar el cable a la placa.

Las siguientes imágenes muestran la nueva PCB propuesta para el sensor y cómo sería su montaje sobre el encapsulado de madera:

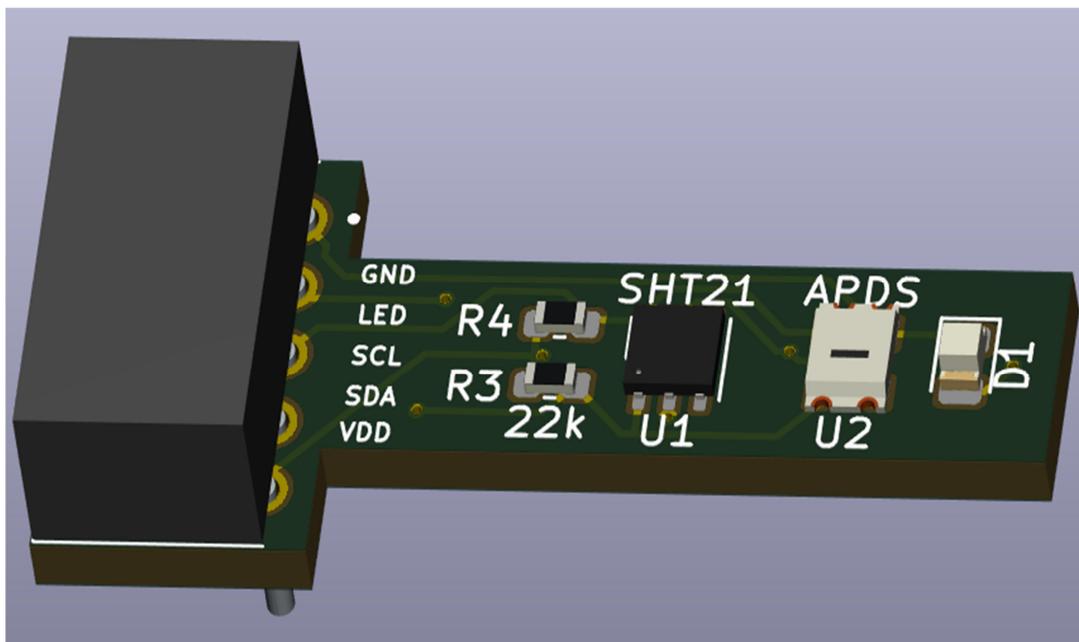
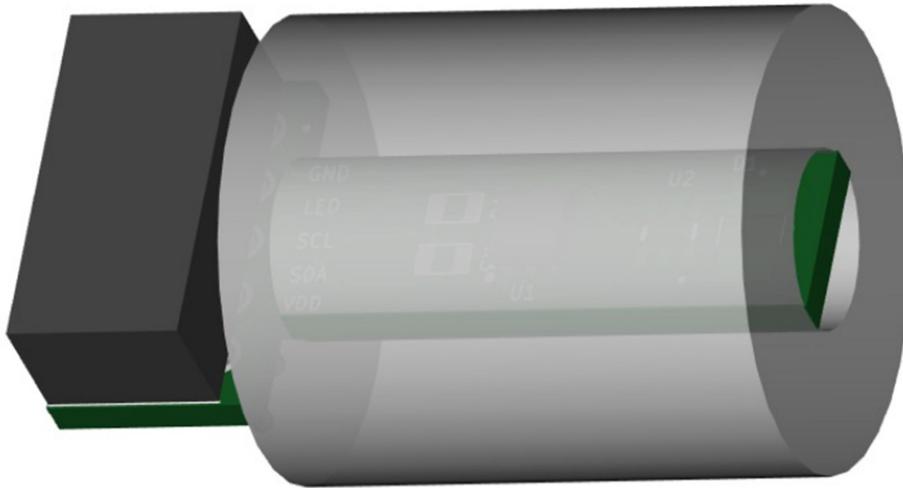


Imagen 33. Esquema de la nueva PCB propuesta para el módulo DIPP\_SENS.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



**Imagen 34. Esquema del montaje en el encapsulado de madera de la nueva PCB propuesta para el módulo DIPP\_SENS.**

El esquema eléctrico se mantiene sin cambios, con los mismos componentes electrónicos que en Arq1, salvo el LED. Se aprovechará esta modificación para sustituir el LED por uno de menor tamaño (2x1.2x1,1 mm; el actual es de 3,2x2,8x1,9 mm), pero con idénticas características eléctricas y ópticas.

**Queda pendiente en esta tarea desarrollar, para la próxima anualidad, el módulo DIPP\_SENS con las modificaciones expuestas de diseño y del componente LED.**

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## Tarea 2.2: Programación, configuración y prueba de la nueva arquitectura del sistema PATINT

**Estado: No comenzada aún**

### 2.2.1. Programación, configuración y prueba de DIPP WIFI

Está actividad se realizará en la próxima anualidad con la versión final de este módulo.

### 2.2.2. Programación, configuración y prueba de DIPP SENS

Está actividad se realizará en la próxima anualidad, una vez esté concluido el módulo DIPP\_SENS con las modificaciones de diseño y del componente LED expuestas en 2.1.2.2.

### 2.2.3. Comunicación entre DIPP WIFI y DIPP SENS

Está actividad se realizará en la próxima anualidad.

