



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Informática

Desarrollo de un sistema de supervisión para cultivos inteligentes

Trabajo fin de estudio presentado por:	Raúl García Blanco
Línea de investigación:	Diseño y desarrollo de aplicaciones
Director/a:	Jesús Pérez Melero
Fecha:	11/06/2023
Repositorio del código fuente:	https://github.com/rgb2021/TFG/

Resumen

Debido a la necesidad de la agricultura de mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos surge el concepto de agricultura de precisión o agricultura inteligente.

En este trabajo se ha construido un sistema de supervisión para cultivos inteligentes. Para ello se han usado sensores y otros elementos de bajo costo como son placas Arduino y Raspberry pi para la recolección de la información del cultivo.

Por otro lado se ha desarrollado una arquitectura de servicios en la plataforma de AWS para gestionar los datos recibidos y generar alarmas. Aprovechando así las características del entorno en la nube de Amazon escalabilidad, flexibilidad, reducción de costos, alta disponibilidad ,seguridad y velocidad de desarrollo.

Finalmente los mensajes de alarma son enviados al usuario vía Telegram, a través de un Bot que puede interactuar con el usuario intentando que sea de la forma más cercana posible.

Palabras clave: Internet de las cosas (IoT), agricultura inteligente, Arduino, Telegram Bot , AWS

Abstract

Due to the need of agriculture to improve the efficiency and productivity of crops, the concept of precision agriculture or smart agriculture arises.

In this work, a monitoring system for smart crops has been built. For this purpose, sensors and other low-cost elements such as Arduino and Raspberry Pi boards have been used to collect crop information.

On the other hand, a service architecture has been developed on the AWS platform to manage the data received and generate alarms. Thus taking advantage of the features of Amazon's cloud environment scalability, flexibility, cost reduction, high availability, security and speed of development.

Finally the alarm messages are sent to the user via Telegram, through a Bot that can interact with the user trying to be as close as possible.

Keywords: Internet of Things (IoT), smart agriculture, Arduino, Telegram Bot , AWS

Índice de contenidos

1. Introducción	11
1.1. Motivación	11
1.2. Planteamiento del trabajo	12
1.3. Estructura del trabajo	13
2. Contexto y Estado del Arte.....	14
2.1. Contexto.....	14
2.1.1. Internet de las cosas (IoT)	14
2.1.2. IoT en la Agricultura	15
2.1.3. Sensores.....	15
2.1.4. Hardware para la conexión de los sensores.....	16
2.1.4.1. Arduino.....	16
2.1.4.2. Raspberry Pi.....	17
2.1.5. Plataformas IoT en la nube.....	19
2.2. Estado del arte	21
2.2.1. Sensores en la agricultura	21
2.2.2. Modelos en la agricultura.....	23
2.2.2.1. DSSAT	24
2.2.2.2. Modelo APSIM.....	25
2.2.2.3. Modelo STICS.....	26
2.2.3. Productos en el mercado.....	26
2.2.3.1. Arduino plant watering kit	26
2.2.3.1. Netro Whisperer.....	27
3. Objetivos y metodología de trabajo.....	27
3.1. Objetivo general.....	27

3.2.	Objetivos específicos	27
3.3.	Metodología de trabajo	27
4.	SisGAC.....	29
4.1.	Análisis	29
4.1.1.	Caso de uso general.....	29
4.2.	Diseño	32
4.2.1.	Sensores.....	32
4.2.1.1.	Sensor DHT22 de temperatura y humedad relativa	33
4.2.1.2.	Sensor capacitivo de humedad del suelo v1.2.....	34
4.2.1.3.	Sensor BH1750FVI de Luz Ambiental	34
4.2.2.	Arduino	34
4.2.3.	Raspberry pi.....	35
4.2.4.	Protocolo MQTT	35
4.2.5.	Plataforma Amazon Web Services	35
4.2.5.1.	AWS IoT SiteWise	36
4.2.5.2.	AWS DynamoDB	36
4.2.5.1.	AWS Gateway API.....	38
4.2.5.1.	AWS Simple Queue Service	38
4.2.5.2.	AWS Lambda	38
4.2.5.3.	Proceso recepción y envío al Bot de Telegram	41
4.2.5.1.	AWS IoT Core.....	44
4.2.5.2.	AWS IoT Events	44
4.3.	Implementación	46
4.3.1.	Arduino	46
4.3.2.	Raspberry pi.....	47

4.3.3.	Plataforma Amazon Web Services	49
4.3.3.1.	AWS DynamoDB	49
4.3.3.2.	Configuración reglas de reenvío en AWS IoT Core	49
4.3.3.3.	AWS Lambdas	50
4.3.3.4.	Configuración estados AWS IoT Events	59
4.3.4.	Configuración Bot Telegram	63
4.4.	Pruebas	65
5.	Conclusiones y trabajo futuro	67
5.1.	Conclusiones del trabajo	67
5.2.	Líneas de trabajo futuro	67
	Referencias bibliográficas	68
Anexo A.	Título del anexo	73
	Índice de acrónimos	74
	JSON	74

Índice de figuras

Ilustración 1. Arquitectura general de IoT. (Kumar et al., 2019).....	14
Ilustración 2. Arquitectura de microservicios.(Gesteira et al., 2020)	22
Ilustración 3. Modelo grados-días(Nestor Monroy et al., 2001)	24
Ilustración 4. Software DSSAT versión 4.7.....	24
Ilustración 5.Datos climáticos mensuales durante el ciclo del cultivo(Dreyli Maygualida Hidalgo Ramos, 2017)	25
Ilustración 6. Dashboard de Arduino plant watering kit(Arduino Official Store, 2023).....	26
Ilustración 7. Caso de uso general.....	29
Ilustración 8.Esquema arquitectura	32
Ilustración 9. Diagrama Conexiones Arduino, Raspberry y sensores.....	32
Ilustración 10. composición sensor DHT22	33
Ilustración 11. Componentes del sensor de humedad.....	33
Ilustración 12.Componentes del sensor de temperatura	33
Ilustración 13. Sensor Capacitivo de humedad del suelo.....	34
Ilustración 14. IoT SiteWise	36
Ilustración 15. Ejemplo definición horario	37
Ilustración 16. Secuencia de actualización límites horarios.....	40
Ilustración 17. Proceso de recepción de peticiones y envío de respuestas.....	41
Ilustración 18. Inicio petición Bot Telegram.....	41
Ilustración 19.Mensaje respuesta Bot Telegram.....	41
Ilustración 20. AWS IoT Architecture.(Amazon Web Services, 2023a)	44
Ilustración 21. Ventana definición Lambda	55
Ilustración 22.Formulario definición desencadenador	56
Ilustración 23. API Gateway conectada con función Lambda	56

Ilustración 24.AWS IoT Events. Modelos de detector	59
Ilustración 25.Definición máquina de estados detectores.....	59
Ilustración 26. Definición máquina de estados temporizadores.....	62
Ilustración 27. Creación Bot con BotFather.....	63
Ilustración 28. Confirmación estado Telegram Webhook.....	64
Ilustración 29. Mensaje alerta	65
Ilustración 30. Cambio estado temperatura baja.....	65
Ilustración 31. Cambio estado lúmenes	65
Ilustración 32. Resumen Bot Telegram con estados de alarma	66
Ilustración 33.Mensajes cambio estado Telegram Bot	66
Ilustración 34.Grafico SiteWise lúmenes cambio estado	66
Ilustración 35. Gráfico SiteWise temperatura cambio estado	66

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones Arduino(Arduino, 2023).....	17
Tabla 2. Especificaciones Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi Foundation, 2023)	18
Tabla 3. Comparativas plataformas IoT	20
Tabla 4. Ejemplo documento tabla estados	37
Tabla 5. Ejemplo documento tabla mediciones	38
Tabla 6. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarLimites.....	39
Tabla 7. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarValor.....	39
Tabla 8. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarEstado	39
Tabla 9. Ejemplo de llamada a función Lambda encolarMsgTelegram.....	39
Tabla 10. Ejemplo JSON recibido por la función Lambda TelegramBot	43
Tabla 11. Ejemplo JSON recibido en la función Lambda enviarMensajeTelegram	43
Tabla 12. Código ejecutado en placa Arduino	46
Tabla 13. Instrucciones instalación SDK de AWS para IoT	47
Tabla 14. Código lectura datos del puerto serie y envió a AWS	48
Tabla 15. Fichero definición servicio lectura	48
Tabla 16. Comandos configuración servicio lectura.....	48
Tabla 17. Ejemplo tabla estados.....	49
Tabla 18. Codificación función Lambda actualizarLimites.....	50
Tabla 19. Codificación función Lambda actualizarValor.....	51
Tabla 20.. Codificación función Lambda actualizarEstado	52
Tabla 21. Codificación función Lambda encloarMsgTelegram.....	53
Tabla 22. Codificación función Lambda telegramBot.....	55
Tabla 23. Codificación función Lambda enviarMensajeTelegramBot	57
Tabla 24.Ejemplo llamada a Lambda actualizarEstado	60

Tabla 25. Ejemplo llamada a Lambda actualizarLimites.....	60
Tabla 26. Ejemplo llamada a Lambda actualizarValor.....	60
Tabla 27. Ejemplo llamada a Lambda actualizarEstado	61
Tabla 28. Ejemplo llamada a Lambda notificarTelegram	61

1. Introducción

1.1.Motivación

El objetivo principal de este TFG es el de desarrollar una herramienta que ayude en el cuidado y monitorización de cultivos utilizando para ello sensores y hardware de bajo coste, servicios en la nube de AWS y dando feedback al usuario de forma sencilla.

De esta forma el usuario puede definir fácilmente un sistema de alarmas que le permitan hacer correcciones en los distintos parámetros que influyen en el cultivo para intentar tener el mayor rendimiento posible, minimizando el uso de agua y pesticidas y permitiendo conocer el estado del cultivo de forma remota de forma que se eviten desplazamientos.

1.2.Planteamiento del trabajo

El sistema propuesto constaría de tres partes:

- Recolección y envío de la información de los sensores: Los sensores leerían ciertos valores del entorno del cultivo. Y los enviarían a un entorno en la nube.
- Procesado de los datos y creación de reglas para las alarmas. En un entorno cloud se recibirían los datos de los sensores, se procesarían con reglas y se enviarían las alarmas a los usuarios
- Envío de alarmas al usuario de forma sencilla. Para hacer fácil la visualización de las alarmas se propone usar un sistema con el que los usuarios están familiarizados como es el sistema de mensajería Telegram

1.3.Estructura del trabajo

Primero se expondrá el contexto y el estado del arte de los distintos elementos del sistema, se comentará el uso del IoT en la agricultura, los distintos sensores y hardware que podemos usar así como las distintas plataformas de IoT existentes.

En un segundo bloque se definirán los objetivos del proyecto y la metodología de trabajo.

En el siguiente bloque analizaremos, diseñaremos, implementaremos y probaremos el Sistema SisGAC (Sistema de Gestión de Alarmas para Cultivos).

Por último expondremos las conclusiones y comentaremos posibles líneas de trabajo futuro.

2. Contexto y Estado del Arte

2.1.Contexto

2.1.1. Internet de las cosas (IoT)

Este concepto surgió en 1999 (Auto-ID Center–Instituto tecnológico de Massachusetts MIT).

La internet de las cosas (IoT) es un paradigma emergente que permite la comunicación entre dispositivos electrónicos y sensores a través de internet como forma de facilitarnos la vida.(Kumar et al., 2019)

Generalmente son objetos de dos tipos, los sensores que permiten extraer datos del entorno físico y los actuadores que permiten realizar alguna opción por control remoto, por ejemplo un relé que enciende o apaga una bombilla.

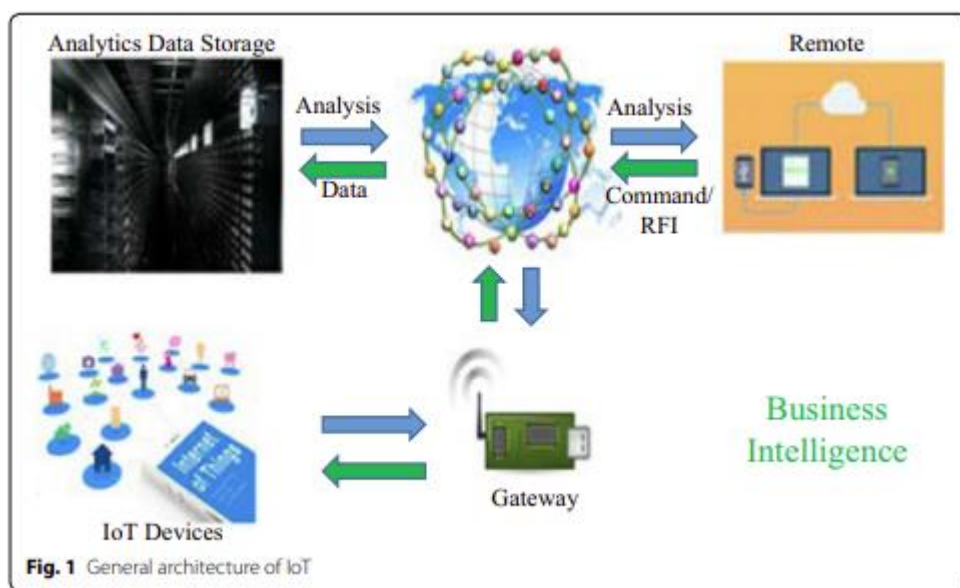


Ilustración 1. Arquitectura general de IoT. (Kumar et al., 2019)

Estos objetos se comunican entre si a través de distintos protocolos

Es aplicable en multitud de áreas como pueden ser en el ámbito medio ambiental, el industrial ,el médico , en transporte y en la agricultura.

El IoT consiste en una red de dispositivos físicos que contienen tecnología embebida para comunicarse con otros dispositivos .

La recolección de datos de estos dispositivos se puede usar para aprender del comportamiento de personas y procesos, reaccionar con acciones preventivas o correcciones o aumentar o transformar los procesos empresariales. (Espinosa et al., 2021)

2.1.2. IoT en la Agricultura

Concretamente en el área de la agricultura podemos usar IoT para:

- **El monitoreo y la automatización:** La tecnología IoT permite monitorear y controlar aspectos del cultivo como la humedad, la luz solar, la temperatura, la calidad del suelo, el riego entre otros. La automatización de procesos para controlar estas variables puede ayudar a una mejor gestión de los recursos y para reducir costos.
- Para **ahorrar tiempo y energía.** Con los sensores y los dispositivos IoT se pueden monitorear los cultivos remotamente de forma que puedan ahorrar tiempo y esfuerzo.
- **Mejorar la calidad del producto.** El control constante de las condiciones de los cultivos ayuda a los agricultores a detectar problemas en etapas tempranas y corregir los posibles problemas
- **Optimizar el rendimiento.** Se puede detectar cuando es el momento óptimo para realizar la cosecha, cuando usar fertilizantes, realizar el riego y otros procesos.
- **Reducir el impacto ambiental.** Al optimizar el uso de fertilizantes y pesticidas reducimos el uso de productos químicos en la agricultura.

2.1.3. Sensores

Para recolectar la información podemos usar una gran variedad de sensores aunque en el caso específico de la agricultura los más importantes podrían ser los siguientes:

- **Sensores de humedad del suelo.** Con ellos medimos la cantidad de agua en el suelo y nos permiten optimizar el riego.
- **Sensores de temperatura y humedad ambiental.** Con estos sensores podemos medir las condiciones ambientales y por ejemplo prevenir posibles enfermedades o situaciones de estrés en los cultivos.
- **Sensores de luz.** Con ellos medimos la intensidad de luz que están recibiendo los cultivos y podríamos ajustarla.

- **Sensores de PH y nutrientes.** Estos sensores miden el nivel del PH del suelo y la cantidad de nutrientes del suelo y permiten controlarlos.

2.1.4. Hardware para la conexión de los sensores

Existen multitud de placas hardware de carácter general que se pueden usar para construir sistemas IoT. Las más importantes quizás sean las siguientes:

2.1.4.1. Arduino

Es una placa hardware opensource que incorpora un microcontrolador que se puede reprogramar usando el entorno de desarrollo Arduino IDE 2 y una serie de conectores que permiten establecer conexiones con sensores y actuadores de forma sencilla.(docs.arduino.cc, 2023b)

Las especificaciones son las siguientes:

Board	Name	Arduino UNO R3
	SKU	A000066
Microcontroller	ATmega328P	
USB connector	USB-B	
Pins	Built-in LED Pin	13
	Digital I/O Pins	14
	Analog input pins	6
	PWM pins	6
Communication	UART	Yes
	I2C	Yes

	SPI	Yes
Power	I/O Voltage	5V
	Input voltage (nominal)	7-12V
	DC Current per I/O Pin	20 mA
	Power Supply Connector	Barrel Plug
Clock speed	Main Processor	ATmega328P 16 MHz
	USB-Serial Processor	ATmega16U2 16 MHz
Memory	ATmega328P	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM
Dimensions	Weight	25 g
	Width	53.4 mm
	Length	68.6 mm

Tabla 1. Especificaciones Arduino(Arduino, 2023)

En la programación en la placa Arduino se usa un lenguaje basado en C++ llamado Sketch donde fundamentalmente se definen dos funciones principales, en la función setup se realiza la configuración de las conexiones, en loop se define el bucle que se ejecutara infinitamente.(docs.arduino.cc, 2023a)

2.1.4.2. Raspberry Pi

Es una computadora de placa única (SBC) de bajo costo y pequeño tamaño desarrollada por la Raspberry Pi Foundation en Reino Unido(Raspberry Pi Foundation, 2023). La primera versión fue lanzada en 2012 y desde entonces se han lanzado varias versiones.

En concreto las especificaciones de la versión 4 son las siguientes:

Processor	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memory	1GB LPDDR2 SDRAM
Connectivity	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) 4 × USB 2.0 port
Access	Extended 40-pin GPIO header
Video & sound	1 × full size HDMI MIPI DSI display port MIPI CSI camera port 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
SD card support	Micro SD format for loading operating system and data storage
Input power	5V/2.5A DC via micro USB connector 5V DC via GPIO header Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Environment	Operating temperature, 0–50°C

Tabla 2. Especificaciones Raspberry Pi 4 (Raspberry Pi Foundation, 2023)

En esta placa podemos instalar distintos sistemas operativos pero enfocado a IoT los principales podrían ser:

- **Raspbian:** es el sistema operativo oficial y está basado en Debian(Raspberry pi foundation, 2023)
- **Ubuntu MATE:** es una versión adaptada de Ubuntu para Raspberry Pi(Ubuntu, 2023)

- **Windows 10 IoT Core:** es una versión reducida de Windows 10 diseñada para dispositivos IoT.(Microsoft, 2023a)

2.1.5. Plataformas IoT en la nube

Generalmente los datos recogidos en los sensores se envían a un backend donde se procesan, analizan, se generan informes, notificaciones, etc..

Actualmente existen varias plataformas como servicio (PaaS) que proporcionan un entorno de desarrollo e implantación completo en la nube. PaaS incluye infraestructura (servidores, almacenamiento y redes), pero también middleware, herramientas de desarrollo, servicios de inteligencia empresarial (BI), sistemas de administración de bases de datos, etc. PaaS está diseñado para sustentar el ciclo de vida completo de las aplicaciones web: compilación, pruebas, implementación, administración y actualización. (Microsoft, 2023c)

Las plataformas más importantes son las siguientes:

- **Amazon web services IoT:** Es la plataforma de IoT creada por Amazon y permite a los desarrolladores conectar dispositivos IoT, y controlarlos en la nube.(Amazon, 2023c)
- **Microsoft Azure IoT:** Es la alternativa de la empresa Microsoft, permite, como en el caso de Amazon conectar dispositivos a la nube y administrarlos. (Microsoft, 2023b)
- **IBM Watson IoT:** Esta plataforma IoT creada por IBM está enfocada en las aplicaciones en tiempo real.(IBM, 2023)
- **ThingsBoard:** Esta plataforma es de código abierto (ThingsBoard, 2023)
- **Kaa IoT:** Es otra plataforma de código abierto (Kaa, 2023)

Las características más importantes de estas plataformas pueden resumirse en la siguiente tabla:

Características	AWS IoT	Microsoft Azure IoT	IBM Watson IoT	ThingsBoard	Kaa IoT
Soporte para dispositivos y protocolos de IoT	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Análisis de datos y visualización de datos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Integración con servicios de inteligencia artificial y machine learning	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Seguridad de extremo a extremo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Monitoreo y administración de dispositivos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Escalabilidad	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Compatibilidad con múltiples nubes	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Precio	Pago por uso	Pago por uso	Pago por uso	Código abierto	Código abierto

Tabla 3. Comparativas plataformas IoT

2.2. Estado del arte

Según el ministerio de agricultura, pesca y alimentación (Ministerio de Agricultura, 2023) los principales retos a los que se enfrenta el regadío español son:

- **Producir más con menos recursos** y con menor impacto ambiental;
- **El cambio climático**, causante de variaciones de temperatura y distribución de lluvias irregulares e impredecibles que suponen pérdidas cuantiosas para la agricultura;
- **El déficit hídrico** en algunas regiones de España donde la agricultura es el principal motor de la actividad económica (precipitaciones inferiores a 200 mm al año);
- El uso adecuado de los **recursos hídricos** y la **reducción de la contaminación** por lixiviados de los nutrientes aportados a los cultivos;
- **La mejora de las condiciones de vida y de trabajo** de los agricultores, para contribuir a revertir el fenómeno de la despoblación del medio rural y fomentar el relevo generacional.

2.2.1. Sensores en la agricultura

Se puede encontrar mucha literatura sobre la utilización de sensores en la agricultura para intentar mejorar el rendimiento de los cultivos.

En el artículo (Sunehra, 2019) Se utiliza una placa Arduino para la lectura de los valores de los sensores y estos datos se envían a una raspberry pi a través de un transceptor wifi. La placa raspberry cuenta con un servidor web que permite al usuario visualizar los datos.

En el TFG (Gesteira et al., 2020) se desarrolla una arquitectura de microservicios para una red de sensores IoT sobre Arduino.

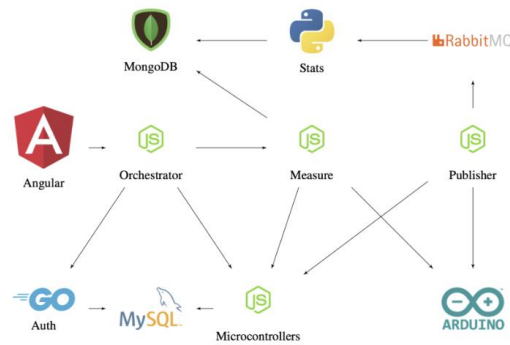


Ilustración 2. Arquitectura de microservicios.(Gesteira et al., 2020)

En el artículo (J. Cedeño et al., 2014) se explica como el uso de sensores puede ayudar a aprovechar el agua, a reducir el consumo de fertilizantes, al control de plagas, al monitoreo de animales y pastos y para el control de los invernaderos.

En (Juan Núñez et al., 2018) se propone un diseño de sistema de agricultura de precisión para tomates llamado Smartnode. Creando una plataforma de hardware basada en la placa Arduino ATmega2560 para adquirir, enviar y recibir los datos de los sensores de temperatura, luminosidad y humedad del suelo.

En este caso se usa una topología de red Zigbee basado en un sistema WSN (Wireless Sensor Network)

Para la parte software se usa un servidor local para crear una aplicación en java y se usa un servidor de datos MySQL y por otra parte se crea una aplicación móvil para visualizar los datos en campo.

En (Santos-Olmo, 2022) se propone un sistema similar llamado Smartceta que conecta sensores de humedad de suelo capacitivo, un sensor de humedad y temperatura DHT11 y un reloj de tiempo real a una placa a una placa ESP32. Esta placa envía la información a la plataforma ThingsBoard donde se crean una serie de reglas de alarmas que se pueden usar para enviar mensajes a un Bot de Telegram.

En el artículo (Baggio, 2005) se describe un experimento donde se genera una red de sensores de temperatura, humedad, luminosidad, presión del aire, fuerza del viento y dirección y humedad del suelo en una plantación de patatas para detección temprana de

posibles enfermedades en la planta y avisar al agricultor cuando es necesario el uso de fungicidas

En el TFM (Silva & Antonio, 2016) Se desarrolla un sistema IoT autónomo que permita horarios de riego y calcular las necesidades de agua para ahorrar en su consumo. Para ello primero se identifican los aspectos importantes para tener en cuenta durante el cultivo, como son la evapotranspiración, la Evaporación, la transpiración, las variables climáticas y los métodos para calcularlos.

Además se hace una reflexión sobre cómo se podría programar el riego automático utilizando inteligencia artificial. En este caso se usa sensores de humedad , temperatura y humedad de suelo en varias configuraciones junto con un sistema de riego automático conectados a través de Servicios Web de tipo REST y un sistema de Machine Learning.

En (Dennys Francisco Salazar Domínguez, 2022) Se propone la utilización de una placa Arduino YUN para gestionar los actuadores de un invernadero. En este caso se usan sensores de humedad y temperatura DH11 , Sensores de CO2 y de humedad de suelo para medir los valores importantes del invernadero y ventiladores tiras de led y bombas de agua y un sistema de calefacción como actuadores para controlar el ambiente del invernadero.

2.2.2. Modelos en la agricultura

Los modelos simulan los procesos de crecimiento de la planta, teniendo en cuenta las características del suelo, el clima y la propia planta para tener una descripción continua del desarrollo de la planta.

Por ejemplo en (José & Arboleda, 2009) se realiza un estudio para determinar el comportamiento en el crecimiento de algunas variedades de rosas y después se desarrolla varios modelos de proyecciones para pronosticar la producción de cada variante en función por ejemplo de la temperatura promedio de se registre en la temporada.

Temp. promedio	Numero de días a cosecha a partir de:			
	corte	brote	arroz	color
13	93	85	46	19
14	82	75	41	17
15	74	67	37	15
16	67	61	33	14
17	61	56	30	13
18	56	51	28	12
grados-día	717	651	357	150

Ilustración 3. Modelo grados-días(Nestor Monroy et al., 2001)

2.2.2.1. DSSAT

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) es una aplicación informática que comprende modelos de simulación para más de 42 cultivos, herramientas para el uso de modelos , bases de datos de suelo, clima, gestión de cultivos y datos experimentales. Los modelos simulan el desarrollo, crecimiento y rendimiento en función de la dinámica suelo-planta-atmosfera.(Hoogenboom et al., 2019)

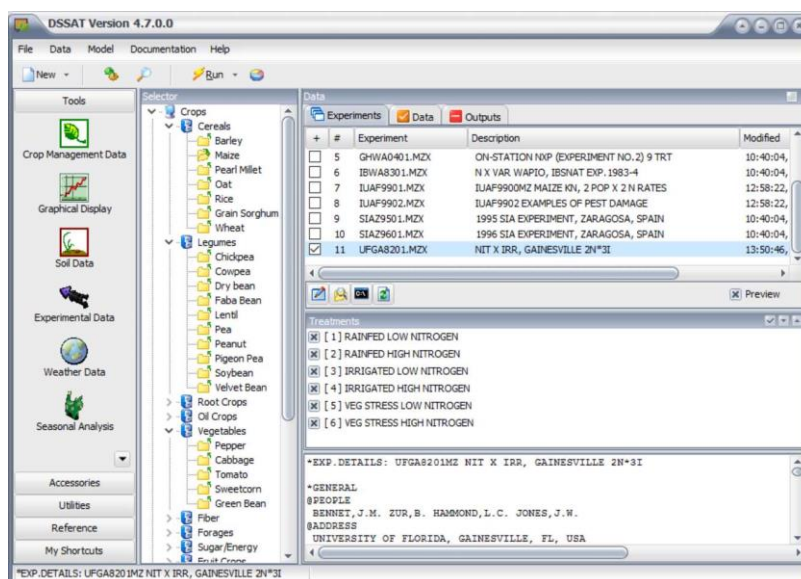


Ilustración 4. Software DSSAT versión 4.7

En (Dreyli Maygualida Hidalgo Ramos, 2017) hacen una validación del modelo CERES – Maize para la variedad de maíz ASGROW 7573 simulando el desarrollo y crecimiento del cultivo.