### 2.2.4. Comunicación entre DIPP WIFI y la nube

Está actividad se realizará en la próxima anualidad.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 7. PAQUETE DE TRABAJO 3. DESARROLLO, CONFIGURACIÓN Y PRUEBA DE UNA RED COMPLETA DE SENSORES DEL SISTEMA PATINT

**Estado del paquete de trabajo: En marcha**

### Tarea 2.1: Desarrollo, configuración y prueba de una red completa de sensores del sistema PATINT

**Estado de la tarea: En marcha**

Se desarrolló una red de nodos sensores PATINT con la arquitectura original del sistema (Arq1). Para ello se implementaron, programaron y configuraron 10 nodos sensores y 1 nodo receptor, y se probaron en laboratorio primero.

Los nodos sensores, protegidos por cajas aislantes, se enterraron después en un terreno donde hay termitas, y desde entonces se está probando la red y registrando los datos enviados por los nodos sensores enterrados.

Aunque el **objetivo final es probar el sistema en obras de arte y edificios**, se decidió de forma preliminar enterrar la red de sensores en un terreno por tres motivos:

- Comprobar su funcionamiento en condiciones ambientales extremas.
- Tener fácil acceso a ellos a fin de facilitar posibles comprobaciones, sustituciones de componentes, cambios de configuración, cambios de programación, etc.
- Verificar la estabilidad, robustez y fiabilidad de la red en largos períodos de tiempo.

A continuación, a modo de ejemplo, se exponen fotografías de algunos de los nodos sensores (nº3 y nº7) y del nodo receptor.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

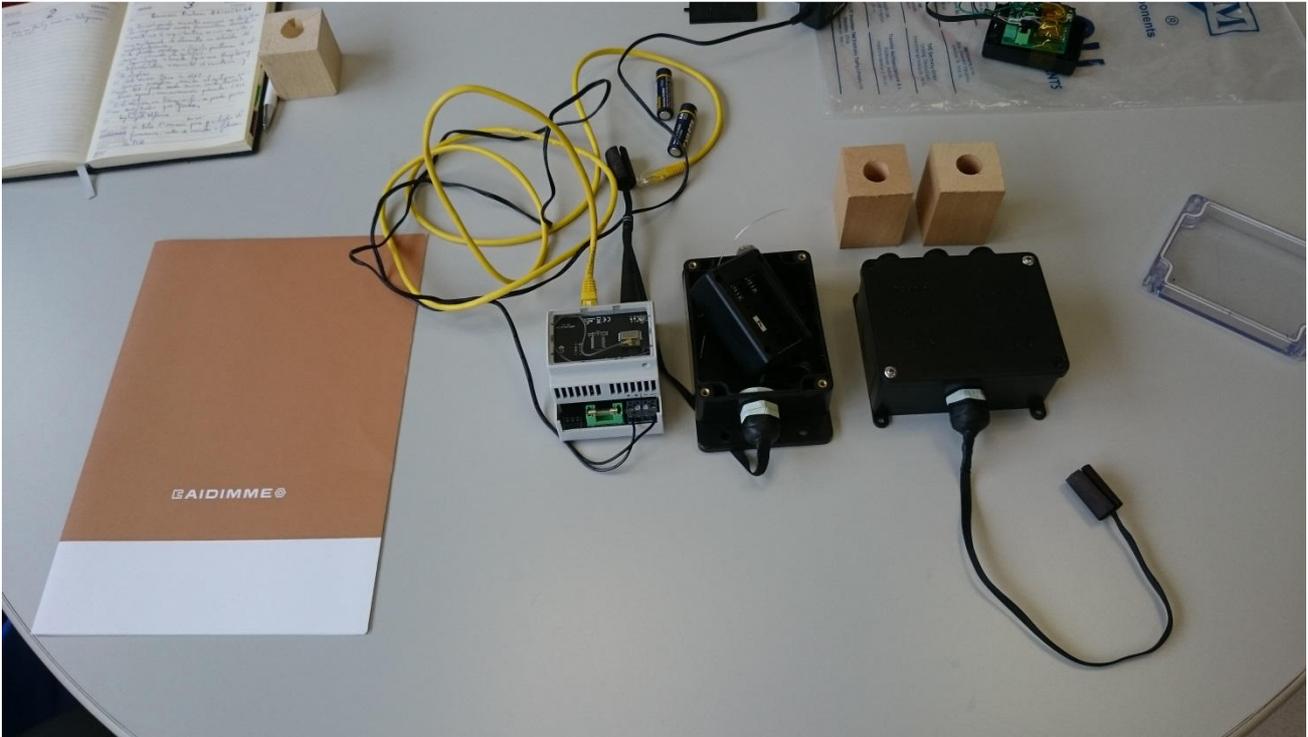


Imagen 35. Nodos sensores nº 3 y nº7 (derecha), protegidos con cajas aislantes y nodo receptor (centro).

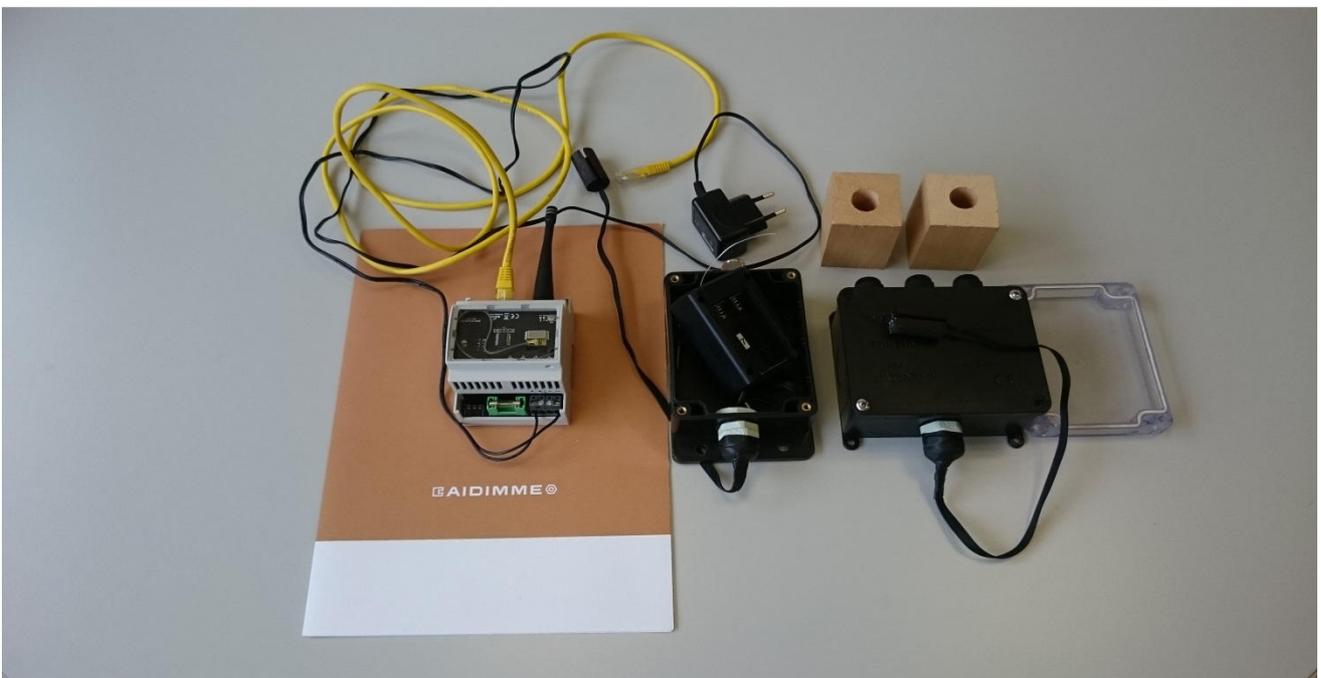


Imagen 36. Nodos sensores nº 3 y nº7 (derecha), protegidos con cajas aislantes y nodo receptor (izquierda).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 37. Nudo sensor nº3 introducido parcialmente en una caja aislante.

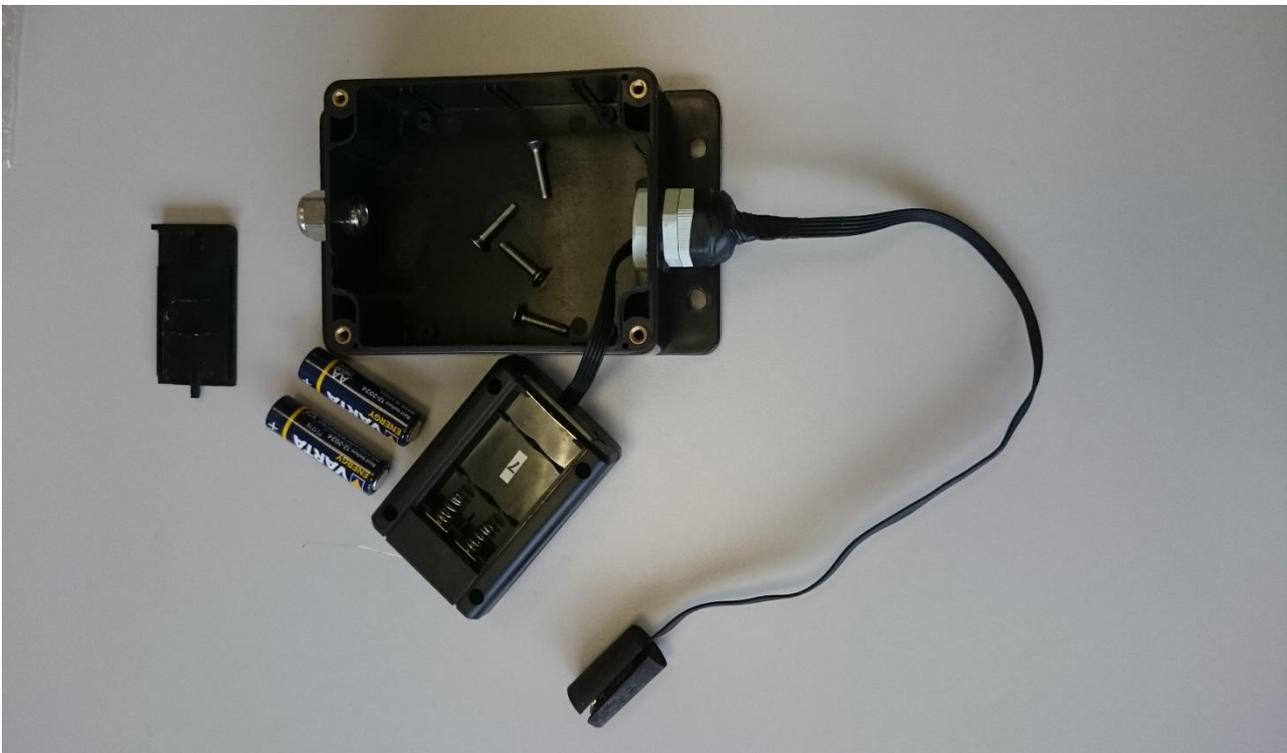


Imagen 38. Nudo sensor nº7 con una caja aislante (arriba).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