Mes	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Datos Climáticos						
Temperatura mínima (°C)	13.88	16.15	15.80	14.22	11.50	9.30
Temperatura máxima (°C)	28.24	29.34	27.06	25.08	25.09	19.23
Humedad Relativa (%)	62	57	72	77	64	80
Velocidad del viento (km/día)	3.94	4.15	3.17	2.33	2.48	2.75
Horas Luz (Horas)	9.07	8.11	7.12	6.86	8.12	5.94
Precipitación (mm)	55.2	60.7	173.8	63.6	8.1	58.9

Ilustración 5.Datos climáticos mensuales durante el ciclo del cultivo(Dreyli Maygualida Hidalgo Ramos, 2017)

2.2.2.2. Modelo APSIM

The Agricultural Production Systems sIMulator (APSIM) es un modelo desarrollado para simular procesos biofísicos en sistemas agrícolas especialmente en lo que se refiere a los resultado económicos y ecológicos.

Esta desarrollada por una fundación cuyos socios son la Universidad de Queensland, la universidad de Southern Queensland y el departamento de agricultura y pesca de Nueva Zelanda, La Universidad de Iowa y Plant & Food Research. La iniciativa promueve el desarrollo y el uso de modelos científicos y la infraestructura del software APSIM fue creada en 2007.(APSIM, 2023)

Este modelo de simulación basado en procesos de centra en la interacción de varios factores que influyen en los cultivos como son el clima, el suelo, el agua, ect. Tiene un enfoque modular, cada proceso agrícola se representa como un módulo individual que se pueden combinar y reorganizar para adaptarse a los sistemas de cultivo y a las condiciones ambientales.

2.2.2.3. Modelo STICS

Es otro modelo creado por el INRA, el instituto francés para la investigación en la agricultura.(INRAE, 2023) Tiene modelos para unas 20 especies de plantas.

El modelo tiene un enfoque de equilibrio de masa, los flujos de nutrientes y agua dentro y fuera del sistema agrícola se equilibran en todo momento. Se usan ecuaciones matemáticas para simular el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la respuesta a distintos factores ambientales.(Brisson et al., 2003)

2.2.3. Productos en el mercado

También existen algunos productos actualmente en el mercado que sirven para monitorizar cultivos.

2.2.3.1. Arduino plant watering kit

La más básica podría ser el kit “Arduino Plant Watering Kit” (Arduino S.r.l, 2023) que está compuesto por una placa Arduino, un sensor de humedad del suelo y una pequeña bomba de agua que permite el riego. Además cuenta con [Arduino IoT Cloud](#) con la que se pueden crear horarios automáticos de riego, monitorizar el nivel del sensor y controlar remotamente el riego a través de una aplicación web.

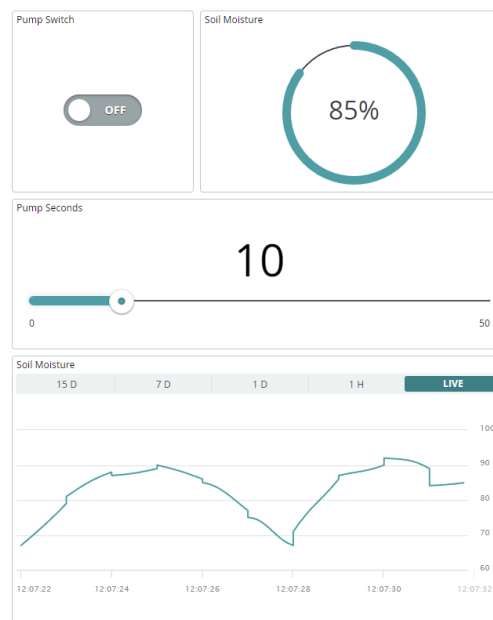


Ilustración 6. Dashboard de Arduino plant watering kit(Arduino Official Store, 2023)

2.2.3.1. Netro Whisperer

Es otro producto comercial de la marca Netro Inc. Cuenta con sensores de luz ambiental, temperatura y humedad del suelo. además es inalámbrico y se carga con energía solar.(Netro, 2023)

Incluye una aplicación para comprobar los datos de los sensores en el móvil.

3. Objetivos y metodología de trabajo

3.1.Objetivo general

El objetivo de este TFG es construir un sistema de gestión de alarmas para cultivos llamado SisGAC con las siguientes características:

- El usuario podrá interactuar con el sistema a través de un Bot de Telegram
- El sistema estará operativo siempre
- El usuario podrá construir reglas para generar alarmas que avisen de posibles problemas

3.2.Objetivos específicos

- Modelado de las historias de usuario
- Creación de la infraestructura
 - Lectura de datos de los sensores y envío al entorno AWS
 - Desarrollo del sistema AWS
 - Desarrollo del Bot de Telegram
- Despliegue de la solución
- Puesta en marcha

3.3.Metodología de trabajo

Para el desarrollo del sistema se usará un modelo en cascada ya que solo habrá un desarrollador y no se prevén muchos cambios durante el desarrollo. Constará de las siguientes fases:

- Análisis de requisitos: en esta fase definiremos los requisitos, crearemos los casos de uso y detallaremos las necesidades y objetivos del proyecto

- Diseño: En base a los requisitos definiremos la arquitectura, la estructura y lógica del software
- Implementación: Durante esta fase, se codificarán los distintos módulos software definidos en la etapa anterior.
- Pruebas: En esta fase se comprobará que el software cumple con los requisitos definidos durante el análisis

4. SisGAC

4.1. Análisis

4.1.1. Caso de uso general

El siguiente diagrama describe el caso de uso general que pretende desarrollarse.

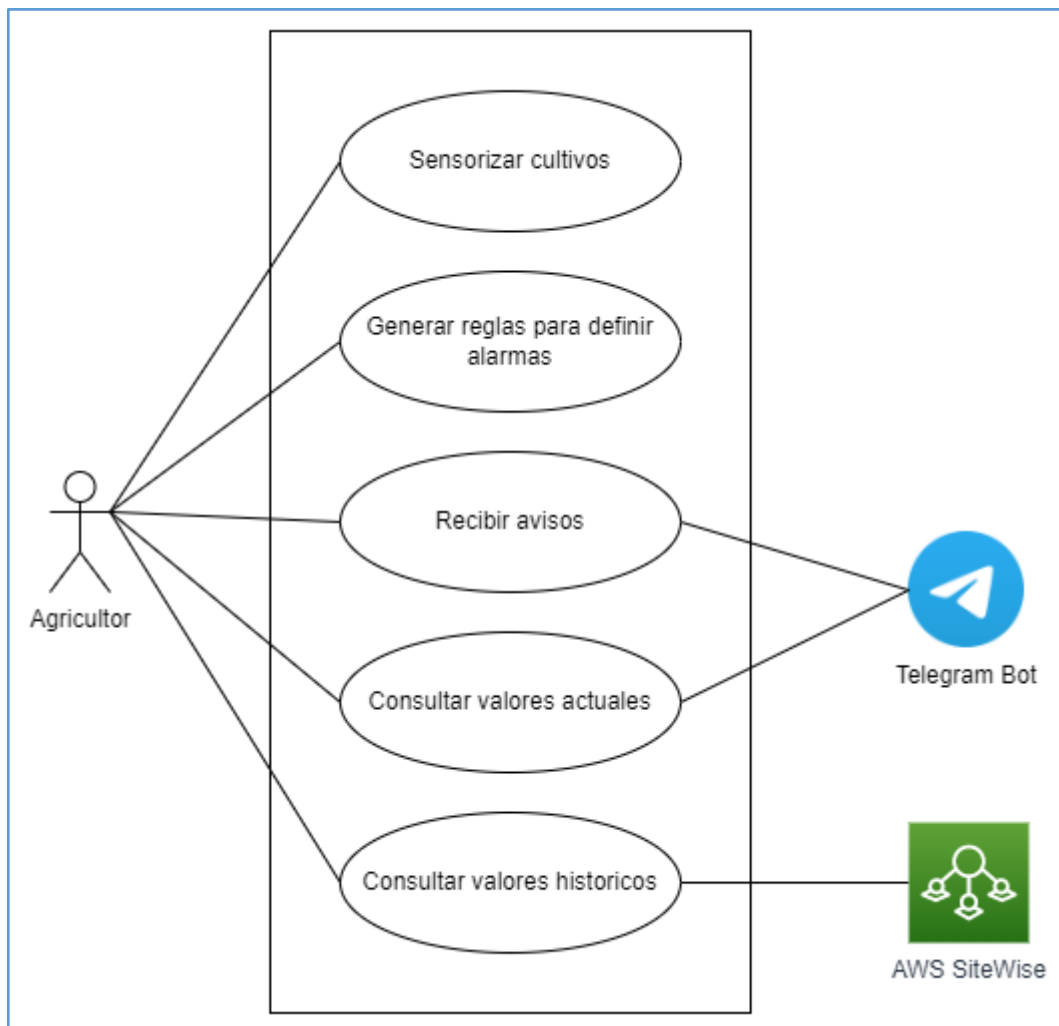


Ilustración 7. Caso de uso general

- Los cultivos tendrán que ser sensorizados con sensores de bajo coste.
- Debe ser posible configurar las reglas que generaran las alarmas
- El usuario debe recibir los avisos a través la aplicación de mensajería Telegram
- El usuario debe poder consultar los valores actuales a través de la aplicación de mensajería Telegram.
- El usuario debe poder consultar los datos históricos de los valores leídos.

La descripción de los casos de uso podría ser:

Caso de Uso	Añadir sensores a los cultivos				REQ001
Actores	Agricultor				
Tipo	Funcional				
Autor	Raúl	Fecha	17/05/2023	Versión	1.0
Resumen	Leer los valores de humedad, temperatura, radiación y humedad del suelo				

Caso de Uso	Generar reglas para definir alarmas				REQ002
Actores	Agricultor				
Tipo	Funcional				
Autor	Raúl	Fecha	17/05/2023	Versión	1.0
Resumen	Crear reglas para gestionar las alarmas				

Caso de Uso	Recibir avisos				REQ003
Actores	Agricultor				
Tipo	Funcional				
Autor	Raúl	Fecha	17/05/2023	Versión	1.0
Resumen	Cuando se produzcan las alarmas se enviarán al usuario a través de un Bot de Telegram				

Caso de Uso	Consultar valores históricos				REQ004	
Actores	Agricultor					
Tipo	Funcional					
Autor	Raúl	Fecha	17/05/2023	Versión	1.0	
Resumen	Se podrán consultar históricos de los valores registrados por los sensores					

Caso de Uso	Consultar valores actuales				005
Actores	Agricultor				
Tipo	Funcional				
Autor	Raúl	Fecha	17/05/2023	Versión	1.0
Resumen	Se podrán consultar los valores actuales a través del bot de Telegram				

4.2. Diseño

La arquitectura para la solución propuesta tiene los siguientes elementos:

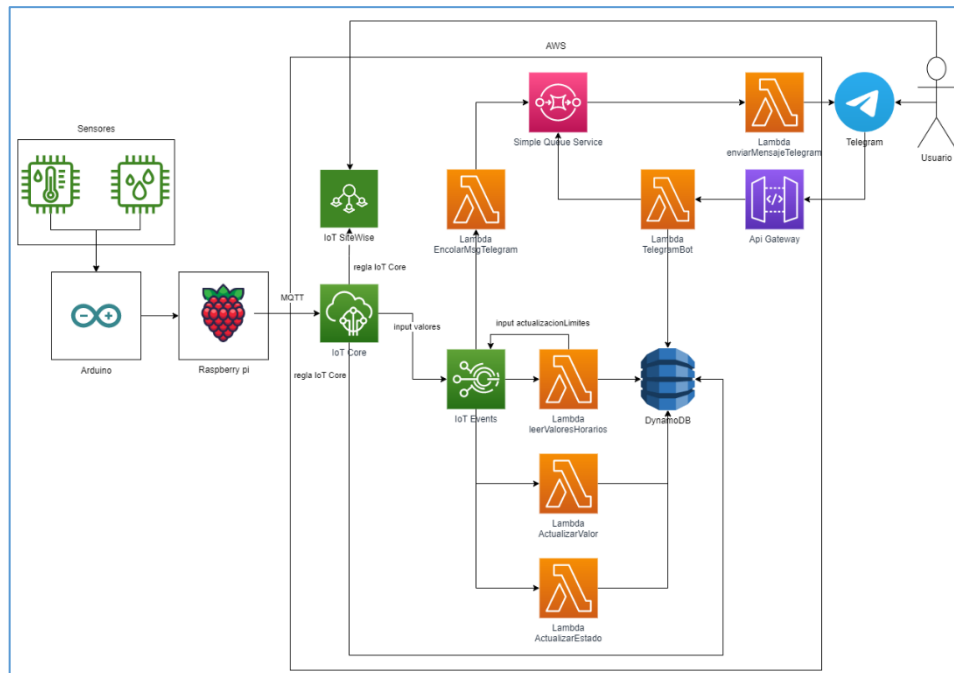


Ilustración 8. Esquema arquitectura

4.2.1. Sensores

Los sensores se conectarán de la siguiente manera:

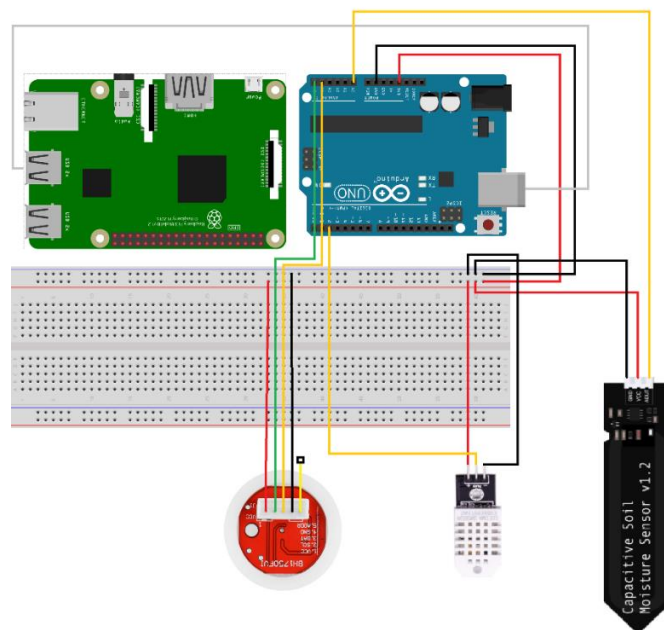
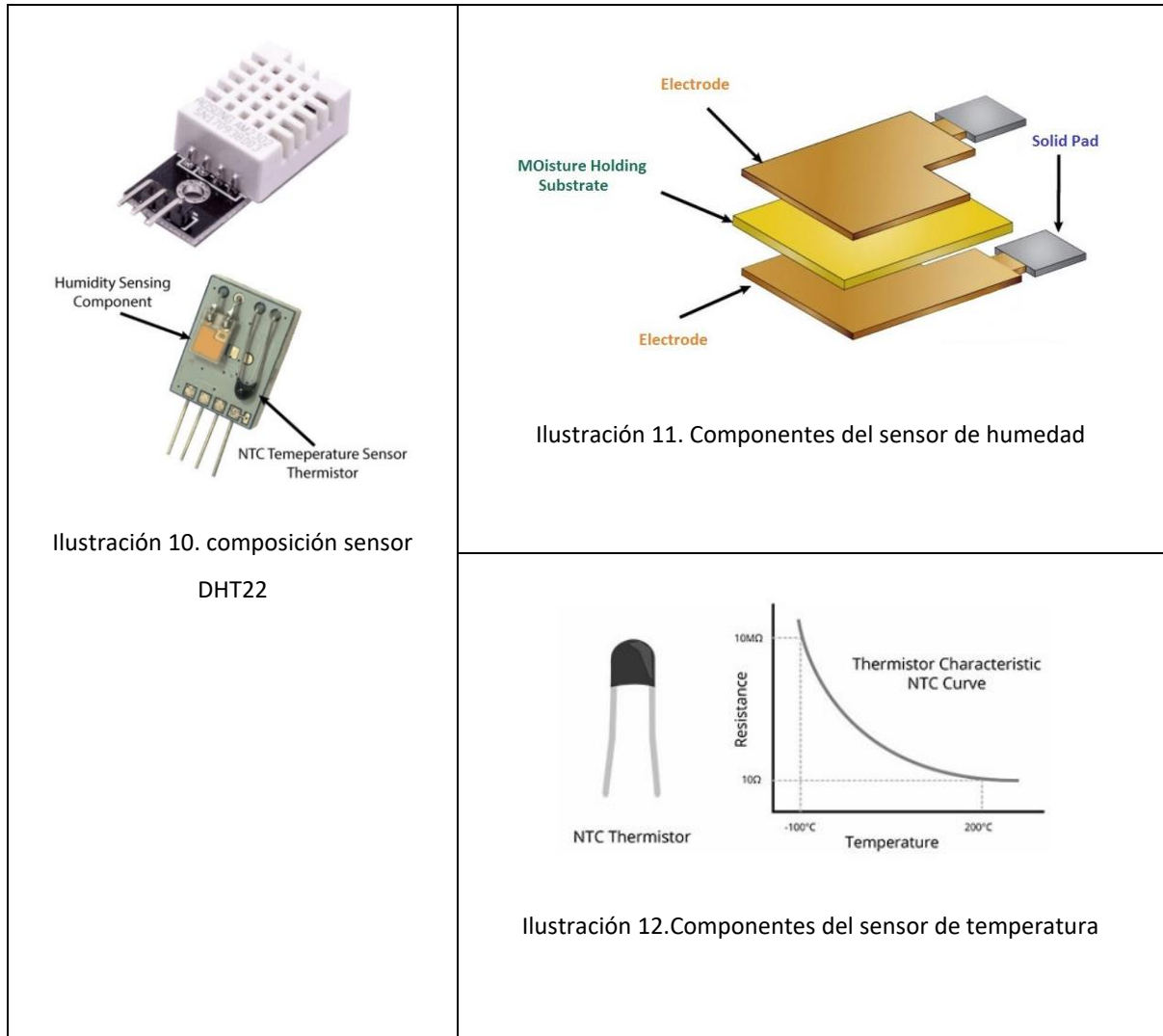


Ilustración 9. Diagrama Conexiones Arduino, Raspberry y sensores

4.2.1.1. Sensor DHT22 de temperatura y humedad relativa

Este sensor mide la temperatura y la humedad del ambiente y su precio es muy bajo. Está compuesto por dos elementos:



El sensor de humedad tiene un rango entre 0% y 100% con una precisión del 2-5%

El sensor de temperatura mide entre -40° y 125° con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Tiene una ratio de muestreo de 0.5Hz (cada 2 segundos). En el artículo (Bogdan Mihai, 2016) se explica cómo se usa este sensor para medir la temperatura y la humedad.

4.2.1.2. Sensor capacitivo de humedad del suelo v1.2



Ilustración 13. Sensor Capacitivo de humedad del suelo

Este sensor mide la humedad relativa gracias a que está compuesto por un capacitador que se ve afectado por el agua.(Placidi et al., 2020) su precio es muy bajo en comparación con otros sensores con mayor precisión pero su precisión es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. (Persson et al., 2023)

Este sensor necesita calibrarse en un entorno seco y húmedo para calcular la humedad relativa ,además hay que tener en cuenta que puede verse afectado por el tipo de suelo (Kulmány et al., 2022)

4.2.1.3. Sensor BH1750FVI de Luz Ambiental

Un dato importante relativo al cultivo de plantas es la radiación.(Carrasco-Ríos, 2009) En concreto la radiación PAR que mide los espectros de radiación que afectan a las plantas. Como los sensores de radiación PAR son muy costosos para este TFG usaremos un sensor de luz ambiental para hacer una estimación de la cantidad de PAR que llega a la planta. (Beyaz & Gül, 2022)

Conociendo la fuente emisora, en este caso el sol, se puede estimar cual es la radiación PAR que nos llega en función de la luz que recibimos.

4.2.2. Arduino

Todos los sensores se conectarán a la placa Arduino que cada minuto leerá los valores de cada sensor, generará un JSON con la información leída y enviará los datos a través del puerto serie.

4.2.3. Raspberry pi

Debido a las limitaciones de la placa Arduino en cuanto a conectividad, capacidad de ejecución y almacenamiento usaremos esta placa para conectarnos a internet y ejecutar en ella un servicio que enviará los datos a la plataforma de AWS que procesará los datos.

Las dos placas se comunicarán a través del puerto serie donde Arduino escribirá cada minuto los valores de los sensores.

A estos datos que se reciben se le añade la hora actual en formato internacional (con ello evitamos tener que añadir a Arduino un CTR para añadir la hora de la lectura de los datos) , luego envía a través del Protocolo MQTT la información al servicio en la nube AWS IoT Core.

Además será necesario instalar el SDK de AWS IoT para tener las librerías necesarias para comunicarse con AWS.

4.2.4. Protocolo MQTT

MQTT es un protocolo de mensajería estándar OASIS para el Internet de las Cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente ligera que resulta ideal para conectar dispositivos remotos con una huella de código pequeña y un ancho de banda de red mínimo. En la actualidad, MQTT se utiliza en una amplia variedad de sectores, como automoción, fabricación, telecomunicaciones, petróleo y gas, etc.(mqtt.org, 2023)

4.2.5. Plataforma Amazon Web Services

AWS es una plataforma creada por Amazon (Mathew, 2014) que permite crear servicios en la nube. Ofrece más de 200 servicios integrales de centros de datos a nivel global. Funcionalmente ofrece una gran cantidad de servicios y características desde almacenamiento y bases de datos hasta tecnologías emergentes como aprendizaje automático e inteligencia artificial.(Amazon Web Services, 2023c)

En nuestro caso nos centraremos en los servicios del internet de las cosas (IoT)(Amazon Web Services, 2023b), en concreto en los servicios IoT Device SDKs , IoT core, IoT SiteWise e IoT Events. Pero también utilizaremos los servicios AWS Lambda, AWS DynamoDB y AWS Simple Queue Service

4.2.5.1. AWS IoT SiteWise

Es un servicio administrado que permite la recopilación, la organización y el análisis de datos de equipos industriales.(Amazon, 2023d) .En nuestro caso lo usaremos para poder visualizar los datos históricos de las variables.

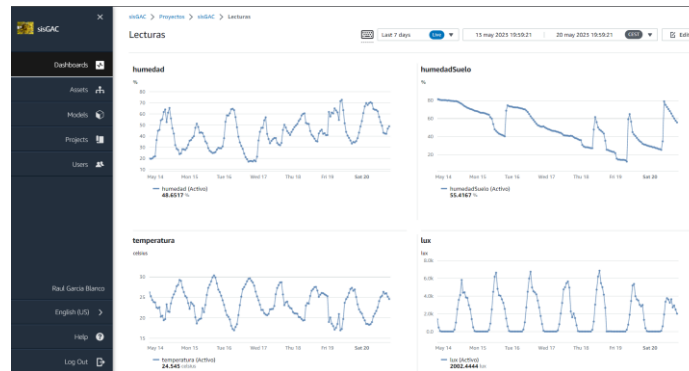


Ilustración 14. IoT SiteWise

4.2.5.2. AWS DynamoDB

Este servicio proporciona una base de datos NoSQL que admite documentos y clave valor. Diseñada para aplicaciones de alto rendimiento. En nuestro caso vamos a definir 3 tablas en él.

- Tabla estados: En esta tabla registraremos los datos de los sensores que nos interesan para que nuestro Bot pueda responder a las peticiones de información. Los documentos tienen el siguiente formato:

```
{
  "id": "valoresActuales",
  "humedad": {
    "estado": "ok",
    "maximo": 80,
    "minimo": 30,
    "valorActual": 35.4
  },
  "humedadSuelo": {
    "estado": "ok",
    "maximo": 80,
    "minimo": 40,
    "valorActual": 49
  },
  "lux": {
    "estado": "porDebajo",
    "maximo": 5000,
    "minimo": 1000,
    "valorActual": 1.666667
  },
}
```

```
"temperatura": {  
  "estado": "ok",  
  "maximo": 30,  
  "minimo": 20,  
  "valorActual": 24.4  
}
```

Tabla 4. Ejemplo documento tabla estados

- Tabla horaria: En ella se almacenan los datos horarios esperados para cada sensor. Podríamos definir por ejemplo los valores esperados del sensor de iluminación cada hora.

```
{  
  "id": "lux",  
  "horario": {  
    "hora0": 0,  
    "hora1": 0,  
    "hora2": 0,  
    "hora3": 0,  
    "hora4": 0,  
    "hora5": 0,  
    "hora6": 0,  
    "hora7": 0,  
    "hora8": 1000,  
    "hora9": 3000,  
    "hora10": 5000,  
    "hora11": 6500,  
    "hora12": 7500,  
    "hora13": 8500,  
    "hora14": 5500,  
    "hora15": 4500,  
    "hora16": 4000,  
    "hora17": 4000,  
    "hora18": 3500,  
    "hora19": 3000,  
    "hora20": 1000,  
    "hora21": 500,  
    "hora22": 0,  
    "hora23": 0  
  }  
}
```

Ilustración 15. Ejemplo definición horario

- Tabla mediciones: esta tabla almacena el histórico de datos recibido de los sensores.

Los documentos almacenados tienen el siguiente formato:

```
{  
  "fecha": "2023-04-28T02:33:10.000Z",  
  "humedad": 40.7,  
  "humedadSuelo": 72,  
  "lux": 4270,  
  "temperatura": 24.4  
}
```

Tabla 5. Ejemplo documento tabla mediciones

4.2.5.1. AWS Gateway API

Con este servicio crearemos una API donde llegaran los mensajes del bot de Telegram, cada vez que llegue un mensaje este se reenviara a una función Lambda que la procesara, generará una respuesta y la enviará a la cola de mensajes para su posterior envío.

4.2.5.1. AWS Simple Queue Service

Este servicio permite crear colas(Amazon, 2023e), de tipo FIFO en nuestro caso donde se irán encolando los mensajes que se quieren enviar al Bot de Telegram desde las distintas Lambdas. De esta forma nos aseguramos de que los mensajes lleguen de forma ordenada.

4.2.5.2. AWS Lambda

Este servicio nos permite crear funciones dentro de la infraestructura de alta disponibilidad de Amazon sin preocuparse de administrar los recursos informáticos, el mantenimiento del servidor o el sistema operativo.(Amazon, 2023b)

Nos ofrece varios lenguajes de programación para crear las funciones lambda. Nosotros usaremos Python.

“Python es un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel eficientes y un simple pero efectivo sistema de programación orientado a objetos. La elegante sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto a su naturaleza interpretada lo convierten en un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas, para la mayoría de las plataformas.”(Python Software Foundation, 2023)

Este lenguaje además tiene un gran número de librerías que usaremos para la programación de las funciones Lambda.

Se han creado las siguientes:

- **actualizarLimites:** esta función actualiza los valores mínimos y máximos de una variable de la tabla estados de DynamoDB. Recibe por parámetros un JSON con el formato:

```
{  
  "maximo": "100",  
  "minimo": "0",  
  "variable": "humedadSuelo"  
}
```

Tabla 6. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarLimites

- **actualizarValor:** esta función actualiza el valor actual (el ultimo leído) de una variable de la tabla estados de DynamoDB. Recibe por parámetros un JSON con el formato:

```
{  
  "valor": "26",  
  "variable": "temperatura"  
}
```

Tabla 7. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarValor

- **actualizarEstado:** esta función actualiza el estado de una variable de la tabla estados de DynamoDB. Recibe por parámetros un JSON con el formato

```
{  
  "variable": "humedadSuelo",  
  "estado": "porEncima"  
}
```

Tabla 8. Ejemplo de llamada a función Lambda actualizarEstado

- **encolarMsgTelegram:** esta función recibe un mensaje y lo encola en el servicio Simple Queue Service de Amazon, recibe por parámetro un JSON con el formato

```
{  
  "mensaje": "mensaje de respuesta"  
}
```

Tabla 9. Ejemplo de llamada a función Lambda encolarMsgTelegram

- procesarTelegramBot: Esta función recibe los mensajes del Bot de Telegram a través del AWS Gateway API, los procesa y encola las respuestas.
- enviarMensajeTelegramBot: recibe peticiones para procesar los elementos del servicio AWS Simple Queue Service
- leerValoresHorarios: Esta función lee los valores esperados para la hora actual de la tabla horario, calcula los máximos y mínimos con un valor margen que recibe por parámetro, llama a la lambda actualizarLimites para actualizar la información en la tabla de estados y genera un input para que IoT Events pueda actualizar la máquina de estados con los nuevos valores limite.