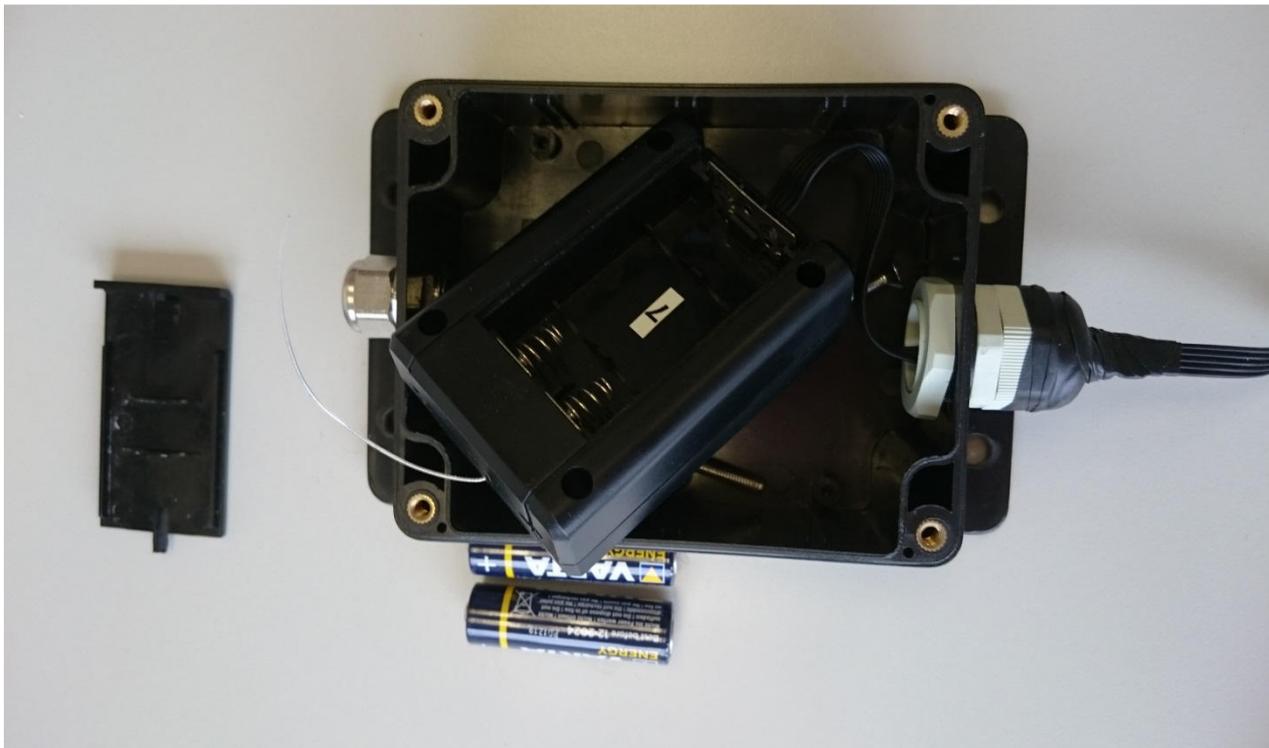


Imagen 39. Nodo sensor nº7 en proceso de ser introducido en una caja aislante.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

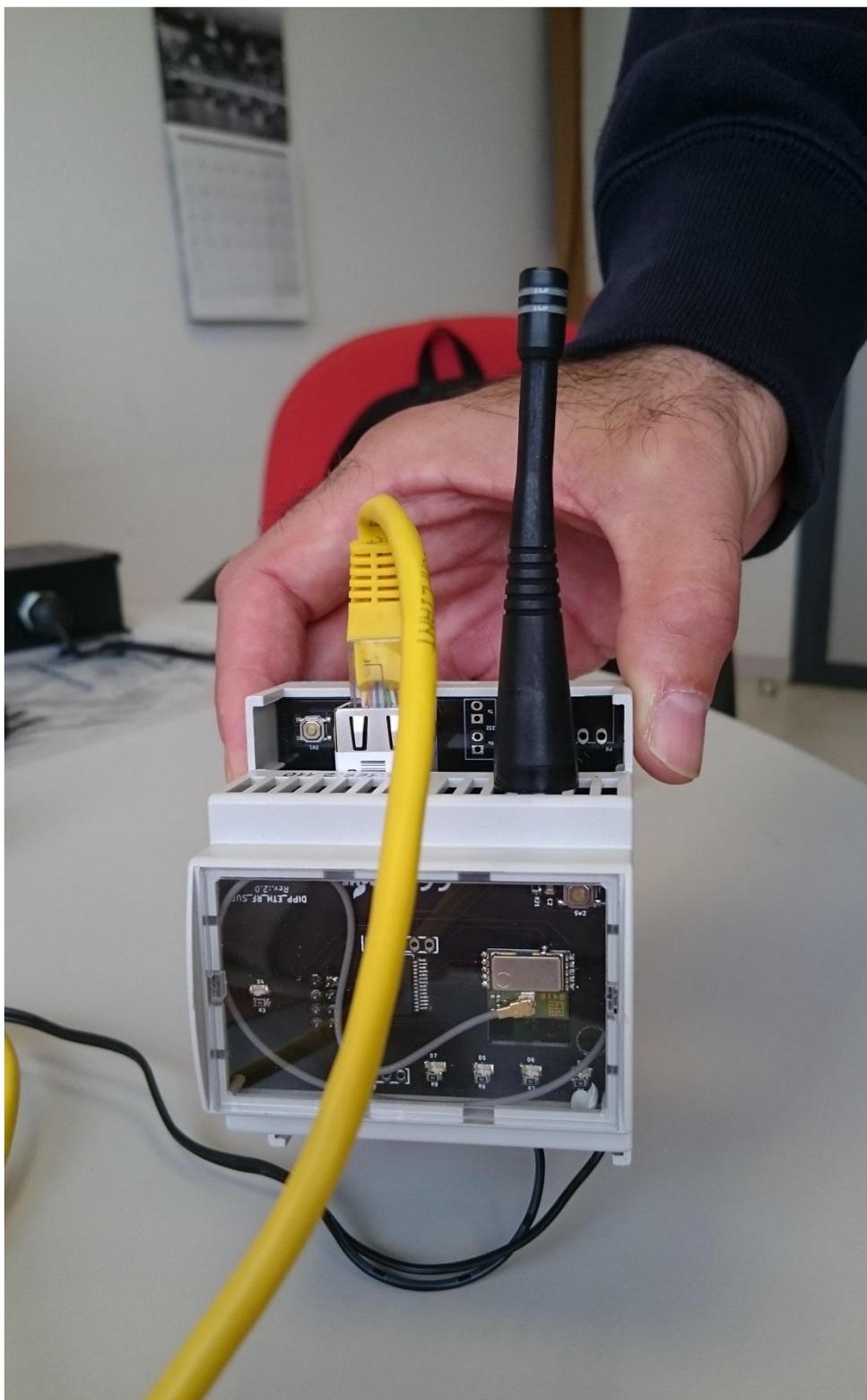


Imagen 40. Nodo receptor (1).



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**ivACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