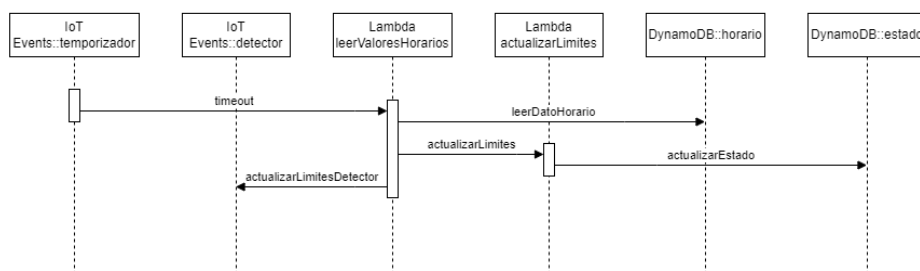


Ilustración 16. Secuencia de actualización limites horarios

4.2.5.3. Proceso recepción y envío al Bot de Telegram

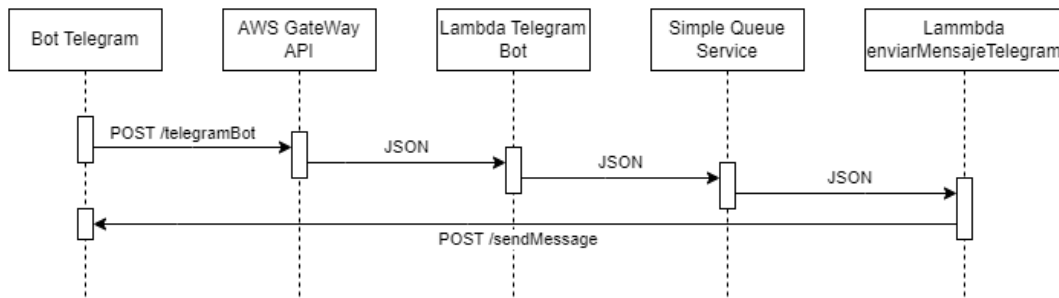


Ilustración 17. Proceso de recepción de peticiones y envío de respuestas



Ilustración 18. Inicio petición Bot Telegram



Ilustración 19. Mensaje respuesta Bot Telegram

El proceso se inicia con la recepción de un mensaje del cliente de Telegram.

Al escribir el mensaje Telegram nos enviará la petición POST a nuestro Gateway API este lo capturará y reenviará a nuestra función Lambda TelegramBot que recibirá el siguiente mensaje JSON:

```

{
  "version": "1.0",
  "resource": "/telegramBot",
  "path": "/default/telegramBot",
  "httpMethod": "POST",
  "headers": {
    "Content-Length": "309",
    "Content-Type": "application/json",
    "Host": "amt44iczs3.execute-api.eu-central-1.amazonaws.com",
    "X-Amzn-Trace-Id": "Root=1-645fcd3-61d7ee4f3e3af46b2e7090",
  }
}
  
```

```
"X-Forwarded-For": "91.108.6.47",
"X-Forwarded-Port": "443",
"X-Forwarded-Proto": "https",
"accept-encoding": "gzip, deflate"
},
"multiValueHeaders": {
  "Content-Length": [
    "309"
  ],
  "Content-Type": [
    "application/json"
  ],
  "Host": [
    "amt44iczs3.execute-api.eu-central-1.amazonaws.com"
  ],
  "X-Amzn-Trace-Id": [
    "Root=1-645fcdf3-61d7eefa4f3e3af46b2e7090"
  ],
  "X-Forwarded-For": [
    "91.108.6.47"
  ],
  "X-Forwarded-Port": [
    "443"
  ],
  "X-Forwarded-Proto": [
    "https"
  ],
  "accept-encoding": [
    "gzip, deflate"
  ]
},
"queryStringParameters": null,
"multiValueQueryStringParameters": null,
"requestContext": {
  "accountId": "329640145453",
  "apiId": "amt44iczs3",
  "domainName": "amt44iczs3.execute-api.eu-central-1.amazonaws.com",
  "domainPrefix": "amt44iczs3",
  "extendedRequestId": "E30eJh_aFiAEMcg=",
  "httpMethod": "POST",
  "identity": {
    "accessKey": null,
    "accountId": null,
    "caller": null,
    "cognitoAmr": null,
    "cognitoAuthenticationProvider": null,
    "cognitoAuthenticationType": null,
    "cognitoIdentityId": null,
    "cognitoIdentityPoolId": null,
    "principalOrgId": null,
    "sourceIp": "91.108.6.47",
    "user": null,
    "userAgent": "",
    "userArn": null
  },
  "path": "/default/telegramBot",
  "protocol": "HTTP/1.1",
```

```
"requestId": "E30eJh_aFiAEMcg=",
"requestTime": "13/May/2023:17:50:43 +0000",
"requestTimeEpoch": 1684000243849,
"resourceId": "ANY /telegramBot",
"resourcePath": "/telegramBot",
"stage": "default"
},
"pathParameters": null,
"stageVariables": null,
"body":
{"update_id":473525447,"message":{"message_id":119,"from":{"id":5129996758,"is_bot":false,"first_name":"Raul","last_name":"Garcia","username":"orgbo","language_code":"es"},"chat":{"id":5129996758,"first_name":"Raul","last_name":"Garcia","username":"orgbo","type":"private"},"date":1683994390,"text":"resumen"}},
"isBase64Encoded": false
}
```

Tabla 10. Ejemplo JSON recibido por la función Lambda TelegramBot

Procesara el campo "text" de "body" y generara un mensaje de respuesta que será enviado al servicio SQS para ser encolado. Cada vez que el servicio de cola detecta elementos ejecuta la función Lambda "enviarMensajeTelegram" para ser procesados con el este JSON como parámetro:

```
{
  "Records": [
    {
      "messageId": "059f36b4-87a3-44ab-83d2-661975830a7d",
      "receiptHandle": "AQEBWJnKyrHigUMZj6rYigCgXlaS3SLy0a...",
      "body": "{\"mensaje\": \"El estado de la humedad está por debajo de los limites \\ud83d\\ude22 \\n el valor es 23 y debería ser superior a 30 \\\"}\",
      "attributes": {
        "ApproximateReceiveCount": "1",
        "SentTimestamp": "1545082649183",
        "SenderId": "AIDAIENQZJOLQ23YVJ4VO",
        "ApproximateFirstReceiveTimestamp": "1545082649185"
      },
      "messageAttributes": {},
      "md5OfBody": "e4e68fb7bd0e697a0ae8f1bb342846b3",
      "eventSource": "aws:sqs",
      "eventSourceARN": "arn:aws:sqs:us-east-2:123456789012:my-queue",
      "awsRegion": "us-east-2"
    }
  ]
}
```

Tabla 11. Ejemplo JSON recibido en la función Lambda enviarMensajeTelegram

La función Lambda lee el campo mensaje del elemento "body", lo envía como respuesta al Bot de Telegram , después se elimina de la cola.

4.2.5.1. AWS IoT Core

Es un servicio en la nube que permite interactuar de forma segura los dispositivos IoT con otros dispositivos u otras aplicaciones, en nuestro caso los datos de input serán los valores de los sensores cada minuto que llegan en formato JSON.

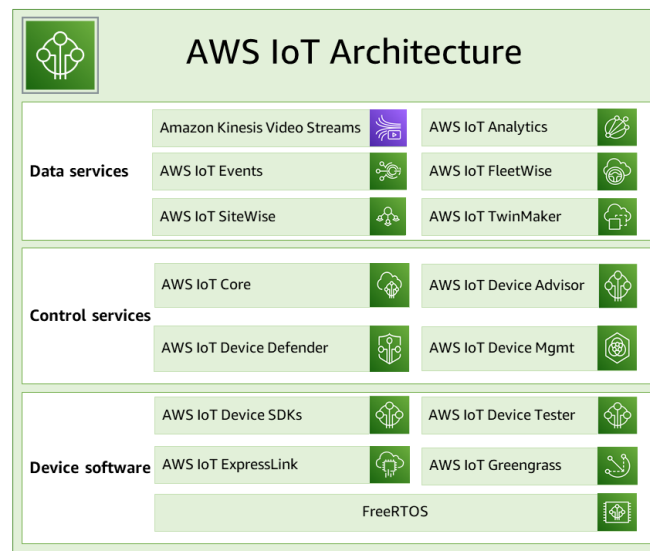


Ilustración 20. AWS IoT Architecture.(Amazon Web Services, 2023a)

Se crearán 3 reglas en este servicio de forma que cuando lleguen los datos primero se envíen para ser almacenados en la tabla mediciones de DynamoDB, después se enviarán al servicio Events para ser procesados y ejecutar las reglas que se hayan definido. Por último se enviarán al servicio IoT SiteWise para poder visualizar los valores históricos.

4.2.5.2. AWS IoT Events

Este servicio detecta y responde a eventos de sensores y aplicaciones IoT. Los eventos son patrones que identifican ciertas situaciones. Como detectores de movimiento que activan cámaras de seguridad o luces. AWS IoT Events monitoriza continuamente los datos de sensores y aplicaciones de IoT, y se integra con otros servicios.

En nuestro caso tendremos dos entradas para este servicio, por un lado estarán los datos de las lecturas de los sensores con la siguiente información:

```
{  
  "fecha": "2023-04-28T02:33:10.000Z",  
  "humedad": 40.7,  
  "humedadSuelo": 72,
```

```
"lux": 4270,  
"temperatura": 24.4  
}
```

Por otro lado tendremos las entradas de las actualizaciones de los valores límites con la información:

```
{  
  "lux": {  
    "maximo": 2000,  
    "minimo": 0  
  }  
}
```

Dentro de este servicio se definirán para cada propiedad al menos una máquina de estado que gestionara las entradas y ejecutara los eventos que se definan para mostrar las alarmas.

4.3. Implementación

4.3.1. Arduino

El código ejecutado en la placa Arduino es el siguiente:

```
#include <ArduinoJson.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SimpleDHT.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;

int pinDHT22 = 2;
SimpleDHT22 dht22(pinDHT22);
int pinHumedadSuelo = A0; // Puerto analógico A0 para la lectura del fotosensor
unsigned long tiempoPaso = 60000; //milisegundos entre paso
const int seco = 800;
const int humedo = 370;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
}

void loop()
{
  int humedadSuelo = map(analogRead(A0), humedo, seco, 100, 0);

  float lux = lightMeter.readLightLevel();
  float temperatura = 0;
  float humedad = 0;
  dht22.read2(&temperatura, &humedad, NULL);

  StaticJsonDocument<200> doc;

  doc["lux"] = lux;
  doc["temperatura"] = temperatura;
  doc["humedad"] = humedad;
  doc["humedadSuelo"] = humedadSuelo;

  String jsonStr;
  serializeJson(doc, jsonStr);
  Serial.println(jsonStr);
  delay(tiempoPaso);
}
```

Tabla 12. Código ejecutado en placa Arduino

En este caso en cada iteración se genera un JSON con la información de los sensores y se envía por el puerto serie.

Para la programación de este Sketch hemos usado las librerías:

- SimpleDHT, BH1750 para la lectura de los sensores
- ArduinoJson para construir los objetos Json que se enviaran
- SoftwareSerial para manejar las comunicaciones con Raspberry pi

Una vez codificado el programa en Arduino IDE 2 este se compila en el propio entorno de desarrollo y se envía a la placa para que comience su ejecución.

4.3.2. Raspberry pi

En esta placa se ha instalado el Sistema Operativo Ubuntu 22.04.2 LTS junto con el SDK de AWS para IoT. Para ello ejecutamos los comandos siguientes:

```
cd ~
git clone https://github.com/aws/aws-iot-device-sdk-python.git
cd aws-iot-device-sdk-python
sudo python setup.py install
```

Tabla 13. Instrucciones instalación SDK de AWS para IoT

Una vez instalado se crea el script Python que se ejecutará para recoger los datos del puerto serie, añadirá la fecha y enviará la información a AWS IoT Core.

```
import serial
import json
import pymongo
from datetime import datetime
import paho.mqtt.publish as publish
import paho.mqtt.client as mqtt
import ssl
import json

ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600) # Configurar el puerto serie USB

# funcion para la conexion a AWS IoT
def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    if rc==0:
        print("connected OK Returned code=",rc)
    else:
        print("Bad connection Returned code=",rc)

def on_log(client, userdata, level, buf):
    print("log: ",buf)

def on_disconnect(client, userdata, rc):
    print("Disconnected: " + mqtt.error_string(rc))

if __name__ == '__main__':
    client = mqtt.Client(client_id="RaspiTFG")
    client.on_connect = on_connect
    client.on_disconnect = on_disconnect
    client.on_log=on_log
    client.tls_set(ca_certs='../certs/root-CA.crt',
```

```
certfile='../certs/RaspiTFG.cert.pem', keyfile='../certs/RaspiTFG.private.key',
tls_version=ssl.PROTOCOL_SSLv23)
    client.tls_insecure_set(True)
    client.connect("xxxxxxxxxxxxx.iot.eu-central-1.amazonaws.com", 8883, 60)

    client.loop_start()

    while True:
        if ser.in_waiting > 0:
            data = ser.readline().decode('utf-8').rstrip() # Leer los datos
entrantes

            dt_string = datetime.utcnow().strftime("%Y-%m-%dT%H:%M:%S.000Z")
            try:
                json_data = json.loads(data) # Decodificar los datos JSON
                json_data["fecha"] = dt_string
                print("dato recibido" , json_data , sep="->")
                json_string = json.dumps(json_data,default=str)
                client.publish("mediciones/sensores", payload=json_string,
qos=0, retain=False)
            except Exception as err:
                print(f"Unexpected {err=}, {type(err)=}")
```

Tabla 14. Código lectura datos del puerto serie y envió a AWS

Este script se ejecutará cada vez que se arranque el sistema así que creamos un servicio Linux que se iniciará en cada arranque.