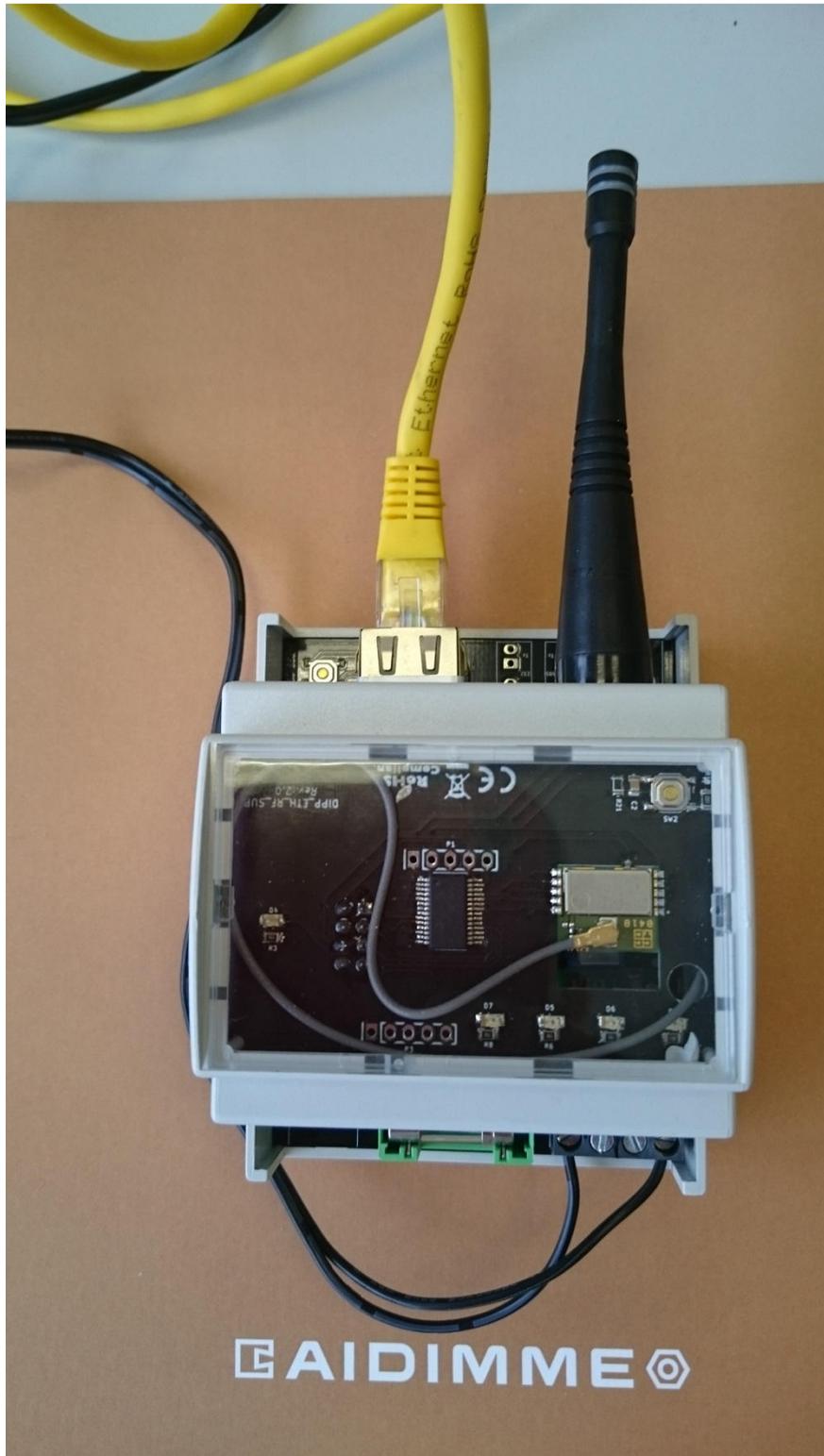


Imagen 41. Nodo receptor (2).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

A continuación, a modo de ejemplo, se exponen fotografías del enterramiento de los nodos sensores (nº3 y nº7) en un terreno donde hay termitas.



Imagen 42. Agujero excavado para enterrar el nodo sensor nº 7 (1).



Imagen 43. Agujero excavado para enterrar el nodo sensor nº 7 (2).

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 44. Colocación del nodo sensor nº 7 en el agujero excavado. El bloque de madera clara y blanda, donde va insertado el módulo DIPP\_SENS del nodo sensor, actúa como cebo para las termitas.



Imagen 45. Comprobación del funcionamiento del nodo sensor nº 7 antes de enterrarlo.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 46. Zona donde está enterrado el nodo sensor nº7.



Imagen 47. Excavación del agujero para enterrar el nodo sensor nº 3.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 48. Colocación del nodo sensor nº 3 en el agujero excavado.



“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



Imagen 49. Comprobación del funcionamiento del nodo sensor nº 3 antes de enterrarlo.



Imagen 50. Nodo sensor nº 3 en proceso de enterramiento.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales



**Imagen 51. Zona donde está enterrado el nodo sensor nº3.**

El nodo receptor se colocó a una distancia media de 60-100 metros de los 10 nodos sensores y se conectó a un ordenador al que transmite los datos que va recibiendo de los nodos sensores.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

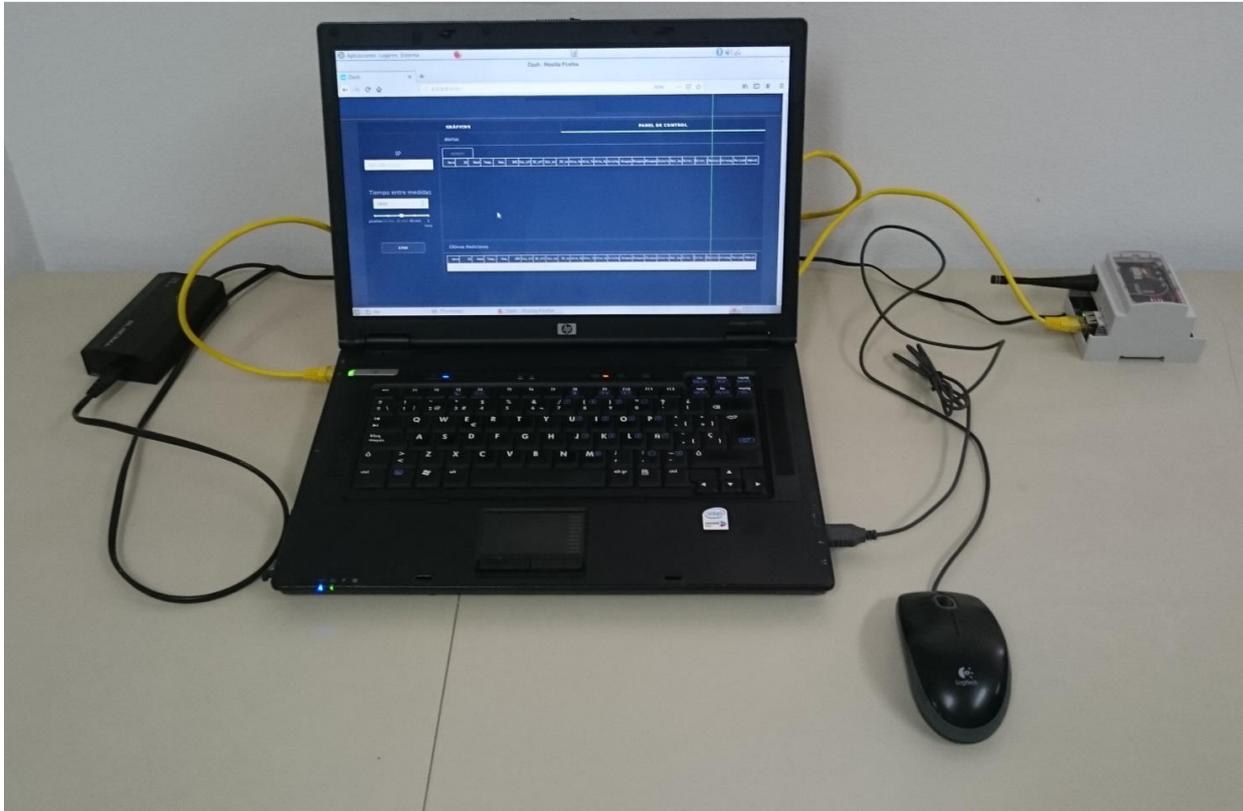


Imagen 52. Ordenador conectado al nodo receptor (derecha) que recoge los datos que este le transmite, que a su vez proceden de los 10 nodos sensores enterrados.

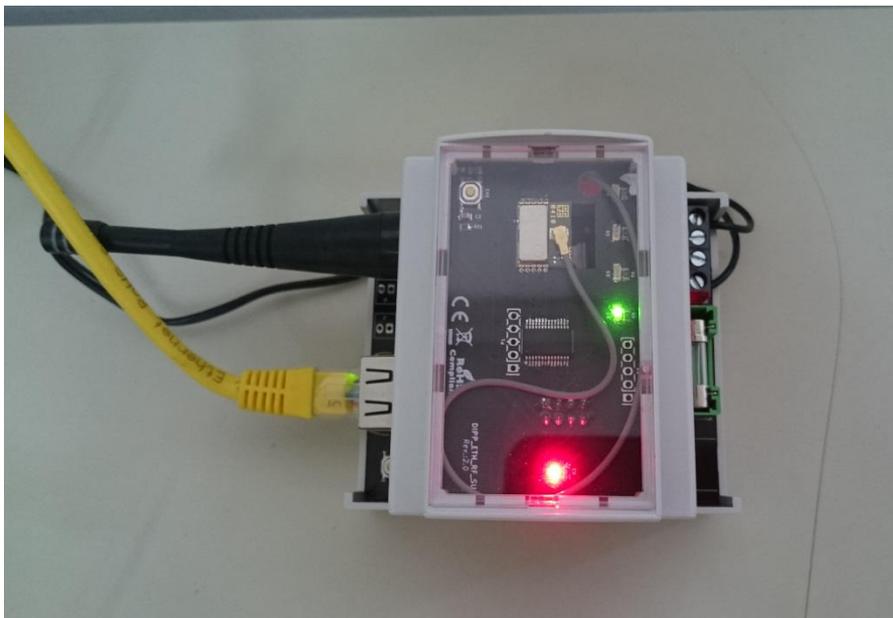


Imagen 53. Nodo receptor en funcionamiento en el momento de recoger un paquete de datos del nodo sensor enterrado nº9 y de transmitirlo al ordenador.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

Se han realizado y seguirán realizándose cambios de configuración y de programación, tanto en los nodos sensores enterrados como en el nodo receptor, para optimizar el consumo energético y para investigar las alertas lanzadas por ellos.

### Tarea 2.2: Análisis de resultados obtenidos

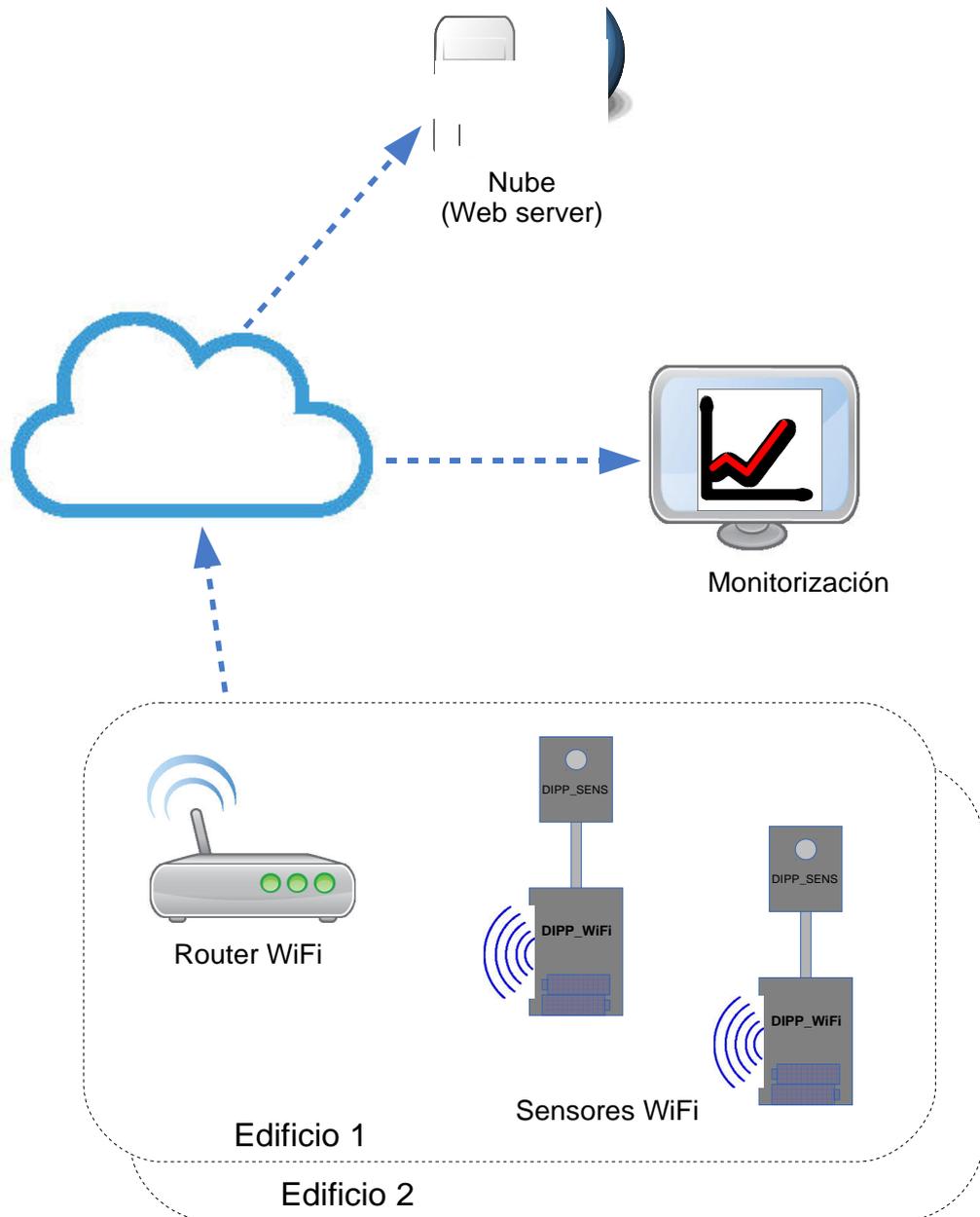
**Estado de la tarea: No comenzada aún**