Primero creamos el fichero /etc/systemd/system/lectura.service con el contenido:

```
[Unit]
Description=Script de lectura de datos del puerto serie

[Service]
User=pi
Type=simple
WorkingDirectory=/home/pi/TFG/
ExecStart=/usr/bin/python3 lectura.py

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Tabla 15. Fichero definición servicio lectura

Luego se ejecutan los comandos que arrancaran el servicio y lo ejecutaran en cada arranque

```
sudo systemctl start lectura
sudo systemctl enable lectura
```

Tabla 16. Comandos configuración servicio lectura

4.3.3. Plataforma Amazon Web Services

4.3.3.1. AWS DynamoDB

Se define la tabla estados con la siguiente información:

```
{
  "id": "valoresActuales",
  "humedad": {
    "estado": "ok",
    "maximo": 80,
    "minimo": 30,
    "valorActual": 35.4
  },
  "humedadSuelo": {
    "estado": "ok",
    "maximo": 80,
    "minimo": 40,
    "valorActual": 49
  },
  "lux": {
    "estado": "porDebajo",
    "maximo": 8000,
    "minimo": 1000,
    "valorActual": 1.666667
  },
  "temperatura": {
    "estado": "ok",
    "maximo": 30,
    "minimo": 20,
    "valorActual": 24.4
  }
}
```

Tabla 17. Ejemplo tabla estados

4.3.3.2. Configuración reglas de reenvío en AWS IoT Core

Este servicio transforma los mensajes MQTT y realiza acciones para interactuar con otros servicios.

Cuando se reciben los datos de Raspberry pi en el tópic "lectura/sensores" se ejecutan 3 reglas que reenvían información a los distintos servicios:

1. reglaEventos: esta regla reenvía la información a AWS IoT Events para ser procesada por la máquina de estados de cada variable.
2. reglaSiteWise: esta regla reenvía los datos al servicio SiteWise para poder consultar los datos en tiempo real a través del portal <https://p-yd7ndfbl.app.iotsitewise.aws/>
3. reglaHistorico: esta regla envía los datos a la tabla mediciones del servicio de base de datos noSQL DynamoDB

4.3.3.3. AWS Lambdas

Se codifican las distintas funciones Lambdas definidas durante el análisis

- actualizarLimites

```
import boto3

# Crear cliente de DynamoDB
dynamodb = boto3.client('dynamodb')

def lambda_handler(event, context):
    # Obtener el valor de 'minimo', 'maximo' y 'variable' desde el evento de Lambda
    minimo = event['minimo']
    maximo = event['maximo']
    variable = event['variable']

    # Definir clave principal del elemento a actualizar
    key = {
        'id': {'S': 'valoresActuales'}
    }

    # Definir expresión de actualización
    update_expression = 'SET #variable.maximo = :maximo, #variable.minimo = :minimo'

    # Definir los nombres de atributos
    attribute_names = {
        '#variable': variable
    }

    # Definir valores para los parámetros de la expresión de actualización
    expression_attribute_values = {
        ':maximo': {'N': str(maximo)},
        ':minimo': {'N': str(minimo)}
    }

    # Ejecutar la operación UpdateItem para actualizar el elemento
    response = dynamodb.update_item(
        TableName='estados',
        Key=key,
        UpdateExpression=update_expression,
        ExpressionAttributeNames=attribute_names,
        ExpressionAttributeValues=expression_attribute_values
    )

    #imprimir respuesta
    print(response)
```

Tabla 18. Codificación función Lambda actualizarLimites

- actualizarValor

```
import boto3

# Crear cliente de DynamoDB
dynamodb = boto3.client('dynamodb')
```

```
def lambda_handler(event, context):
    # Obtener el valor de 'valor' y 'variable' desde el evento de Lambda
    valor = event['valor']
    variable = event['variable']

    # Definir clave principal del elemento a actualizar
    key = {
        'id': {'S': 'valoresActuales'}
    }

    # Definir expresión de actualización
    update_expression = 'SET #variable.valorActual = :valor'

    # Definir los nombres de atributos que podrían ser palabras reservadas
    attribute_names = {
        '#variable': variable
    }

    # Definir valores para los parámetros de la expresión de actualización
    expression_attribute_values = {
        ':valor': {'N': str(valor)}
    }

    # Ejecutar la operación UpdateItem para actualizar el elemento
    response = dynamodb.update_item(
        TableName='estados',
        Key=key,
        UpdateExpression=update_expression,
        ExpressionAttributeNames=attribute_names,
        ExpressionAttributeValues=expression_attribute_values
    )

    #imprimir respuesta
    print(response)
```

Tabla 19. Codificación función Lambda actualizarValor

- actualizarEstado

```
import boto3

# Crear cliente de DynamoDB
dynamodb = boto3.client('dynamodb')

def lambda_handler(event, context):
    # Obtener el valor de 'estado' y 'variable' desde el evento de Lambda
    estado = event['estado']
    variable = event['variable']

    # Definir clave principal del elemento a actualizar
    key = {
        'id': {'S': 'valoresActuales'}
    }

    # Definir expresión de actualización
    update_expression = 'SET #variable.estado = :estado'
```

```
# Definir los nombres de atributos que podrían ser palabras reservadas
attribute_names = {
    "#variable": variable
}

# Definir valores para los parámetros de la expresión de actualización
expression_attribute_values = {
    ':estado': {'S': str(estado)}
}

# Ejecutar la operación UpdateItem para actualizar el elemento
response = dynamodb.update_item(
    TableName='estados',
    Key=key,
    UpdateExpression=update_expression,
    ExpressionAttributeNames=attribute_names,
    ExpressionAttributeValues=expression_attribute_values
)

#imprimir respuesta
print(response)
```

Tabla 20.. Codificación función Lambda actualizarEstado

- encolarMsgTelegram

```
import json
import boto3
import time
from datetime import datetime

def encolarMensaje (mensaje) :
    now = datetime.now()
    current_time = now.strftime("%H:%M:%S %p")

    sqs = boto3.client('sqs') #client is required to interact with
    sqs.send_message(
        QueueUrl="https://sqs.eu-central-
1.amazonaws.com/329640145453/ColaMensajesBotTelegram.fifo",
        MessageBody=json.dumps(mensaje),
        MessageGroupId='TelegramBot',
        MessageDeduplicationId= str(time.time())
    )

def lambda_handler(event, context): #required

    encolarMensaje(event)

    return {
        'statusCode': 200,
        'body': 'encolado'
    }
```

Tabla 21. Codificación función Lambda encloarMsgTelegram

- telegramBot

```
import boto3
import json
import os
import requests

def dameCadenaPropiedad (titulo,estado,maximo,minimo,valor):
    res=titulo
    if (estado=='ok'):
        res += ('\n 📌 Estado: ')
        res += (estado)
    else:
        res += ('\n 📌 Estado: ')
        res += (estado)
    res += ('\n 📈 Máximo: ')
    res += (maximo)
    res += ('\n 📉 Mínimo: ')
    res += (minimo)
    if (estado=='ok'):
        res += ('\n ✅ Valor actual: ')
        res += (valor)
    else:
        res += ('\n ❌ Valor actual: ')
        res += (valor)
    res += ('\n')

    return res

def dameDatosEstados():
    # Nombre de la tabla DynamoDB
    tabla = 'estados'

    # Crear una instancia del cliente de DynamoDB
    dynamodb = boto3.client('dynamodb')

    try:
        # Obtener el item de la tabla DynamoDB
        response = dynamodb.get_item(
            TableName=tabla,
            Key={
                'id': {'S': 'valoresActuales'}
            }
        )

        # Leer los valores de cada atributo
        item = response['Item']
        humedad = item.get('humedad', {}).get('M', {})
        humedad_suelo = item.get('humedadSuelo', {}).get('M', {})
        lux = item.get('lux', {}).get('M', {})
        temperatura = item.get('temperatura', {}).get('M', {})

        # Leer los valores específicos de cada atributo
        estado_humedad = humedad.get('estado', {}).get('S', '')
```

```
maximo_humedad = humedad.get('maximo', {}).get('N', '')
minimo_humedad = humedad.get('minimo', {}).get('N', '')
valor_actual_humedad = humedad.get('valorActual', {}).get('N', '')

estado_humedad_suelo = humedad_suelo.get('estado', {}).get('S', '')
maximo_humedad_suelo = humedad_suelo.get('maximo', {}).get('N', '')
minimo_humedad_suelo = humedad_suelo.get('minimo', {}).get('N', '')
valor_actual_humedad_suelo = humedad_suelo.get('valorActual', {}).get('N', '')

estado_lux = lux.get('estado', {}).get('S', '')
maximo_lux = lux.get('maximo', {}).get('N', '')
minimo_lux = lux.get('minimo', {}).get('N', '')
valor_actual_lux = lux.get('valorActual', {}).get('N', '')

estado_temperatura = temperatura.get('estado', {}).get('S', '')
maximo_temperatura = temperatura.get('maximo', {}).get('N', '')
minimo_temperatura = temperatura.get('minimo', {}).get('N', '')
valor_actual_temperatura = temperatura.get('valorActual', {}).get('N', '')

res = dameCadenaPropiedad('💧 Humedad
',estado_humedad,maximo_humedad,minimo_humedad,valor_actual_humedad)
res += dameCadenaPropiedad('🌱 Humedad del suelo
',estado_humedad_suelo,maximo_humedad_suelo,minimo_humedad_suelo,valor_actual_humedad_suelo)
res += dameCadenaPropiedad('☀️ Radiación
',estado_lux,maximo_lux,minimo_lux,valor_actual_lux)
res += dameCadenaPropiedad('🌡️ Temperatura
',estado_temperatura,maximo_temperatura,minimo_temperatura,valor_actual_temperatura)
return res

except Exception as err:
    print(f"Unexpected {err=}, {type(err)=}")

def lambda_handler(event, context):

    try:
        request_body = json.loads(event['body']) # EXtract the Body from the call
    except KeyError:
        request_body = ""

    try:
        request_msg = json.dumps(request_body['message'])#['chat']['id'] # Extract the
message object which contrains chat id and text
    except KeyError:
        request_msg = ""

    try:
        chat_id = json.dumps(request_body['message']['chat']['id']) # Extract the chat id
from message
    except KeyError :
        chat_id = ""

    try :
        command = json.dumps(request_body['message']['text']).strip('') # Extract the text
from the message
    except KeyError:
        command = ""
```

```
telegram_msg = ""

if command == "resumen":
    telegram_msg = dameDatosEstados()
else:
    telegram_msg = "🤖"

print(telegram_msg)

chat_id = os.environ['CHATID']
telegram_token = os.environ['TOKEN']

api_url = f"https://api.telegram.org/bot{telegram_token}/"

params = {'chat_id': chat_id, 'text': telegram_msg}
res = requests.post(f"{api_url}sendMessage", data=params).json()

return {
    'statusCode': 200,
    'msg': json.dumps('respuesta enviada!'),
    'body': json.dumps('vamoooos')
}
```

Tabla 22. Codificación función Lambda telegramBot

En esta Lambda además de la codificación es necesario añadir el trigger para que se ejecute cada vez que llegue una petición a la API Gateway. Para ello pulsamos en opción Agregar desencadenador en la ventana de definición de la Lambda.

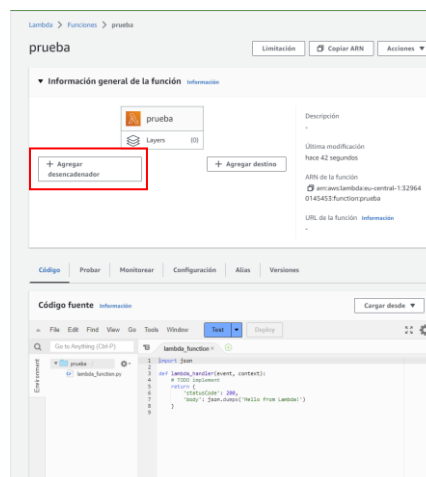


Ilustración 21. Ventana definición Lambda

Y seleccionar API Gateway en el siguiente formulario:

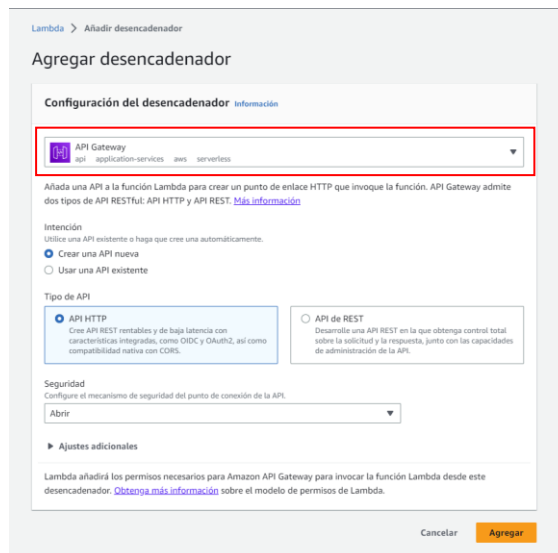


Ilustración 22. Formulario definición desencadenador

Al pulsar en “Agregar” se generará la API Gateway y se conectará con la función Lambda

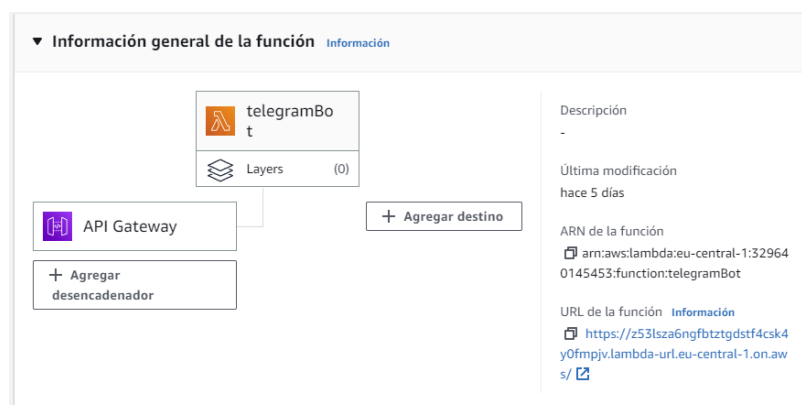


Ilustración 23. API Gateway conectada con función Lambda

- enviarMensajeTelegramBot

```
import boto3
import json
import os
import requests

def lambda_handler(event, context):

    print(json.dumps(event))
    chat_id = os.environ['CHATID']
    telegram_token = os.environ['TOKEN']
    api_url = f"https://api.telegram.org/bot{telegram_token}/"

    records = event['Records']
    for record in records:
        content = record['body']
        print(content)
```



```
params = {'chat_id': chat_id, 'text': json.loads(content)['mensaje']}
res = requests.post(f"{api_url}sendMessage", data=params).json()

return {
    'statusCode': 200,
    'body': 'mensajeEnviado'
}
```

Tabla 23. Codificación función Lambda enviarMensajeTelegramBot

- actualizarValoresHorarios

```
import json
import boto3
import datetime
import dateutil.tz

# Crear cliente de DynamoDB
dynamodb = boto3.client('dynamodb')

def actualizarLimites (variable,maximo,minimo) :
    # Crear una instancia del cliente Lambda
    lambda_client = boto3.client('lambda')

    # Parámetros para la invocación de la función Lambda objetivo
    function_name = 'actualizarLimites'
    payload = {
        'minimo': minimo,
        'maximo': maximo,
        'variable': variable
    }

    # Invocar a la función Lambda objetivo
    response = lambda_client.invoke(
        FunctionName=function_name,
        InvocationType='RequestResponse', # Puedes cambiar el tipo de invocación según
tus necesidades
        Payload=json.dumps(payload)
    )

    # Obtener el resultado de la función Lambda objetivo
    result = json.loads(response['Payload'].read())
    print(result)

def actualizarVariables (maximo,minimo) :

    # Configurar el cliente de AWS IoT Events
    iot_events_client = boto3.client('iotevents-data')

    # Nombre del detector de eventos
    detector_name = 'detectorLux'

    # Definir los datos a enviar al detector de eventos
    data = {
        "lux": {
            "maximo": maximo,
            "minimo": minimo
        }
    }
```

```
    }
}
# Convertir los datos a formato JSON
payload = json.dumps(data)

# Enviar los datos al detector de eventos
iot_events_client.batch_put_message(
    messages=[
        {
            'inputName': 'actualizacionLimites', # Nombre del input en el detector
de eventos
            'messageId': '1', # ID único del mensaje
            'payload': payload
        }
    ]
)
print(payload)
# Imprimir mensaje de éxito
print("Datos enviados al detector de eventos")

def lambda_handler(event, context):
    # Obtener el valor de hora pasado por parámetro y el id de la propiedad

    zona_horaria_esp = dateutil.tz.gettz('Europe/Madrid');
    fecha_actual = datetime.datetime.now(zona_horaria_esp).time()
    hora = fecha_actual.hour
    margen = event['margen']
    idPropiedad = event['id']

    # Crear una instancia del cliente DynamoDB
    dynamodb = boto3.client('dynamodb')

    # Consultar la tabla DynamoDB
    response = dynamodb.get_item(
        TableName='horario',
        Key={
            'id': {'S': idPropiedad}
        }
    )
    # Obtener el valor correspondiente a la hora solicitada
    horario = response['Item']['horario']
    valor = horario['M']['hora{}'.format(hora)]

    maximo = int(valor['N']) + margen
    minimo = int(valor['N']) - margen

    actualizarLimites(idPropiedad,maximo,minimo)
    actualizarVariables(maximo,minimo)

    # Devolver el valor encontrado
    return {
        'hora': hora,
        'valor': valor['N'],
        'maximo': maximo,
        'minimo': minimo,
        'propiedad': idPropiedad
    }
```

4.3.3.4. Configuración estados AWS IoT Events

- Detectores: Los detectores son los encargados de procesar los datos de entrada de los sensores.

Se crean cuatro modelos de detector, una para cada variable, humedad, temperatura, lúmenes, y humedad de suelo.

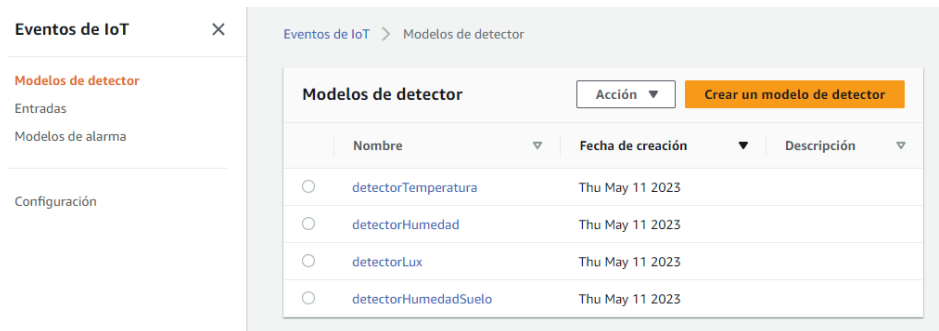


Ilustración 24.AWS IoT Events. Modelos de detector

Cada modelo de detector es una máquina de estados, podrían ser máquinas de estados distintas para cada propiedad pero para esta prueba todos tienen las mismas transiciones y estados.

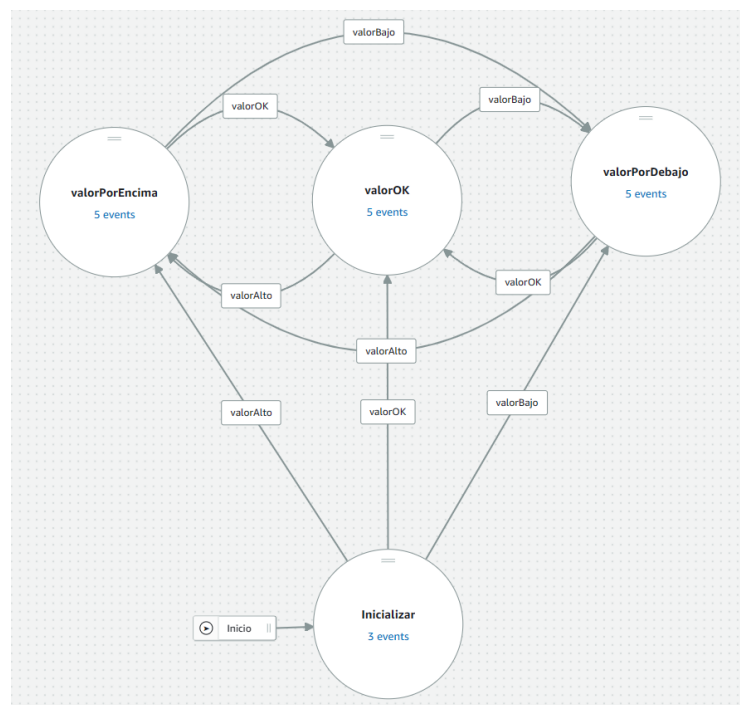


Ilustración 25.Definición máquina de estados detectores

Cada vez que se lee un valor se manda a esta máquina de estados. Los estados son los siguientes:

- Estado “Inicializar”: este estado es el inicial, cuando se entra en este estado se producen 3 eventos:
 - Inicio: en este evento se definen los valores mínimos y máximos por defecto que se usaran como condiciones para hacer las transiciones
 - actualizarEstado: en este evento se ejecuta la función lambda actualizarEstado pasando los parámetros en un JSON con el siguiente formato:

```
{  
  "variable": "temperatura",  
  "estado": "inicializar"  
}
```

Tabla 24. Ejemplo llamada a Lambda actualizarEstado

- actualizarLimites: esta llamada actualizara el mínimo y máximo de la variable con los valores definidos en el evento “Inicio”, enviara el siguiente JSON a la función:

```
{  
  "variable": "temperatura",  
  "minimo": x,  
  "maximo": y  
}
```

Tabla 25. Ejemplo llamada a Lambda actualizarLimites

- En los Estados “TemperaturaPorEncima”, “TemperaturaOK” y “TemperaturaPorDebajo” al entrar en el estado se producen 3 eventos
 - actualizarValor: la llamada a esta función que actualizara el valorActual de la variable con el ultimo valor leído, el JSON del parámetro es el siguiente:

```
{  
  "valor": "${input.entrada.temperatura}",  
  "variable": "temperatura"  
}
```

Tabla 26. Ejemplo llamada a Lambda actualizarValor

- actualizarEstado: actualiza el valor estado de la variable al estado en el que se encuentra, pueden ser “porDebajo”, “porEncima” u “ok”

```
{  
  "variable": "temperatura",  
  "estado": "porEncima"  
}
```

Tabla 27. Ejemplo llamada a Lambda actualizarEstado

- notificarTelegram: hace una llamada a la función lambda para encolar el mensaje de respuesta enviando el JSON:

```
{  
  "mensaje": "El estado de la temperatura está por encima de los limites 🤔 \n el valor  
es ${input.entrada.temperatura} y debería ser inferior a ${variable.valorMaximo}"  
}
```

Tabla 28. Ejemplo llamada a Lambda notificarTelegram

Al recibir un dato nuevo por la entrada de los datos de los sensores se produce el evento:

- actualizarValor: esta llamada es igual a la que se produce cuando se entra en el estado. Actualiza el valor con el ultimo input llamando a la Lambda actualizarValor.

Al recibir un dato nuevo por la entrada de la actualización de limites se actualizan los valores máximos y mínimos que se usan para calcular las transiciones a los nuevos valores recibidos.

- actualizarLimites: este evento asigna a la variable valorMaximo el valor de \$input.actualizacionLimites.lux.maximo y a la variable valorMinimo el valor de \$input.actualizacionLimites.lux.minimo

Además para variables en la que se quieran actualizar los valores limites horariamente hay que crear un nuevo modelo de detector con la siguiente máquina de estados:

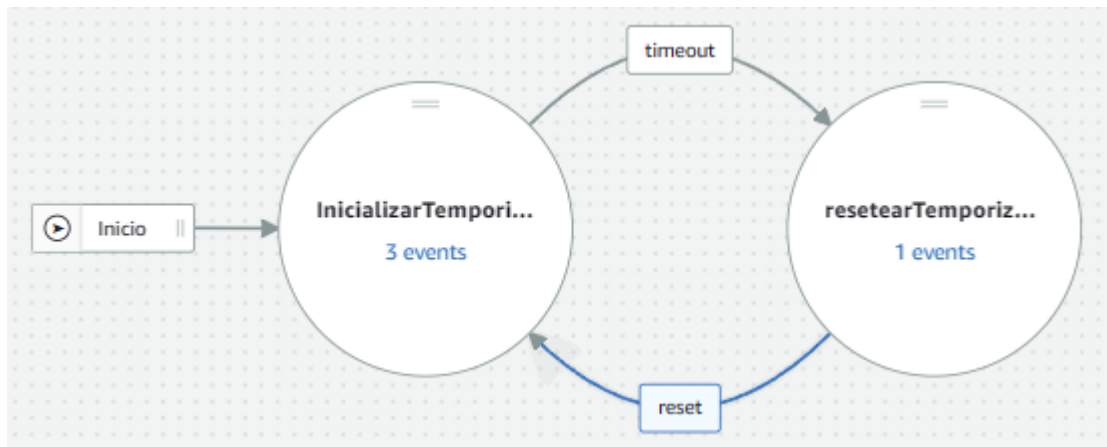


Ilustración 26. Definición máquina de estados temporizadores

Esta máquina tiene 2 estados:

- **iniciarTemporizador:** en este estado se producen 3 eventos:
 - **inicioTemporizador:** este evento crea el temporizador con una duración de 1 hora
 - **actualizarValoresHorarios:** este evento hace una llamada a la función Lambda `actualizarValoresHorarios`
 - **leerFecha:** guarda la fecha de la última actualización en una variablecuando el tiempo se cumple se ejecuta la transición `timeout`.
- **resetearTemporizador:** En este estado se ejecutan 1 eventos
 - **resetearTemporizador:** que elimina el temporizadorla transición `reset` se ejecuta siempre que se entra en el estado `resetearTemporizador` con lo que se volvería al estado `iniciarTemporizador`.

4.3.4. Configuración Bot Telegram

Para crear nuestro Bot tenemos que abrir una conversación desde la aplicación con un BotFather y ejecutar el comando:

```
/newbot
```



Ilustración 27. Creación Bot con BotFather

Para que las peticiones del Bot de Telegram lleguen a nuestro Gateway es necesario ejecutar el comando:

```
curl https://api.telegram.org/bot<TOKEN>/setWebhook?url=<URL_GATEWAY>
```

Donde <TOKEN> es el token que nos proporciona Telegram cuando registramos nuestro Bot y <URL_GATEWAY> es la dirección de nuestro AWS Gateway API, <https://amt44iczs3.execute-api.eu-central-1.amazonaws.com/default/telegramBot>

De esta forma todos los mensajes serán reenviados a nuestra API en AWS.

Es posible comprobar el estado de nuestro Webhook ejecutando el comando:

```
curl https://api.telegram.org/bot<TOKEN>/getWebhookInfo
```

Si todo funciona correctamente responderá con el mensaje:

```

StatusCode      : 200
StatusDescription : OK
Content         :
{"ok":true,"result":{"url":"https://amt44iczs3.execute-api.eu-central-
1.amazonaws.com/default/teleg

ramBot","has_custom_certificate":false,"pending_update_count":0,"max_conne
ctions":40,"ip_address":
3....
RawContent      : HTTP/1.1 200 OK
                  Connection: keep-alive
                  Strict-Transport-Security: max-age=31536000;
includeSubDomains; preload
                  Access-Control-Allow-Origin: *
                  Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, OPTIONS
                  Acce...
Forms           : {}
Headers         : {[Connection, keep-alive], [Strict-Transport-Security,
max-age=31536000; includeSubDomains;
                  preload], [Access-Control-Allow-Origin, *], [Access-
Control-Allow-Methods, GET, POST, OPTIONS]...}
Images          : {}
InputFields     : {}
Links           : {}
ParsedHtml      : mshtml.HTMLDocumentClass
RawContentLength : 214

```

Ilustración 28. Confirmación estado Telegram Webhook

4.4.Pruebas

Para validar el sistema se ha ido probando con distintos valores límites y comprobando que se reciben las alertas correctamente por ejemplo:

Teniendo como valores límites de radiación [8000] y [1000] y los valores límite de temperatura entre [30] y [20]

cuando a las 19:16 se baja de ese valor el Bot nos envía mensajes de alerta y cuando a las 20:12 baja la temperatura vemos que también nos alerta del cambio de estado.



Ilustración 29. Mensaje alerta

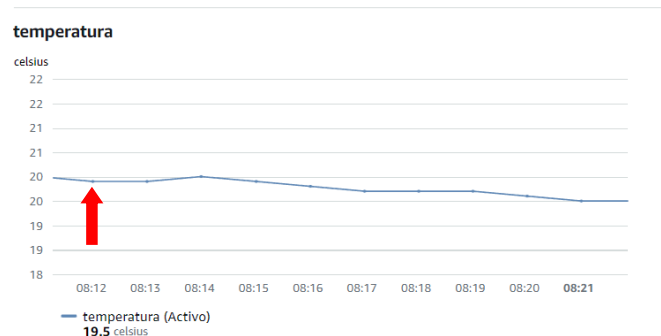


Ilustración 30. Cambio estado temperatura baja

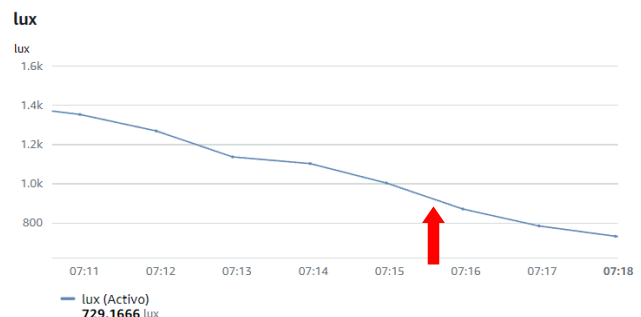


Ilustración 31. Cambio estado lúmenes

Al pedir el resumen podemos comprobar que esas variables están en un estado de alerta.



Ilustración 32. Resumen Bot Telegram con estados de alarma

Al día siguiente se recibe un mensaje a las 08:25 cuando la radiación vuelve a un estado correcto y a las 10:17 cuando la temperatura también se corrige, todas las variables están en estado ok

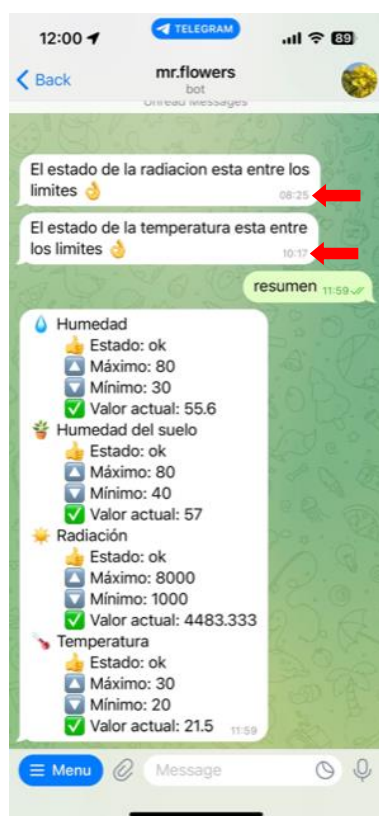


Ilustración 33. Mensajes cambio estado
Telegram Bot

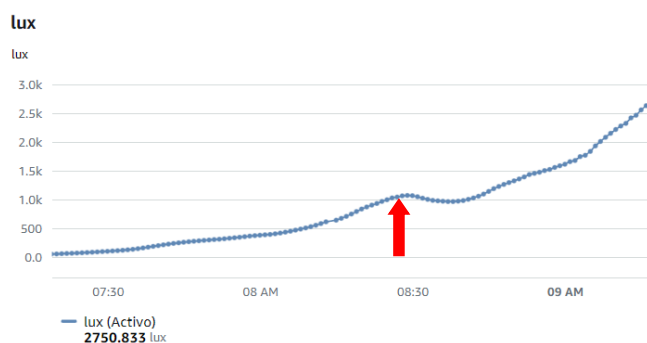


Ilustración 34. Gráfico SiteWise lúmenes cambio estado

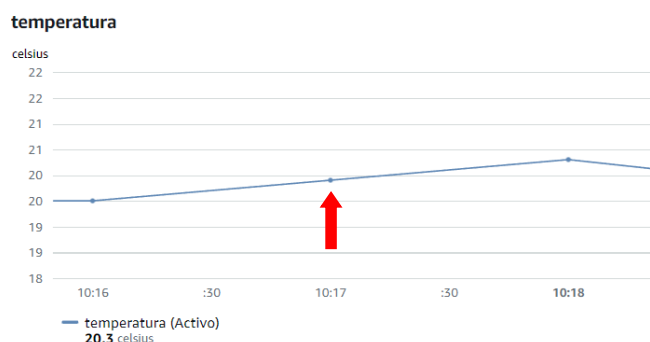


Ilustración 35. Gráfico SiteWise temperatura cambio estado

5. Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones del trabajo

Tras la ejecución de la prueba se puede concluir que todos los objetivos generales y específicos se han cumplido.

Se ha conseguido generar un sistema de alarmas para cultivos que lee los datos de sensores, los envía y procesa en un sistema cloud como AWS Events, donde se pueden crear reglas para ajustar las alarmas a nuestras necesidades y que interactúa con el usuario a través de un sistema sencillo de mensajería móvil como es Telegram.

5.2. Líneas de trabajo futuro

Durante el desarrollo del TFG han surgido bastantes ideas para posibles trabajos futuros.

Por una parte el sistema podría ampliar su funcionalidad usando actuadores para que el sistema pudiese corregir los problemas automáticamente o incluso consultar al usuario a través de Telegram las posibles medidas correctoras. Por ejemplo si se detectase humedad en el suelo baja podría activar el riego o si en un invernadero hace mucho calor, podría preguntar si se quiere activar la ventilación.

Otras mejoras que se podrían desarrollar serían la conexión con otros servicios de AWS para ampliar la funcionalidad del Bot. Por ejemplo se podría conectar al servicio AWS Lex para ampliar las capacidades conversacionales del Bot y que sea capaz de responder de forma más natural.

También se podrían usar todos los datos de los sensores junto con los resultados de las cosechas para entrenar modelos de aprendizaje automático y poder hacer estimaciones más precisas de los futuros cultivos.

Por último todo el sistema podría modelarse como infraestructura como código (IaC) y ofrecerse a posibles clientes usando el servicio CloudFormation (Amazon, 2023a) para desplegar el sistema de forma automática.

Referencias bibliográficas

- Amazon. (2023a). *Aprovisionamiento de infraestructura como código - AWS CloudFormation* - AWS. <https://aws.amazon.com/es/cloudformation/>
- Amazon. (2023b). *Informática sin servidor – Características de AWS Lambda – Amazon Web Services*. <https://aws.amazon.com/es/lambda/features/>
- Amazon. (2023c). *Internet de las cosas | Plataforma como servicio | AWS IoT*. <https://aws.amazon.com/es/iot/>
- Amazon. (2023d). *Recopilar y procesar datos industriales – AWS IoT SiteWise – Amazon Web Services*. <https://aws.amazon.com/es/iot-sitewise/>
- Amazon. (2023e). *What is Amazon Simple Queue Service? - Amazon Simple Queue Service*. <https://docs.aws.amazon.com/AWSSimpleQueueService/latest/SQSDeveloperGuide/welcome.html>
- Amazon Web Services. (2023a). *How AWS IoT works - AWS IoT Core*. <https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/aws-iot-how-it-works.html>
- Amazon Web Services, I. (2023b). *AWS IoT API Reference*.
- Amazon Web Services, I. (2023c). *¿Qué es AWS?* https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/?nc1=f_cc
- APSIM. (2023). *About Us – APSIM*. <https://www.apsim.info/about-us/>
- Arduino Official Store. (2023). *Arduino Plant Watering Kit — Arduino Official Store*. <https://store.arduino.cc/products/plant-watering-kit>
- Arduino S.r.l. (2023). *Arduino Plant Watering Kit — Arduino Official Store*. <https://store.arduino.cc/pages/plant-watering-kit>
- Baggio, A. (2005). *Wireless sensor networks in precision agriculture*. <http://www.lofar.org/p/Agriculture.htm>
- Beyaz, A., & Gül, V. (2022). Determination of Low-Cost Arduino Based Light Intensity Sensors Effectiveness for Agricultural Applications. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220172>

- Bogdan Mihai. (2016). *HOW TO USE THE DHT22 SENSOR FOR MEASURING TEMPERATURE AND HUMIDITY WITH THE ARDUINO BOARD. LXVIII.* <https://doi.org/10.1515/aucts-2016-0005>
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussi re, F., Cabidoche, Y. M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill re, J. P., H nault, C., Maraux, F., Seguin, B., & Sinoquet, H. (2003). An overview of the crop model stics. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 309-332. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00110-7)
- Carrasco-Ríos, L. (2009). EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN PLANTAS. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>
- Dennys Francisco Salazar Domínguez. (2022). *ESCUELA POLIT CNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA SISTEMA DE RIEGO PARA INVERNADEROS CON INTERFAZ WEB UTILIZANDO UN ARDUINO Y N MANEJO DE ACTUADORES CON ARDUINO Y N TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN.*
- docs.arduino.cc. (2023a). *Estructura programa arduino.* <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/getting-started-arduino#program-structure>.
- docs.arduino.cc. (2023b). *UNO R3 | Arduino Documentation | Arduino Documentation.* <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- Dreyli Maygualida Hidalgo Ramos. (2017). *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.*
- Espinosa, A., Ponte, D., Gibeaux, S., & González, C. (2021). *Estudio de Sistemas IoT Aplicados a la Agricultura Inteligente.*
- Gesteira, R., Director, M., Atilano, :, Fernández-Pacheco Sánchez, R., & Madrid, M. (2020). *Implementación de una arquitectura de microservicios para una red de sensores IoT sobre Arduino.* <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/43411>
- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y., &

- Jones, J. W. (2019). *The DSSAT crop modeling ecosystem*. 173-216.
<https://doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>
- <https://www.json.org/>. (2023). *JSON*. <https://www.json.org/json-en.html>
- IBM. (2023). *Soluciones IoT | IBM*. https://www.ibm.com/es-es/cloud/internet-of-things?utm_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700068029441558&p5=p&gclid=CjOKCQjwgLOiBhC7ARIsAleetVDU49fAR-p0L2Ju9m4qUkew77jaul28jwsSvh-y0qCYd2MNKEbMs_waAvCOEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- INRAE. (2023). *Agroclim STICS - Stics model overview*.
https://www6.paca.inrae.fr/stics_eng/About-us/Stics-model-overview
- J. Cedeño, M. Zambrano, & C. Medina. (2014). *Vista de Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agorindustria*.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/518/513>
- José, J., & Arboleda, V. (2009). *Modelo de proyección para la producción de rosas, basado en las curvas de crecimiento de las plantas*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios
- Juan Núñez, V. M., Faruk Fonthal, R., & Yasmín Quezada, L. M. (2018, diciembre 5). Design and Implementation of WSN and IoT for Precision Agriculture in Tomato Crops. *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564674>
- Kaa. (2023). ► *Enterprise IoT Platform with Free Plan | Kaa*. <https://www.kaaiot.com/>
- Kulmány, I. M., Bede-Fazekas, Á., Beslin, A., Giczi, Z., Milics, G., Kovács, B., Kovács, M., Ambrus, B., Bede, L., & Vona, V. (2022). Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70(3), 330-340. <https://doi.org/10.2478/JOHH-2022-0014>
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). *Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review*. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Mathew, S. (2014). *Overview of Amazon Web Services*.
- Microsoft. (2023a). *Información general de Windows 10 IoT - Windows IoT | Microsoft Learn*.
<https://learn.microsoft.com/es-es/windows/iot-core/windows-iot>

- Microsoft. (2023b). *IoT Hub | Microsoft Azure*. <https://azure.microsoft.com/es-es/products/iot-hub>
- Microsoft. (2023c). *¿Qué es PaaS? Plataforma como servicio | Microsoft Azure*. <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-paas>
- Ministerio de Agricultura, P. y A. (2023). *Principales retos del regadío Español*. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/regadio-espanya/default_1.1.3.aspx
- mqtt.org. (2023). *mqtt protocol*. <https://mqtt.org/>.
- Nestor Monroy, Ignacio Pérez, & José Ricardo Cure. (2001). *Vista de Estudio de la variabilidad en el clima y la producción de rosas en la sabana de Bogotá | Revista de Ingeniería*. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/6943/7266>
- Netro. (2023). *Netro Whisperer | Smart Plant Sensor*. <https://netrohome.com/en/shop/products/whisperer>
- Persson, M. ; , Berndtsson, R. , Bertotto, L. E. , Kobayashi, A. N. A. , Wendland, E. C., Schwamback, D., Persson, M., Berndtsson, R., Bertotto, L. E., Naoki, A., Kobayashi, A., & Wendland, E. C. (2023). Automated Low-Cost Soil Moisture Sensors: Trade-Off between Cost and Accuracy. *Sensors 2023, Vol. 23, Page 2451, 23(5), 2451*. <https://doi.org/10.3390/S23052451>
- Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., & Scorzoni, A. (2020). Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks. *Sensors (Switzerland)*, 20(12), 1-14. <https://doi.org/10.3390/S20123585>
- Python Software Foundation. (2023). *El tutorial de Python — documentación de Python - 3.11.3*. <https://docs.python.org/es/3/tutorial/>
- Raspberry Pi Foundation. (2023). *Raspberry Pi 3 Model B+*. www.raspberrypi.org/products/raspberry
- Raspberry Pi Foundation. (2023). *Raspberry Pi Foundation – About us*. <https://www.raspberrypi.org/about/>
- Raspberry pi foundation. (2023). *Raspberry Pi OS – Raspberry Pi*. <https://www.raspberrypi.com/software/>

Santos-Olmo, A. B. (2022). *SMARTCETA SISTEMA DE MEDICIÓN DE VALORES BÁSICOS DE UNA PLANTA UTILIZANDO IOT*.

Silva, C., & Antonio, J. (2016). *Trabajo Fin de Máster*.

Sunehra, D. (2019). Article ID: IJARET_10_02_0 06 Cite this Article: Dr. Dhiraj Sunehra, Web Based Smart Irrigation System Using Raspberry PI. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 10(2), 55-64. <http://iaeme.com/Home/journal/IJARET55editor@iaeme.com><http://iaeme.com/Home/issue/IJARET?Volume=10&Issue=2><http://iaeme.com>

ThingsBoard. (2023). *ThingsBoard - Open-source IoT Platform*. <https://thingsboard.io/>

Ubuntu. (2023). *Ubuntu MATE | For a retrospective future*. <https://ubuntu-mate.org/>

Arduino. (2023). *UNO R3 | Arduino Documentation*. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>

Anexo A. Título del anexo.

Índice de acrónimos

JSON	Es el formato de texto sencillo para intercambio de datos (https://www.json.org/ , 2023).
------	--