Esta actividad se realizará en la próxima anualidad, una vez se tengan suficientes datos para realizar el análisis.

“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

## 7. Resumen y conclusiones

Se ha diseñado una nueva arquitectura para el sistema PATINT que prescinde de nodos receptores, como se esquematiza en la siguiente imagen.



“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales

Esa arquitectura utiliza módulos WiFi, cuyo consumo energético resulta por lo general mucho más elevado que el de otros componentes (LED, fotodetector, etc.) y y en consecuencia es crítico para la duración de las pilas del nodo sensor. Según los análisis realizados, reduciendo de manera significativa el consumo de los módulos WiFi mediante el ajuste y optimización de los algoritmos y los parámetros de configuración, la duración de las pilas del nodo sensor no será penalizada en exceso.

Esta nueva arquitectura presenta las siguientes ventajas relevantes con respecto a la inicial y a otra basada en Raspberry Pi o similar:

- **No hay límite en el número de sensores por inmueble.** En las otras arquitecturas existe un límite de 32 sensores por cada nodo receptor.
- **Se elimina el nodo receptor y por tanto también desaparece el software de gestión de éste.**
- **Los sensores pueden instalarse en cualquier parte del mundo,** ya que utilizan la red WiFi para comunicarse, en vez de la banda libre de radio de 868 MHz, que limitaba su uso a Europa.
- **Permite la conexión directa con la nube y con plataformas de Smart Cities.**

En la nueva arquitectura, no hay nodos receptores y los nodos sensores son también nodos WiFi (es decir, monitorizan automáticamente la madera y también transmiten por WiFi los datos obtenidos) y, por tanto, incluyen módulos WiFi de bajo consumo energético.

Cada nodo sensor WiFi consta de un módulo DIPP\_WIFI, que sustituye al módulo DIPP\_RF de la arquitectura original.

Para abordar el desarrollo del módulo DIPP\_WIFI, se decidió realizar preliminarmente varios prototipos de éste. Para ello hubo primero que diseñar y montar varias PCBs específicamente desarrolladas para el proyecto, que incluyen el componente ESP-WROOM-02. En total, se desarrollaron de forma iterativa 11 prototipos de la placa de circuito impreso, con los componentes electrónicos ubicados en distintas posiciones de ella, hasta conseguir un prototipo final compacto, simple y muy fácil de montar.

Se ha comprobado el correcto funcionamiento del prototipo final de DIPP\_WIFI y se han realizado algunos ajustes menores en la electrónica (PCB y componentes) y en la programación. En la próxima anualidad del proyecto se desarrollarán varios módulos finales DIPP\_WIFI y se evaluarán.

Se han propuesto varias modificaciones en el diseño del módulo DIPP\_SENS y en su componente LED, que se llevarán a cabo en la siguiente anualidad.

**“SISPATINT 2021” - Prueba, configuración y mejora del sistema PATINT, y estudio y análisis de biomateriales**

En paralelo a todo lo anterior, se ha desarrollado una red de nodos sensores PATINT con la arquitectura original del sistema. Para ello se implementaron, programaron y configuraron 10 nodos sensores y 1 nodo receptor, y se probaron en laboratorio primero.

Los nodos sensores, protegidos por cajas aislantes, se enterraron después en un terreno donde hay termitas, y desde entonces se está probando la red y registrando los datos enviados por los nodos sensores enterrados.

Aunque el **objetivo final es probar el sistema en obras de arte y edificios**, se decidió de forma preliminar enterrar la red de sensores en un terreno por tres motivos:

- Comprobar su funcionamiento en condiciones ambientales extremas.
- Tener fácil acceso a ellos a fin de facilitar posibles comprobaciones, sustituciones de componentes, cambios de configuración, cambios de programación, etc.
- Verificar la estabilidad, robustez y fiabilidad de la red en largos períodos de tiempo.

Con la participación de:

