



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A  
TRAVES DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA  
LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS  
NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN**

Autor: Luis de Piniés Ruiz

Director: Cristina Puente Águeda

Madrid

Junio de 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Luis de Piniés Ruiz DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVÉS DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a



la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 20 de Junio de 2019

**ACEPTA**

Fdo Luis de Piniés Ruiz

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVES DE UNA ARQUITECTURA IOT  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE  
PRECISIÓN”

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 4º GITI es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro,  
ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Luis de Piniés Ruiz

Fecha: 20/ 06/ 2019

Autorizada la entrega del proyecto

LA DIRECTORA DEL PROYECTO

Fdo.: Cristina Puente Águeda

Fecha: 20/ 06/ 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

# **APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVES DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN**

Autor: Luis de Piniés Ruiz

Director: Cristina Puente Águeda

Madrid

Junio de 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





# APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVÉS DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN.

**Autor: Piniés Ruiz, Luis de**

Directora: Puente Águeda, Cristina

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo describe una aportación a los cultivos de precisión existentes en el mercado. Con el fin de cumplir los objetivos del desarrollo sostenible para el año 2030 propuesto por la ONU, se pretende alcanzar la optimización de los sistemas agrícolas. Para ello, se ha desarrollado una arquitectura IOT, con técnicas inteligentes, Big data y análisis masivo de datos críticos para el desarrollo de la actividad agrícola. El desarrollo del sistema conocido como “Smart field” está basado en una serie de sensores que facilitan al personal que administra una explotación agrícola la información necesaria, para así, tomar las decisiones más acertadas en tiempo real. El proyecto se desarrolla en dos apartados; el primero, es el micro clima, con el que se consigue una adecuada, racional, y sostenible utilización de los recursos naturales, lo que ahorra, a su vez, en costes de producción y servicios; el segundo, consiste en la parametrización y control de valores agrícolas, a los efectos de establecer límites numéricos que alerten sobre la adopción de posibles medidas. El propio sistema, en definitiva, no es, sino, un instrumento que permite una óptima utilización del recurso más importante del planeta, el agua; controlando así, problemas, como la eutrofización. Pero, además, en un alcance de mucha más envergadura, este sistema se encuentra conectado a soluciones que en países en vías de desarrollo inciden en propuestas tales como los micro-seguros para las cosechas.

Como punto final del “Smart field” su alcance es promover un adecuado crecimiento económico y sostenible, colaborando con la labor fundamental que se nos impone hoy día a escala global en relación con los cambios climáticos; ofreciendo con ello, al sector público y privado de los distintos países, y en especial, a los países en vías de desarrollo y pobres, un elemento más de esperanza para la mejor utilización de nuestros recursos naturales

### 2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

La producción agrícola se encuentra en un proceso evolutivo, donde eficiencia, calidad, cantidad, dosificación y sostenibilidad, pasan a ser objetivo principal. La eficiencia de los recursos y la explotación óptima han llegado a sus topes con la tecnología del paisaje rural tal y como lo conocemos a día de hoy. Un cambio evolutivo es necesario y esta transición está marcada por la agricultura de precisión, donde los protagonistas son los satélites, los GPS de los tractores, los drones, los sensores distribuidos por el campo, las estaciones meteorológicas, las cámaras espectrales, los



paneles solares, las bombas de riego automáticas y todo ello juntado a una arquitectura IOT, que permite al instante la monitorización y control de las parcelas del campo.

Para este proyecto, se ha construido un pequeño prototipo que forma una pequeña parte de toda la película, pero que explica el proceso de cómo se debe hacer y que por lo tanto se puede replicar a todas las partes de la agricultura de precisión, y con ello observar qué resultados se obtiene y qué problemas pueden aparecer. Antes de empezar la descripción del proyecto, conviene describir en que está desarrollado una arquitectura IOT

- 1 Adquisición de datos
- 2 Análisis de datos
- 3 Toma de decisiones. Preventiva y de gestión
- 4 Monotorización del rendimiento.

En la siguiente ilustración se puede observar cómo funciona cada parte.

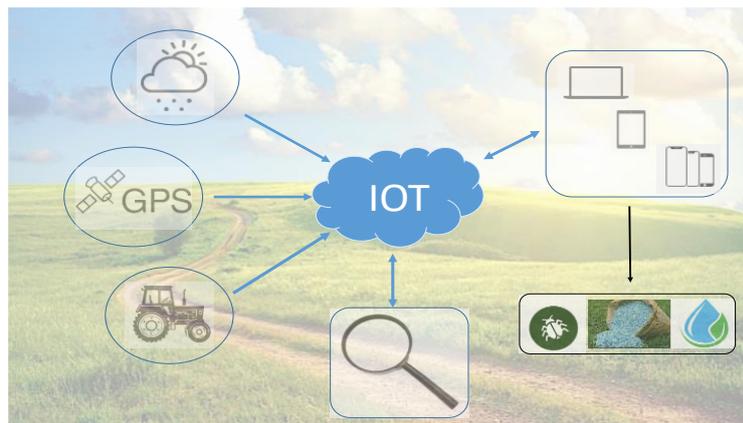


Ilustración 1: Arquitectura IOT

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está dividido en varias fases descritas a continuación:

- Primera fase: investigación de diversas fuentes (publicaciones en general), visita a empresas, contactos telefónicos nacionales e internacionales vía Skype, e incluso visitas a ferias del sector agrícola y Meteorológicas para contactos y recabar información.
- Segunda fase: se iniciará el desarrollo de los códigos para obtener las medidas de los sensores de temperatura y humedad. La calibración de los sensores se determinará en situaciones reales visitando instalaciones con futuro posible interés de aplicación.



- Tercera fase: Una vez se haya desarrollado el microcontrolador y sus respectivos diagnósticos, se procederá a crear los lazos de comunicación y para ello se configurará y se realizará las distintas pruebas en la mesa de ensayo y si las condiciones de cobertura de internet fueran suficientes, se implementaría en el campo.
- Cuarta fase: Una vez realizados estos ensayos, se procederá a enviar los datos desde un nodo principal\* (nodo principal es el que tiene acceso a internet) a una base de datos, en esta base de datos se recopilará la información y se procederá a desarrollar una respuesta para la gestión e inter-actuación.

#### 4. RESULTADOS DEL PROYECTO.

Una vez completado las fases, el esquema de comunicación estará compuesto por:

Nodo (Microcontrolador, Lora, Sensores de humedad, temperatura y humedad relativa) que recoge datos del campo y los a través de la comunicación LORA a un Gateway (Microcontrolador, Lora y wifi) que manda los datos por wifi al servidor que forma parte de la plataforma IOT, este servidor tiene unos actuadores que en función de la información recibida manda ciertas respuestas. Para aclarar lo explicado, el siguiente diagrama de flujo puede facilitar el conocimiento de cómo funciona este prototipo:

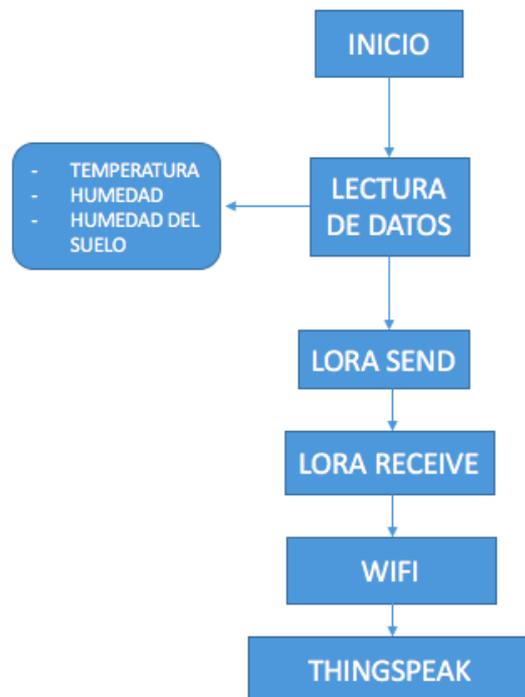


Diagrama de flujo1: Arquitectura del proyecto



Con esta estructura se reciben resultados como se pueden observar en las siguientes ilustraciones:

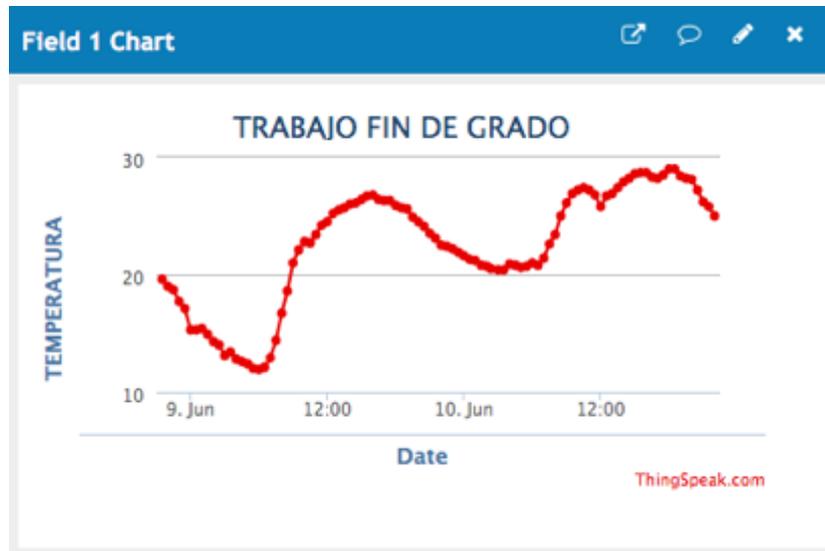


Ilustración 2: Temperatura registrada por el Nodo. [1]

Para este proyecto se ha desarrollado incluso un actuador, de tal forma, que si la humedad baja por debajo de un %, nos manda una alerta de la situación del campo.

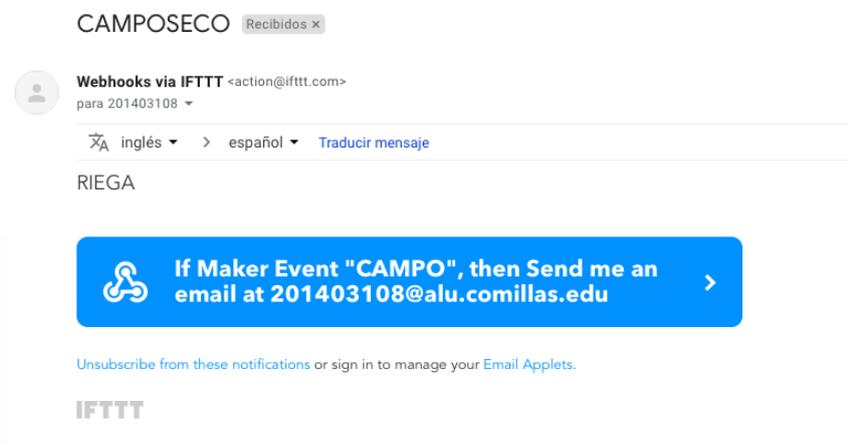


Ilustración 3: Actuador.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo recoge un punto de inflexión en el ámbito de la agricultura: se está dando una evidente evolución hacia sistemas automatizados y soportados por la tecnología. Sin duda, Lora ha sido un inicio, ha dado solución a muchos problemas que no eran soportados por la tecnología existente de comunicación. El IOT es una tecnología que nos va acompañar a lo largo de nuestras



vidas, hoy día y mañana, y va a ser aplicado en muchas industrias. En el futuro próximo, a través de la tecnología 5G, las industrias conectadas, van a estar ligadas con el IOT.

No solo recoge el porqué es tan importante evolucionar con la tecnología para la industria de la agricultura, sino que recoge cómo está compuesto un proyecto de IOT, qué fases hay que cruzar, cómo se debe preparar y qué hay que tener en cuenta. El recorrido es muy importante, ya que, al ser una cadena de sucesos, en cuanto falla una estructura, la comunicación no se logra, con el sin fin de problemas que esto acarrea.

En otro ámbito, el estudio de mercado de estas tecnologías durante varios años muestra un claro problema: su amortización. Y esto está estrechamente ligado a la rapidez con que evoluciona la tecnología y al hecho de que hay que estar preparado para el cambio y su actualización. Con esto en mente y la desconfianza de los agricultores por las nuevas tecnologías la evolución será un proceso muy lento.

## 6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

[1] Servidor Thingspeak; URL: <https://thingspeak.com>



# APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVÉS DE UNA ARQUITECTURA IOT PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN

**Autor: Piniés Ruiz, Luis de**

Directora: Puente Águeda, Cristina

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. INTRODUCTION

This report presents the state of agriculture and the progress expected in the medium term. To meet the UN 2030 objectives of sustainable development, agricultural systems must be optimized. To this end, an IOT function has been developed, with intelligent techniques, Big data and massive data analysis for the development of agricultural activity. The development of "Smart field" technology is based on sensors which inform farmers of necessary information needed to take the right decisions in real time. The project is divided into two areas; the first, called micro-climate, achieves an adequate, rational, and sustainable use of natural resources, thereby saving costs in goods and services; the second is the parameterization and control of agricultural values, which establish numerical limits that warn of the need for timely actions. The system itself is an instrument that allows a better use of the most important resource on the planet, water, and it can also control problems such as eutrophication. In addition, its use can be connected to solutions for the Third World, such as micro insurance for harvests.

The last goal of the "Smart field" is to promote adequate economic and sustainable growth, in order to cooperate with climate change solutions; thereby offering to both the public and private sectors of different countries, and especially to low income countries, one more element of hope for the best use of our natural resources.

### 2. DEFINITION OF THE PROJECT

Agricultural production is in an evolutionary process, where efficiency, quality, quantity, dosage and sustainability become the main objectives. The efficient use of resources and their optimal exploitation have reached limits with today's technology. An evolutionary change will now be needed and this transition will be marked by the use of precision agriculture, where the protagonists are satellites, the GPS of the tractors, drones, the sensors distributed in the field, weather stations, spectral



cameras, solar panels, and automatic water pumps, all within an IOT architecture, which allows for instant monitoring and control.

For this project, a small prototype has been built that forms a part of the whole project. This report explains the process of how it should be realized which would allow for replication to all parts of precision agriculture. Before beginning with the description of the project, a brief description of how an IOT architecture is developed is discussed below.

- 1 Acquisition of data
- 2 Data analysis
- 3 Decision making. Preventive and management
- 4 Performance monitorization

In the following illustration there is a sketch of how each part interconnects.

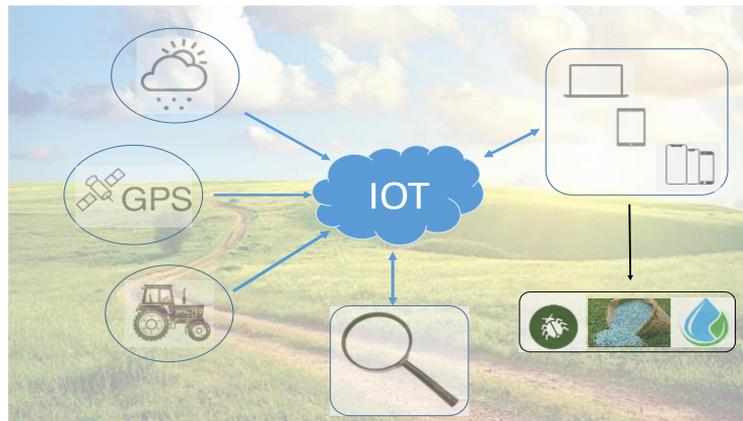


Ilustración 1: Arquitectura IOT

### 3. DESCRIPTION OF THE PROJECT

The project is divided into several phases described below:

- First phase: research is obtained from various sources including: publications in general, visits to companies, national and international telephone contacts via Skype, and even visits to agricultural and Meteorological fairs for contacts and information Gathering.



- Second phase: the development of the codes, data obtained from the measurements of temperature and humidity sensors. The calibration of the sensors will be determined in real situations by visiting facilities with possible future applications.
- Third phase: Once the microcontroller and its respective diagnostics have been developed, the communication links will be created and for this purpose the different tests will be configured and carried out in the laboratory and if the conditions of internet coverage were sufficient, it would be implemented in the field.
- Fourth phase: Once these tests have been carried out, the data will be sent from a main node (that is, one with internet access) to a database. The information will be collected in this database and processed to develop a response for management and other inter-actions.

#### 4. RESULTS OF THE PROJECT

Once the previous phases are completed, the communication scheme will be composed of:

Node (Microcontroller, LORA, humidity sensors, temperature and relative humidity) that collects data from the field and through the LORA communication sends the information to a Gateway (Microcontroller, Lora and wifi) which sends the data via wifi to the server that is part of the IOT platform. This server has some actuators that depending on the received information sends certain responses. To clarify what has been explained, the following flow diagram shows how this prototype works:

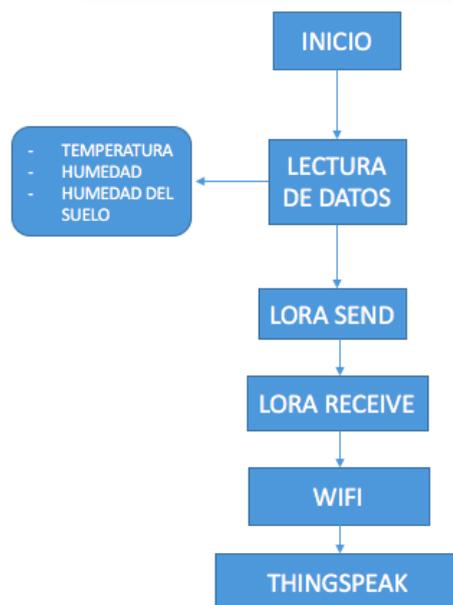


Diagram flow 1: Architecture of the Project



With this structure, results are received. Field Chart 1 shows a real application registering temperature.

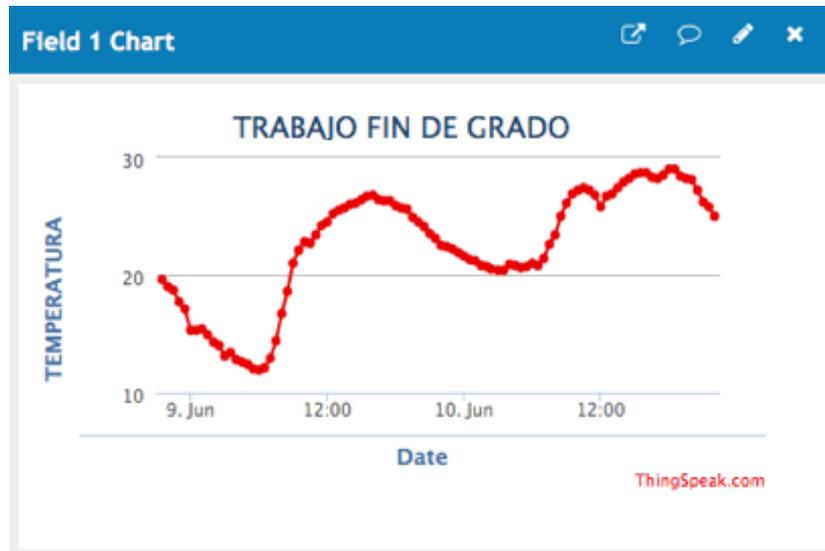


Illustration 2: Temperature from the Node. [1]

For this project an activator has been developed, in such a way that if the humidity drops below X%, it sends a status alert from the field.

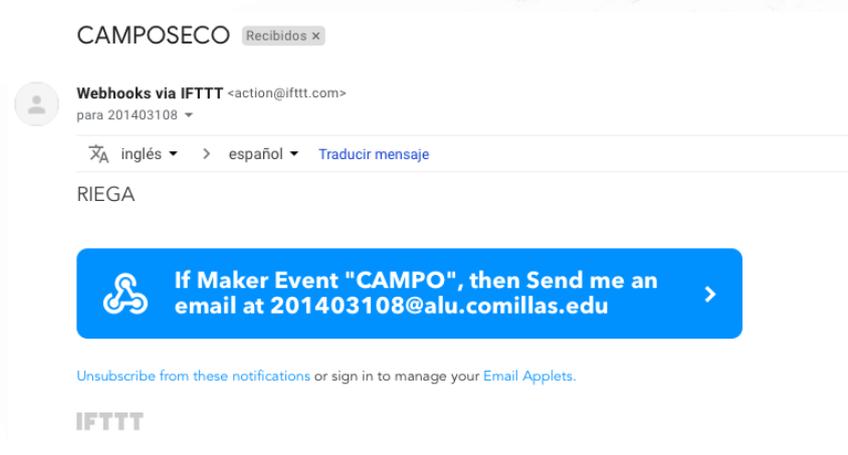


Illustration 3: Activator



## 5. CONCLUSIONS

This work reflects a turning point in the field of agriculture: there is an evident evolution towards automated systems supported by technology. Undoubtedly, LORA is just the beginning, and it has given solution to many problems that were not supported by existing communication technology. The IOT is a technology that will accompany us throughout our lives, that will be applied in many industries. In the near future, through 5G technology, the connected industries will be linked to the IOT.

This report reflects the importance of the evolving use of technology for the agriculture industry, and it also reflects how an IOT project is composed, its different phases, how to prepare it and what to consider. The sequencing of steps, that is, the process is very important, since it is a chain of events, and as soon as one link fails, communication is not achieved, with numerous problems that this entails.

In another area, the market study of these technologies for several years shows a clear problem: their amortization. This is closely linked to the rapidity with which technology evolves and to the fact that we must be prepared for change and its updating. With this in mind, and with the well known distrust of new technologies by farmer's distrust, the evolution will be a very slow process.

## 6. BIBLIOGRAPHY AND REFERENCES

[1] Server Thingspeak; URL: <https://thingspeak.com>

### AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer a Cristina Puente Águeda por cada detalle y momento dedicado para resolver las dudas y elaborar este trabajo. Esta obra es el resultado de una gran colaboración que ha tenido lugar durante los primeros meses del año 2019.

- A Cristina Puente por soportar mis ideas y por guiarme durante el trabajo.
- A la escuela de ICAI por generar un espacio de encuentro, difusión y conocimiento.
- A Jaime Boal por las recomendaciones electrónicas.
- A Pablo Frías por facilitar los contactos
- A mi familia en especial por las recomendaciones y las revisiones.
- A Victoria Llorens por su apoyo.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





## INDICE DE LA MEMORIA

<b>PARTE I: MEMORIA</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1 Introducción.....	15
1.2 Análisis del problema.....	16
1.3 Motivación .....	18
1.4 Objetivos técnicos del proyecto.....	19
1.5 Cronología .....	20
1.6 Recursos a emplear .....	22
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>23</b>
2.1 Introducción a la agricultura de precisión .....	23
2.2 Organización de un proyecto IOT con Big Data para el desarrollo sostenible.....	23
2.2.1 ¿Por qué es importante el IOT y cómo se puede beneficiar el agricultor de esta tecnología? ...	24
2.2.2 ¿Qué es la agricultura de precisión?.....	24
2.2.3 ¿Qué relación tiene el IOT con Big data?.....	24
2.3 Antecedentes .....	25
2.3.1 Adquisición de datos .....	25
2.3.2 ANALISIS DE LOS MEJORES EMPRESAS DEL SECTOR .....	26
<b>CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Definición.....	29
3.2 Sensores.....	30
3.3 Telemática.....	30
3.4 Análisis de datos IOT parametrización e información geográfica .....	32
3.5 Automatización .....	34
3.6 Estudio de datos .....	34
3.7 SENSORES DEL TRABAJO. ....	35
3.7.1 SENSOR DHT22.....	35
3.7.2 Sensor de humedad del suelo .....	37
3.8 Módulos de comunicación. ....	39
3.8.1 Estructura de la comunicación.....	39
3.8.2 MICROCONTROLADOR TTGO LORA32. ....	40
3.8.3 Funcionamiento:.....	41
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA</b> .....	<b>43</b>
4.1 DIAGRAMA DE FLUJO.....	43
4.2 DISEÑO FÍSICO. ....	44
4.2.1 NODO .....	44
4.2.2 GATEWAY .....	44
4.3 ESTRUCTURA DEL CÓDIGO. ....	45
4.3.1 Librerías y bibliotecas.....	45
4.3.1 SENSORES.....	48
4.3.2 COMUNICACIÓN DE LORA.....	49
4.3.3 CONVERSOR DE LORA A WIFI.....	52



4.3.5 WIFI .....	53
4.3.6 ACTUADOR.....	56
4.4 Protocolos de seguridad.....	58
4.4.1 OTAA .....	59
4.4.2 ABP .....	59
4.5 Carcasa.....	60
<b>CAPÍTULO 5: INNOVACIÓN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Idea.....	61
<b>CAPÍTULO 6: Conclusiones y resultados.....</b>	<b>63</b>
6.1 RESULTADOS .....	63
<b>CAPÍTULO 7 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>
7.1 CAPÍTULO 1 .....	65
7.2 CAPÍTULO 2 .....	65
7.3 CAPÍTULO 3 .....	65
7.4 CAPÍTULO 4 .....	66
7.5 CAPÍTULO 5 .....	66
7.6 CAPÍTULO 6 .....	66
<b>PARTE II .....</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 1: ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>	<b>67</b>

# PARTE I: MEMORIA

## Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción.

El contexto de esta idea se basa en aprovechar y potenciar la rentabilidad del ciclo económico de la agricultura. El sector agrario supone el 2.59% del PIB Español con un valor en exportaciones de 50.000 millones de Euros (año 2017). Es un elemento importante en la economía española, por no hablar de impacto a nivel mundial que se acerca al 3.548%. [1]

La introducción de la política agraria común por parte de la CEE con los objetivos de incrementar la productividad, garantizar un nivel de vida justo a la población agrícola, estabilizar los mercados y asegurar la garantía de abastecimiento a precios razonables, ha contribuido a una economía agrícola relativamente estable. Ahora bien, los márgenes del agricultor, a partir de su producción, están muy ajustados; incluso, en el presente, en muchos casos, son mayores los costes de producción que el rendimiento final del producto. Esta realidad, ha llevado al sector a plantearse cómo aumentar la eficiencia en su producción mejorando la eficacia de todo el proceso. En definitiva, se persigue buscar el ahorro en los costes de producción y de ahí el aumento en el margen final del producto.

La agricultura depende, por definición, de los ciclos meteorológicos, tanto estacionales como extraordinarios, para obtener la producción anual. Esto hace que la economía de la agricultura sea impredecible y oscile en función de los fenómenos meteorológicos. Aspecto que hasta la fecha es totalmente incontrolable, si bien, el sector agrícola, en países desarrollados, palía esta incertidumbre a través de la contratación de seguros que garantizan la continuación de las empresas agrícolas en años con una climatología totalmente desastrosa.

Ahora bien, una cosa es hablar de los fenómenos meteorológicos, y otro aspecto es el proceso de producción agrícola propiamente dicho. Este proceso evoluciona de forma muy lenta y depende mucho de qué sector agrícola se trata. No es lo mismo el sector del cereal de secano que el sector de la viticultura. Los márgenes económicos que deja uno frente al otro, marcan también las inversiones tecnológicas que reciben.

Tecnológicamente hablando, la maquinaria agrícola ha avanzado y mucho. Este avance ha llevado a que hoy día las explotaciones agrícolas sean muchísimo más eficientes en cuanto a personal se refiere. Los viejos agricultores aún recuerdan las malas condiciones en que tenían que realizar sus labores. El frío, el esfuerzo y la cantidad de horas y personas que tenían que intervenir para hacer lo que hoy día hace una simple máquina con todo tipo de comodidades para el trabajador.

Sin embargo, por otro lado, el proceso de producción a nivel agronomía está por evolucionar a través de las innovaciones tecnológicas que se van implantando. La idea de este TFG es primero entender las necesidades agrónomas de producción y, con ello, hacer de puente para poder aplicar las nuevas tecnologías que permitan intensificar la eficiencia agronómica en los campos donde se aplique. En definitiva, extraer el máximo de producción de una tierra a partir del cultivo sembrado.

Cuando hablamos de las industrias siempre encontramos el momento en el que fue un antes y un después. Si hablamos de la industria del coche, el riesgo de un accidente mortal era muy alto durante una primera parte de su historia. La introducción del cinturón de seguridad marcó un antes y un después. La mortalidad en los accidentes disminuyó exponencialmente. Pasaron los años y se pensó que estaba casi todo



inventado. Entonces, aparecieron los sistemas PID para detectar situaciones de peligro, llegaron grandes soluciones que salvaron más vidas como puede ser el ABS, el ACC, etc. Esto supuso otro hito, de nuevo, otro antes y otro después. Hoy día observamos que el camino hacia los coches eléctricos es una realidad y que inevitablemente estamos volviendo a evolucionar, en concreto, hacia los sistemas autónomos.

Esta idea de evolución es central para extrapolarla a la industria de la agricultura. La tecnología aplicada a la agricultura, a día de hoy, se ha limitado a facilitar la tarea del agricultor. Por supuesto que en los países desarrollados ya ni se sabe para que servía una guadaña, no así en países poco desarrollados que aún se sigue empleando. La introducción del tractor supuso una revolución, sin olvidar la climatización de las cabinas de los tractores, otro hito. La producción unipersonal aumentó de forma exponencial y hasta se contempló aumentar el volumen de terreno de cultivo porque estas mejoras lo permitían. Esta evolución se ha mantenido a lo largo de los años y el número de máquinas e innovaciones es innumerable. Llegando, incluso, a fecha de hoy, a ejemplos puntuales en los que el campo prácticamente está totalmente automatizado, a excepción de intervenciones puntuales de algún empleado en algún periodo concreto del año agrario. Es decir, la innovación maquinaria del campo es una realidad que poco a poco se ha ido generalizando. Otra cosa es que el agricultor, operario, esté capacitado para sacar el máximo rendimiento a unos equipos que representan lo más avanzado en maquinaria del momento.

Pero, si se analiza la agricultura desde el punto de vista agronómico, la situación es otra cuestión. Aquí el desconocimiento e ignorancia científica es considerable. Excepto por los cultivos que económicamente lo permiten y la competitividad lo exige, por ejemplo, los viñedos, frutales, olivos, etc., el resto de cultivos tradicionales sigue con el mismo conocimiento general ancestral. No se sabe con exactitud el estado de la población de plantas, si se necesita entrometerse en algún aspecto que pudiera mejorarlo y/o intervenir en el crecimiento para potenciarlas hasta el máximo de sus posibilidades. Desgraciadamente, existe un sin número de mediaciones que, a fecha de hoy, el agricultor soluciona basándose en su propia experiencia, a través de un técnico consultado expresamente y que emite un dictamen, o porque la mayoría de agricultores es lo que están haciendo. No existe ninguna base de datos sobre la cual tomar la decisión. En definitiva, en este sentido queda por surgir una auténtica revolución de posibilidades. Revolución que fácilmente puede tener lugar con la introducción de las nuevas tecnologías que facilitan la obtención de datos y posterior análisis de los mismos. Todo ello permitirá en un futuro llevar al máximo la eficiencia agronómica de la planta y de ahí el máximo de producción-rentabilidad y eficiencia de costes.

Volviendo a la comparación que hacíamos con la industria automovilística previamente mencionada, es como si estuviéramos evolucionando hacia los primeros sistemas con ABS.

Este proyecto plantea desarrollar unas ideas iniciales para la obtención sistemática de datos que nos permita compararlos, estudiarlos y analizarlos para intervenir en el ecosistema agrícola, prevenir situaciones de riesgo agronómicas e, incluso, interactuar con la maquinaria y sistemas para paliar situaciones observadas

La implementación del estudio-proyecto se dirige al cultivo de la viticultura y en concreto a un viñedo.

## 1.2 Análisis del problema

A grandes rasgos, podemos establecer dos extremos que apuntalan el sector agrícola en el denominado año agrícola: 1) la contratación de un seguro agrario para paliar las inclemencias del tiempo en el futuro de ese propio año agrícola, y 2) el trabajo agrícola propiamente dicho que se puede dividir en cinco partes: Preparación de las tierras, siembra, abonado, incidencias fitosanitarias, y recolección. A lo largo de estos procesos, que se suceden uno tras otro, cada uno de ellos se lleva a cabo basándose, en su mayor parte,



en la experiencia acumulada. No hay una recolección de datos objetivos, obtenidos mediante equipos muchas veces ya disponibles para la agricultura donde la falta de preparación de muchos agricultores no permite sacarles el máximo rendimiento. Por lo tanto, cada fase se viene haciendo por costumbre-experiencia, por imitación o por recomendación.

Sí es cierto que los avances tecnológicos progresivamente se van incorporando al sector agrícola, marcan grandes diferencias. En este caso, la incorporación de cada innovación discurre a través de un largo proceso de asimilación y aceptación por parte de la comunidad local agrícola. No obstante, dentro del sector existen individuos, empresas que adelantándose a su propio entorno deciden apostar por aprender e incorporar en su día a día las nuevas tecnologías.

Esto es lo que se ha venido a llamar la Agricultura de Precisión. [2]

Esta tecnología explora el problema y lo divide en secciones:

- 1.- Adquisición de datos.
- 2.- Análisis de datos.
- 3.- Toma de decisiones. Preventiva y de gestión.
- 4.- Monitorización del rendimiento.

Esta propuesta/solución inicia la recopilación de datos, la acumulación de esta información y entonces el análisis de ésta a través de distintas formas:

- La más compleja: el día a día. Cómo interactuar según los parámetros derivados a partir de las señales recibidas por los sensores. Así se pueden comprender los gradientes, actuar por zonas y limitar los consumos a las áreas que requieran intervención. [3]
- Por otro lado, este data se puede acumular año tras año, elaborar una estadística y formular un estudio del rendimiento de las parcelas y dar significado a los resultados obtenidos. (este objeto de estudio puede suponer una gran referencia para en el futuro poder incorporar nuevos cultivos gracias a la actividad y a la recolecta de datos a través de sensores y a la aplicación de técnicas de Big Data).

La obtención de data y posterior análisis es uno de los temas que más atrae dentro del mundo de la agricultura de precisión. A día de hoy, muchas empresas intentan interactuar con el campo, midiendo de forma espontánea ciertos parámetros. Quizás el que más se ha divulgado son los mapas de rendimiento obtenidos a través de la siega. Sin embargo, el problema de estas medidas puntuales, es que solo se recolecta información precisa en un momento dado, y desafortunadamente no se obtienen las gráficas de rendimiento de cómo se han comportado los distintos parámetros de la planta a lo largo del año.

Quizás sea la definición de los parámetros lo que nos permita diseñar la información que vamos a obtener y la derivación en actuaciones que le podemos dar:

1. Por un lado, encontramos los microclimas que equivaldrían a pequeñas estaciones meteorológicas: temperatura, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, pluviómetro, piranómetro, Quantum par, iluminación) Estas pequeñas estaciones meteorológicas pueden estar distribuidas cada 10 hts. A lo que podríamos sumar el que éstas actuaran como nodo de comunicación para recibir todas las constantes emitidas por otra serie de sensores distribuidos, a la vez, por el mismo campo de 10 hts. [4]  
Por ejemplo: una ventaja inmediata sería determinar un microclima e identificar las horas de rocío y con ello evitar regar durante esas horas.



2. Seguidamente podemos encontrar los sensores de la tierra: humedad del terreno, salinidad, Ph, temperatura de la tierra, los valores nutritivos de la tierra (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) NPK, la posible aireación del (O<sub>2</sub>) y respiración (CO<sub>2</sub>).

Estos sensores determinan el rendimiento de la planta. Son datos en tiempo real y muy abundantes, lo que puede indicar si el rendimiento de la planta es óptimo dentro de los parámetros buscados.

En el caso del abonado, es aún más evidente y efectivo. El proceso de abonado es uno de los costes más elevados en cualquier producción agrícola. Es el alimento para que la planta llegue al máximo de sus posibilidades. Sin embargo, aquí es dónde con mayor claridad se puede observar la deficiencia aplicada a la producción agrícola. El abonado se realiza según la experiencia en esa tierra concreta, por recomendación o porque todo un grupo de agricultores lo hace así. Las formulaciones de PNK son las mismas para la zona en general. Y el coste de k/Ht de abono es muy alto.

Si se reflexiona sobre esta práctica se observa que no tiene ningún sustento analítico basado en datos. Por ello la idea, es recopilar datos a través de sensores y determinar los parámetros de abonado indicado para que la semilla brotada tenga los recursos suficientes para llegar al máximo de desarrollo. Y si en un momento dado la planta no tiene suficientes nutrientes, sean los propios sensores los que vayan indicando, con antelación, la deficiencia registrada. La intervención del agricultor puede ser a la "carta". La reducción de costes es evidente, además de evitar posibles eutrofizaciones de los pantanos y lagos dado que la planta no ha consumido lo necesario y ha pasado al resto del ecosistema.

3. Ciertos agricultores, tal y como hemos mencionado, se han aventurado de forma individual en la agricultura de precisión. Algunos han instalado estaciones de microclimas pero no están haciendo una extrapolación del problema. Solo se centran en este recurso y no visualizan todo el contexto. Los datos obtenidos no alcanza a ver la gran imagen, se queda en un recurso local. La posibilidad de procesar toda la información con IOT, deriva en que se puede mapear toda la información de las tierras por zonas e incluso compararlo y referenciarlo con el rendimiento de las tierras. Con esta información se pueden comparar e identificar las zonas con mayor rendimiento y menor rendimiento. Determinar si existe algún problema, cuándo ha podido tener lugar la incidencia que ha reducido el potencial de producción y por qué. Es un camino largo, muy analítico y con una visión a escala del total del terreno bajo estudio.

### 1.3 Motivación

El motivo principal de realizar este proyecto, es brindar soluciones a los problemas que existen para los pequeños y grandes agricultores.

Como se ha mencionado antes, los problemas se pueden dividir en dos fases:

1. La primera puede tener un impacto más global que permite identificar qué zonas están seriamente afectadas y cómo se puede intervenir en esta situación y si se puede corregir.
2. Por otro lado, como herramienta muy potente, esta tecnología puede servir para el día a día. Mediante el control de las constantes del campo y el mapeo de estas variables en una plataforma, se puede determinar con qué precisión y qué áreas necesitan riego, qué hora es



la más adecuada para regar o cómo afecta el gradiente térmico a las plantas. Más aun, con el control de los parámetros de los nutrientes de la planta en concreto el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio el ahorro que se puede llegar a conseguir al abonar puede dar lugar a un antes y un después tanto por el rendimiento económico como por el rendimiento de la planta.

Hay sectores agrícolas más ágiles que otros, tal es el caso del sector de viticultura. Su gran expansión durante los últimos 30 años ha permitido una bonanza económica no conocida hasta la fecha, lo que, a su vez, ha permitido la inversión en nuevas e innovadoras tecnologías que le hacen totalmente independiente al resto de otros sectores de la agricultura.

Debido a la agilidad de este sector de viticultura, mi propósito es tratar de rentabilizar, aún más, la producción, reduciendo los costes y determinando con precisión la situación de la planta y el terreno en cada una de las fases agrónomas importantes.

La industria a día de hoy está explorando nuevos métodos para poder gestionar la información con la nueva tecnología, y se hace llamar “agricultura de precisión”.

Esta tecnología explora el problema y lo divide en secciones:

- 1.- Adquisición de datos.
- 2.- Análisis de datos.
- 3.- Toma de decisiones. Preventiva y de Gestión.
- 4.- Monitorización del Rendimiento.

## 1.4 Objetivos técnicos del proyecto

Como comienzo, el objetivo del proyecto es desarrollar un sistema que permita monitorizar y controlar los viñedos. Este objetivo considero que tiene mucha proyección ya que en España el sector vitícola está muy extendido y muy consolidado. Los vinos españoles tienen fama entre los mejores del mundo y esto lleva a los viticultores a ser muy exigentes en el control de las condiciones de cada producción anual con el fin de obtener y repetir las condiciones de uva óptimas.

Con esta finalidad, el proyecto pretende iniciar la obtención de datos a partir de una serie de constantes, en tiempo y número, de temperatura ambiental y humedad del terreno para, con ello, monitorizar el riego en función de estas variables. Igualmente, el proyecto contempla la obtención de los valores nutritivos del terreno a través de sensores, método que a día de hoy es objeto de numerosos estudios y, sin embargo, sigue sin estar suficientemente desarrollado. El análisis de los datos obtenidos consideramos contribuirá en gran medida al objetivo de obtener las mejores condiciones para obtener la uva óptima.

Fases del Proyecto:

Primer Fase:

- 1.- Desarrollar la configuración de los sensores de temperatura, humedad y humedad del terreno, ponerlos a prueba en situaciones reales, testear los resultados y hacer la calibración precisa de cada sensor adaptado a cada situación de contorno



- 1.a Analizar e investigar la creación del sensor para medir los nutrientes NPK.
- 2.- Crear un lazo de comunicación para mandar la información de estos sensores a un Gateway que envíe los datos a una plataforma internet.
- 3.- Analizar los datos y desarrollar un sistema autónomo que en función de unas constantes riegue el cultivo.
- 4.- Generar un activador de tal forma que riegue el cultivo cuando el usuario lo desee.

## 1.5 Cronología

- Primera fase: investigación de diversas fuentes (publicaciones en general), visita a empresas, contactos telefónicos nacionales e internacionales vía Skype, e incluso visitas a ferias del sector agrícola y Meteorológicas para contactos y recabar información.
- Segunda fase: se iniciará el desarrollo de los códigos para obtener las medidas de los sensores de temperatura y humedad. La calibración de los sensores se determinará en situaciones reales visitando instalaciones con futuro posible interés de aplicación.
- Tercera fase: Una vez se haya desarrollado el microcontrolador y sus respectivos diagnósticos, se procederá a crear los lazos de comunicación y para ello se configurará y se realizará las distintas pruebas en la mesa de ensayo y si las condiciones de cobertura de internet fueran suficientes, se implementaría en el campo.
- Cuarta fase: Una vez realizados estos ensayos, se procederá a enviar los datos desde un nodo principal\* (nodo principal es el que tiene acceso a internet) a una base de datos, en esta base de datos se recopilará la información y se procederá a desarrollar una respuesta para la gestión e interacción.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra una extensión de las fases cronológicamente.



APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIG DATA A TRAVÉS DE UNA ARQUITECTURA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN CULTIVOS DE PRECISIÓN																																										
CUATRIMESTRE 2º - CURSO 18/19																																										
Prioridad	Responsables	Actividad a realizar	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO																			
			S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S9	S9	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26				
	LDPR,ICAI,IN,IPF,JB	Reunión con el Director del Proyecto																																								
1º	LDPR,ICAI,JB	INVESTIGACIÓN bases de datos, informes, revistas, libros, visitas a empresas, llamadas por Skype y visitas a ferias.																																								
2º	LDPR,ICAI,JB,UC	DESARROLLO estructura del código, liberación de plataformas de estructuras de innovación (PK)																																								
3º	LDPR,ICAI,JB	Comunicación																																								
4º	LDPR,ICAI	CONEXIÓN ORA-WIFI																																								
		Ensayos																																								
		bases de datos																																								
		Participación económica																																								
		Desarrollo de memoria																																								
		PRESENTACIÓN																																								

TABLA 1: ORGANIZACIÓN CRONOLÓGICA



## 1.6 Recursos a emplear

- Laboratorio de Electrónica digital.
- Laboratorio de Química.
- Servidor Thingspeak para desarrollar la plataforma de interacción.
- Con ayuda de un dron de largo alcance, determinar el alcance de la comunicación por radio.
- Terrenos rústicos dónde implementar la idea



## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Este capítulo expone el desarrollo de los cultivos de precisión. En primer lugar, se muestra cómo se distribuye la organización de un proyecto IOT con Big data para el desarrollo sostenible; en segundo lugar, se centra la idea para la agricultura de precisión, haciendo una breve exposición y analizando a las empresas que han ofrecido este servicio a lo largo del tiempo; y se identifica el porqué de muchas empresas que pese a tener grandes ideas limitan su servicio debido a los problemas que han encontrado.

### 2.1 Introducción a la agricultura de precisión

La agricultura de precisión bien podría decirse que nace como respuesta a las necesidades de los agricultores y, por extensión, de los viticultores. Sin embargo, viene ligado a la irrupción de las nuevas tecnologías.

Siglo tras siglo, los cultivos y sus ciclos se han venido repitiendo una y otra vez; de forma metódica, sin variación alguna. La consecuencia de formalizar el mismo ciclo para obtener la misma proporción y la misma cantidad de cultivos era algo muy metódico. Es muy probable, que un agricultor en el SXVII se preguntara - ¿Por qué yo hago esto así?, la respuesta venía de la experiencia acumulada generación tras generación.

Sin embargo, los cambios llegan y se introducen de forma sorprendente. Las causas son variadas y entre una infinidad, se pueden citar tales como, la economía, la innovación, la tecnología, la climatología y la política. Pero, también es cierto, que ha habido innovaciones resultado de una simple casualidad que, de forma sorprendente, supone un hito en la historia de lo que se venía haciendo. Un simple salto en el método heredado de generaciones, puede dar, como resultado, la mejor cosecha que se puede recordar. El proceder repetido se ve alterado y, obviamente, comienza un replanteo del método heredado.

Dicho lo anterior, no se pretende saltar sin más los ciclos establecidos, si no que a través de una correcta información es posible que ciertos pasos del método histórico se realicen casi “a la carta” con dosis o concentraciones específicas.

Con esta breve explicación, este trabajo pretende dar respuestas a las preguntas que retóricamente se viene haciendo los agricultores desde tiempo inmemorial. Si bien los campos a través de los tiempos han dado unos máximos y mínimos de cosechas, lo cual también establece la media obtenida, a través de la obtención sistemática de datos se pretende elevar la media de rendimiento por campo y mantenerla a lo largo de los años, sin las fluctuaciones que hoy por hoy existen.

### 2.2 Organización de un proyecto IOT con Big Data para el desarrollo sostenible.

En este apartado, se recogen, las ideas de proyectos similares que han incorporado tecnología relacionado con esta materia. Para enfocar las ideas, se expone la organización en tres ámbitos el IOT, agricultura de precisión y Big data.



### 2.2.1 ¿Por qué es importante el IOT y cómo se puede beneficiar el agricultor de esta tecnología?

Partiendo de la base del proyecto, se describe a continuación lo que ha permitido el IOT, las ventajas que trae consigo al aplicarlo al sector agrícola y las conexiones que ello puede llevar. Se recoge en el resumen escrito por Olakunle Elijah, et al. [5].

*“The surge in global population is compelling a shift toward smart agriculture practices. This coupled with the diminishing natural resources, limited availability of arable land, increase in unpredictable weather conditions makes food security a major concern for most countries. As a result, the use of Internet of Things (IoT) and data analytics (DA) are employed to enhance the operational efficiency and productivity in the agriculture sector. There is a paradigm shift from use of wireless sensor network (WSN) as a major driver of smart agriculture to the use of IoT and DA. The IoT integrates several existing technologies, such as WSN, radio frequency identification, cloud computing, middleware systems, and end-user applications. In this paper, several benefits and challenges of IoT have been identified. We present the IoT ecosystem and how the combination of IoT and DA is enabling smart agriculture. Furthermore, we provide future trends and opportunities which are categorized into technological innovations, application scenarios, business, and marketability.”*

### 2.2.2 ¿Qué es la agricultura de precisión?

Favio Leyva en su obra [6] recoge una respuesta muy positiva sobre que es la agricultura de precisión:

*“La agricultura de precisión (AP) parte de un concepto novedoso que busca optimizar el manejo de la producción agrícola teniendo en cuenta la variabilidad del agro-ecosistema. De esta manera se establecen estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno. Tal y como se le conoce en Europa y USA, su desarrollo se basa en tecnologías electrónicas, de telecomunicación y de informática y en equipo agrícola especialmente adaptado para la aplicación diferenciada de insumos según las necesidades del cultivo o del suelo. En países tropicales, dada la heterogeneidad de sus agro-ecosistemas, el concepto de manejo de la variabilidad adquiere plena vigencia, pero se requieren adaptaciones tecnológicas de apropiadas al medio.”*

### 2.2.3 ¿Qué relación tiene el IOT con Big data?

El siguiente texto escrito por Mauricio Castro Franco [7] recoge el problema al que se enfrenta la agricultura, la solución que se aporta, y porque la incorporación de Big Data es tan importante.

*“En la agricultura siempre se ha pensado que generar datos puede mejorar la toma de decisiones. Debido a esto, de manera constante se está buscando innovar en nuevas fuentes de información (software, hardware, maquinaria agrícola, prácticas de manejo de cultivo, análisis de suelos, imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, cartografía digital de suelos, estaciones meteorológicas, análisis económicos y financieros, bolsas de comercio, entre otras). Sin embargo, actualmente existe una disponibilidad de datos masivos sin precedentes que están generando incertidumbre y dudas sobre su verdadero valor entre los productores agropecuarios. Lo que preocupa, no solo es que la agricultura esté sumergida en “océanos” de datos, sino que estos están creciendo cada vez más rápido. Es tal la cantidad de datos que existe, que los*



*métodos tradicionales de almacenamiento, procesamiento y análisis parecen ineficientes e insuficientes para aprovecharlos [...] Aunque no existe una definición rigurosa de Agro Big Data, si es posible describir en qué consiste. El término “Big Data” se empezó a acuñar a las novedosas y eficientes metodologías de almacenamiento, procesamiento y análisis aplicadas a datos masivos generados a partir de desarrollos tecnológicos dados en la astronomía y la genética en la década del 2000. A partir de ahí, este concepto se trasladó a otras áreas de conocimiento, entre ellas la agricultura”*

## 2.3 Antecedentes

Cuando se analiza los antecedentes de la agricultura de precisión, se observa que muchas empresas comenzaron con algo innovador: bombear agua remotamente. La posibilidad de enviar un SMS y encender la bomba de agua resultaba impensable. Sin embargo, la realidad, demandaba el encendido y apagado de esa bomba de agua solo cuando lo requería el cliente o el cultivo, ahorrando tiempo y dinero al productor. Poco tiempo después, se ve iniciar una evolución aprovechando las nuevas tecnologías.

Lo primero que el cliente demandaba era la información detallada de cuando regar, no hay nada peor que poner las bombas a regar y observar que unas horas más tarde llueve. Las empresas de servicios de sector respondieron a esta demanda ofreciendo una estación meteorológica. El clima varía mucho y la información climatológica a la que puede acceder gratuitamente cualquier agricultor está relacionada con servicios dependientes de estaciones meteorológicas próximas a parques eólicos, solares, aeropuertos y no de forma particular a su parcela. Si bien, inicialmente, estas empresas limitaban su oferta a información climatológica genérica; pero, no ofrecían un estudio detallado de qué estaba pasando o cómo el cliente podía mejorar el rendimiento.

Seguidamente, la idea de mejorar el rendimiento reveló el gran mercado que se abría: el agua no era el único problema del agricultor; también estaba el abono, el cultivo, el diésel; es decir, infinidad de cosas.

En paralelo, surgieron las denominadas consultorías de agricultura que ofrecían el servicio de explicar los datos obtenidos, a través de diversos medios como eran sensores varios, estaciones meteorológicas y mapas de rendimiento. Contrastando la información, y ofreciendo soluciones al cliente, así como respondiendo a preguntas de calidad, de eficiencia, y alertando de qué otros sensores se podía beneficiar el agricultor.

La finalidad de la inclusión de sistemas como el IOT y lo que el día de mañana será 5G permitirá sacar los perfiles de rendimiento al campo y dar nuevas oportunidades a lo que viene siendo hoy la economía del campo.

### 2.3.1 Adquisición de datos

Es la sección más crítica y lo que determina los costes principales de la empresa.

Los sensores no son nuevos en el mercado, sin embargo, el coste inicialmente, era muy elevado. Este motivo, en parte, hacía muy ineficiente un proyecto de este tipo, ya que la amortización de los sensores era a muy largo plazo. A esto, había que añadir la autonomía de las baterías, el sistema de alimentación de tipo panel solar, y el sistema de comunicación, módulos que equivalen al 90% del coste del producto. Con el tiempo, los precios bajaron considerablemente, haciendo posible, hoy día, su implementación.



Las soluciones de módulos con batería no han tenido buen resultado; por ello, el mercado ha proporcionado un producto incorporado al tractor, de tal forma, que cuando realiza cualquier labor en el campo a la vez toma datos; esta solución aparentemente eficiente, no resulta totalmente eficaz, pues solo toma datos en el recorrido de la maquinaria, impidiendo hacer un histograma con la evolución de nutrientes, humedades, etc. En definitiva, mapas topográficos que recogen la estadística de los datos fundamentales, de cara al estudio para optimizar el cultivo.

### 2.3.2 ANALISIS DE LOS MEJORES EMPRESAS DEL SECTOR

En la siguiente tabla, se recoge información de las empresas más significativas a lo largo de los años. A día de hoy, hay un gran número de empresas que se dedican a la agricultura de precisión. Sin embargo, el estudio de estas empresas desvela que no ofrecen las soluciones prácticas. En concreto se detallará el análisis de la empresa TERALYPIC por ser la que más se acerca al ideal de los datos parametrizados en el tiempo.

Organización	País	website	Descripción	Sensores	Precio (\$)	Problemas	Año de la información
STEVENS	USA	<a href="http://www.stevenswaer.com">www.stevenswaer.com</a>	Probeta manual que se inserta en la tierra, y envía los datos por WIFI a la aplicación del móvil.	HS,TS,CE,S,Ph,	2800	Manual,móvil para subir a nube, pocos sensores	2014
IMETOS	Austria	<a href="http://www.metos.at">www.metos.at</a>	Estación metereológica, con probeta que recoge datos del suelo, envío datos por radio	H,T,P,VV,D V,Plu,HS,TS,CE,S,Ph,LS,NPK	1000 estación + 3000(todos sensores) + 100 \$/año	Ineficaz sin la estación metereológica, vifa util sensor NPK (12 horas)	2016
LOGIAG-LASERAG	CANADA	<a href="http://www.logiag.com">www.logiag.com</a>	Solución infinitamente precisa para obtenet NPK, estudio en laboratorio	NPK	15 \$/muestra	Tiempo de respuesta al enviar las muestras físicas al laboratorio	2016
TERALYtic	USA	<a href="http://www.teralytic.com">www.teralytic.com</a>	Pequeña probeta estacionaria, que recoge información y la envía a la nube	H,T,P,VV,D V,Plu,HS,TS,CE,S,Ph,LS,NPK	1000 \$ Lora gateway + 400 \$ + 500 \$unidad /año	ALQUILER DE LA PROBETA, Precisión del sensor NPK	2018

Tabla2: Descripción de la competencia.

Las empresas ven fácilmente su entrada al mercado haciendo atractivo los precios de los sensores y de los módulos, es decir, ofreciendo información. Pero pocas empresas, han dado con la clave del dato que la mayoría de los agricultores identifican como clave tanto por su coste, como por su necesidad: el abono. Abonar un cultivo resulta extremadamente caro, sobre todo porque se aporta el producto a la tierra de forma genérica, sin tener el conocimiento detallado de qué nutrientes faltan y qué nutrientes son necesarios. El conocimiento de los ingredientes ya existentes en el terreno es nulo. Es por este motivo, que las empresas que proporcionan soluciones con valores de NPK son las más atractivas desde el punto de vista del productor. La diferencia en coste y producción, puede ser extraordinario para el agricultor. Las demás empresas del mercado, son meras copias unas de otras proporcionando precios competitivos.

Si se recoge la información detallada de TERALYTIC, se puede observar que ofrecen pequeñas estaciones meteorológicas y mandan la información a un nodo principal que está conectado a una



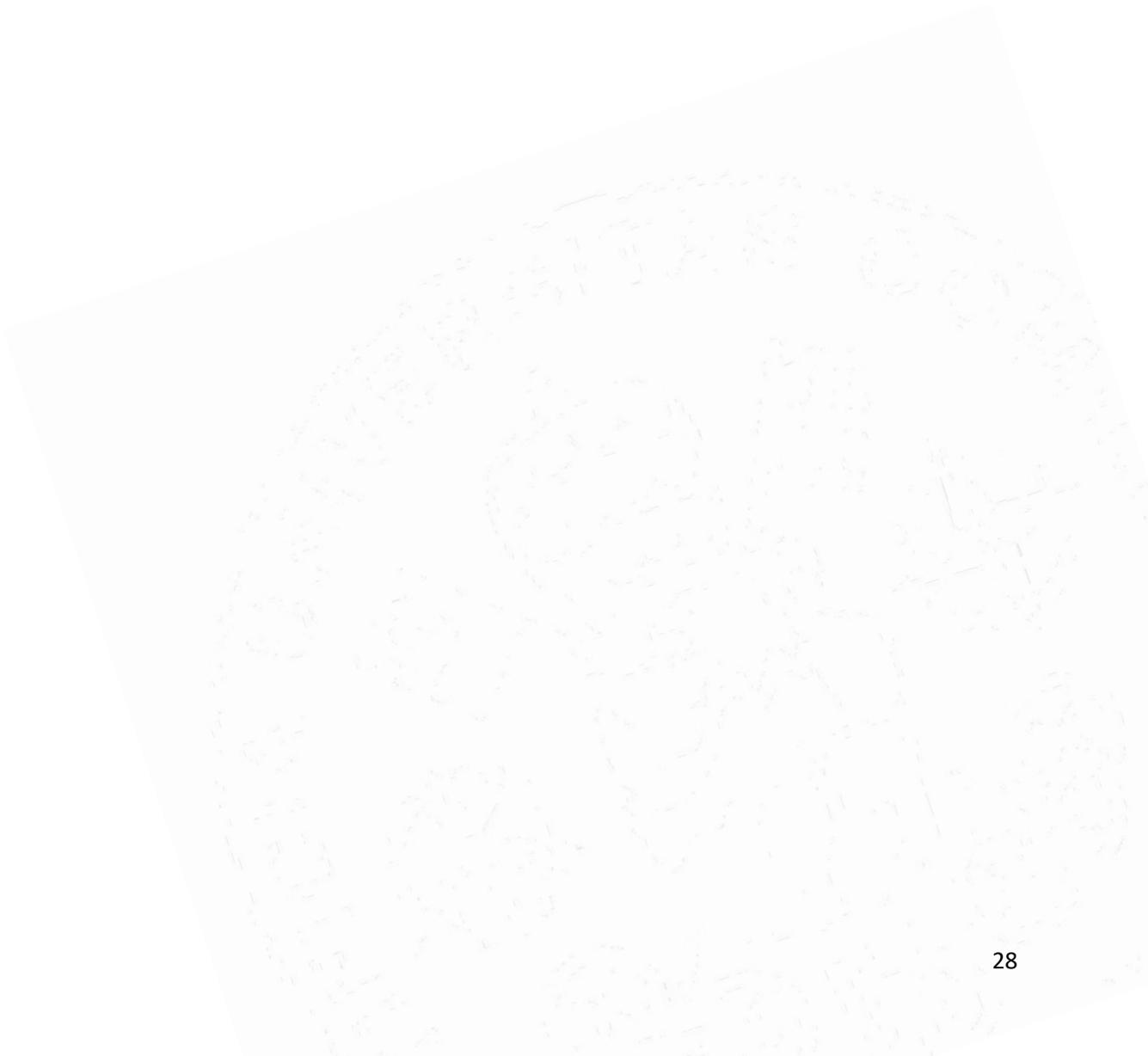
plataforma IOT; a través de un servicio extra puede ser supervisado por un experto proporcionando un informe técnico acerca de las medidas a tomar para mejorar la producción.

En principio este servicio se acerca al ideal. Sin embargo, a grandes rasgos, puede verse un error en la toma básica de datos; esto es, los nutrientes existentes en la tierra representan un porcentaje, y el equipo que toma las mediciones puede diferir en ese porcentaje, debido a parámetros tales como, la compactación del sustrato, la humedad presente, y la porosidad. Todo ello, puede inducir a error en los datos obtenidos, si no se controlan en particular. Por otro lado, al analizar el procedimiento de toma de datos de Logiag revela un riguroso método en el cual todos estos parámetros son tenidos en cuenta y por lo tanto los datos reflejan más certeramente el estado real del terreno.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





## CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DE LA ARQUITECTURA

### 3.1 Definición de la arquitectura

Para realizar un estudio analítico detallado del campo, de la tierra y su entorno, se necesitarían los siguientes sensores:

Determinación del Microclima:

- Barómetro: Presión del ambiente
- Humedad del ambiente
- Temperatura del ambiente
- Perliómetro: Intensidad e irradiación del sol.
- Luminosidad: Intensidad de Lumens y espectro de frecuencia.
- Velocidad y dirección del viento
- Pluviómetro: Litros de agua que ha llovido.

Sensores de determinación del terreno:

- Humedad: Humedad relativa del suelo.
- Salinidad
- Ph
- Temperatura
- Nitrógeno
- Potasio
- Fósforo
- Respiración
- Aireación
- Conductividad
- Tensiómetro de irrómetro: Presión del agua en el interior de la tierra.

La importancia de cada sensor está determinado por el factor de importancia; algunos sensores no precisan de un histograma diario, pero sí que resultan de gran interés en ciertas épocas del año o del ciclo agrícola. Calidad y rendimiento pueden estar ligados, pero, para obtener una calidad determinada, a veces, es necesario suprimir el concepto de rendimiento.

Con esto como base, el microclima puede valorar lo sucedido en la naturaleza y, a partir de estas estimaciones, se pueden tomar ciertas decisiones que supongan un ahorro de gastos, por ejemplo, recortar el riego. Otro detalle es el estudio estacional: si se observa que siempre llueve a inicios de primavera, mediante un algoritmo, se puede determinar el momento oportuno en la línea del tiempo para establecer cuándo sembrar y así ahorrar en el gasto de agua.

En relación a la calidad, a veces, ésta va ligada a lo que el consumidor desea; por ejemplo, un vinagre poco ácido, va asociado a una uva muy madura, lo que requiere un mayor consumo de agua para llegar a esa maduración. En este contexto, se puede estimar en qué momento la uva necesitará más agua y, con ello, cuadrar los ciclos de maduración para que la madre naturaleza proporcione la mayor parte del agua.



Si profundizamos en el estudio de los sensores del terreno, sirven para dar explicaciones del porqué de los resultados y tener una percepción más aproximada a la realidad de qué está pasando en el terreno. Si las raíces tienen suficientes nutrientes, una humedad correcta para la capilarización, etc. Igualmente, se obtienen parámetros para determinar si el terreno es el más oportuno para el cultivo en cuestión u otro cultivo. Parámetros que, hasta la fecha de la inclusión de los sensores, se desconocían y por ello se venía repitiendo un tipo de cultivos, generación tras generación. Sin haber contemplado ningún cambio básico desde tiempo inmemorial.

### 3.2 Sensores

Sensor: “Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión.”[8]

Como bien dice su definición, es aquello que detecta a través de un medio, una condición externa a éste. Es el dispositivo más importante para obtener información sistemática; son nuestros oídos y nuestros ojos y no queremos que fallen. Por ello, la decisión de qué se debe colocar, empieza en el campo.

En primer lugar, se establecerán los parámetros que se quieren medir. Una vez determinado éstos, se elige el sensor a través de los catálogos de los distribuidores [9], y seleccionando aquellos que cumplen con las condiciones del entorno de trabajo. Un ejemplo se puede observar en la siguiente *figura 1*, en la que se ha tomado una foto de un catálogo de sensores de presión, donde se muestra que el rango térmico de operación está comprendido entre -25 a 85 °C.

Pressure Sensor Ratings		Environmental Specifications	
Supply Voltage Vs, max	16 Vdc	Temperature Ranges	
Common-mode pressure	-10 to +10 psig	Compensated	0 to 50(70)° C
Lead Temperature, max (soldering 2-4 sec.)	270°C	Operating	-25 to 85° C
		Storage	-40 to 125° C
		Humidity Limits	0 to 95% RH

FIGURA 1: DATOS TÉCNICOS DE UN SENSOR DE PRESIÓN [10]

Para entender el funcionamiento de cómo miden estos dispositivos, los sensores se pueden traducir a resistencias eléctricas por las que circula una corriente, que en función de lo que le rodea (el ambiente exterior) devuelve una diferencia de potencial; esta diferencia de potencial (valor) se compara con una librería que contiene valores, el valor más próximo dentro de esta librería devuelve un valor que tiene sentido para nosotros.

### 3.3 Telemática

La telemática es la segunda parte más importante y esencial de este tipo de proyectos.

Para analizar este apartado, primero vamos a definir una red punto a punto y seguidamente una multired; por último, distinguiremos distintos tipos de comunicación y por qué muchos de ellos se han eliminado.



Una red punto a punto, es aquel enlace de comunicación en la que existe dos nodos. Para simplificar las cosas diremos que uno de ellos es emisor y otro receptor. El emisor, como bien dice su nombre, envía señales de los sensores; y cada cierta frecuencia, manda a través de un módulo de comunicación una señal. Esta señal es recogida por el otro módulo de comunicación que se encuentra a una distancia del emisor, el receptor.

Para entender más esta filosofía vamos hablar de las partes primordiales de lo que es un módulo de comunicación, nos ayudaremos de una imagen: Figura 2.

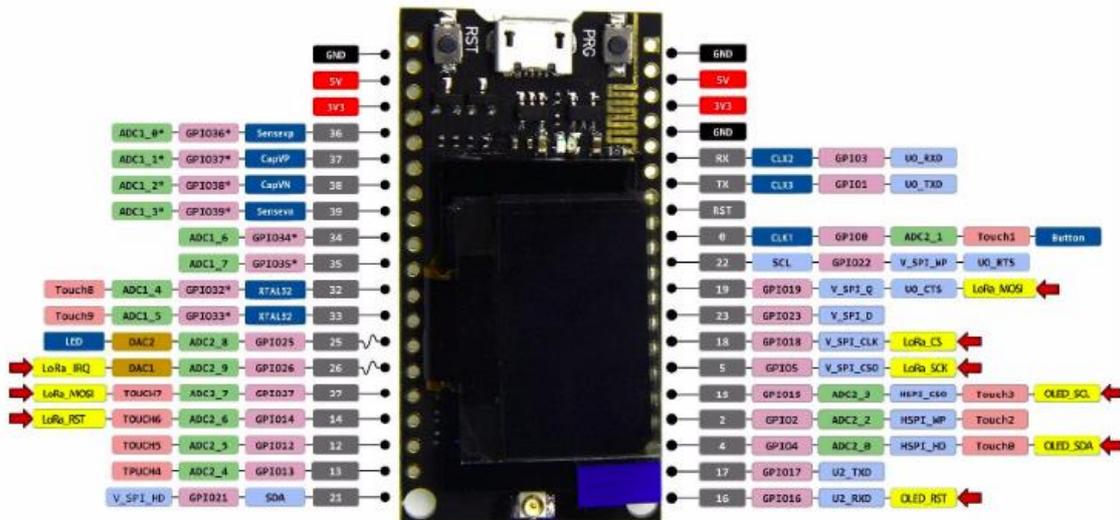


Figura 2: Módulo de comunicación, PIN RX y TX.[11]

En la Figura 2 se aprecian distintos puntos de conexión. Entre ellos, la conexión de alimentación y el RX, TX que aluden a transmisor y receptor de señales.

Para comprender la red mallada o multired, y aprovechando el contexto de este proyecto, se pone el ejemplo de las raíces de un árbol: encontramos el tronco (raíz principal) que se divide en, raíces secundarias (laterales y verticales), y éstas, a su vez, se dividen en radículas que también dividen en pequeños filamentos por lo que absorbe por capilaridad los nutrientes.

Partiendo del tronco, que sería el IOT (servidor WEB), nos encontramos con los gateways (raíces), que recogen la información de los distintos nodos ubicados (raíces secundarias); éstos, a su vez, pueden almacenar información, actuando como una pequeña puerta de enlace que recoge la información de los módulos más lejanos y, cada cierto tiempo, envían los valores a la raíz principal. Para terminar el símil, diremos que los filamentos son los sensores y que las radículas es cada pequeño módulo de comunicación. Esta estructura física, también se puede organizar de forma distinta como por ejemplo: en malla, en círculo, en estrella, etc.

Los módulos de comunicación son muy variados; para que se pueda entender mejor: cada módulo, funciona en una frecuencia “abierto”<sup>4</sup> y esta frecuencia transmite los datos.

Esta sección no se va a centrar en todas las formas de comunicación de datos, ya que son muy extendidas, más bien se centra en las más utilizadas. Si algo tienen en común estas comunicaciones es que funcionan inalámbricamente.

- Wifi: Se basa en un Router, que permite la conexión entre los dispositivos vía wifi. Un router conectado a Internet, no solo permitirá la comunicación de un módulo con otro, sino que también



la habilidad de subir datos al servidor. Está muy extendida esta comunicación. Los mayores problemas con que se encuentra esta vía es que consume mucha energía y el alcance que tiene está relativamente comprometido. En su favor se puede decir que es muy simple de configurar; es bastante rápido si la señal es buena y si está alimentado con una fuente de corriente permite una monitorización instantánea de los datos.

- Bluetooth: Al igual que el wifi es una de las mejores opciones; no necesita un Router para permitir las comunicaciones, ya que cada nodo permite la comunicación entre uno y otro. Por el contrario, el alcance es muy limitado, la transmisión de datos es reducida, pero el consumo es bastante menor que el del wifi. En función del proyecto puede ser una opción al wifi, pero tendrá que constar, al menos, de un nodo con algún tipo de conexión que favorezca la subida de datos a internet.
- GSM: Siempre que se parte de una idea como el presente estudio, parece que es la solución más indicada. El alcance que tiene es enorme, el consumo que tiene puede ser moderado, en función del tamaño de datos que se vaya a enviar. Sin embargo, tiene un inconveniente: las frecuencias de operación están capadas por las líneas telefónicas y en función del operador tendrá un coste. A pesar de los inconvenientes, suele ser una solución para ciertos tipos de proyectos debido a las frecuencias habilitados, o por el proyecto en sí.
- RF: Es la práctica más utilizada. En función de la frecuencia abierta se traza un lazo de comunicación; suele haber un Gateway que recoge las comunicaciones. Por el contrario, es un sistema complejo y hasta cierto punto desconocido. Muchas frecuencias están reservadas y, las que están habilitadas, pueden llevar costes de operación. En función del tamaño de datos que se envíe, la distancia y el consumo de encendido o apagado (sleep mode), puede afectar seriamente al consumo de la batería.
- Lora/SigFox/LTE-M: Sin duda es la tecnología más avanzada; tienen un amplio rango de frecuencia, bajo coste, largo alcance y reducido consumo, en definitiva, consigue que sea la comunicación más interesante para transmitir los datos. En particular, el alcance de estas comunicaciones en los entornos adecuados puede alcanzar los 20km. Nodo a nodo o hasta el Gateway.
- 5G: Sin duda se habla mucho del IOT y las conexiones de los dispositivos para parametrizar las constantes. Se habla de que sustituirá la gran mayoría de las conexiones, pero los costes iniciales seguramente descarten esta opción.

### 3.4 Análisis de datos IOT parametrización e información geográfica.

Para entender brevemente el IOT se puede definir como una biblioteca virtual que va agrupando y recibiendo información y, en función de los parámetros que se hayan establecidos, va mandando diferentes alertas. En la siguiente figura, se representa el esquema y lo potente que resulta un sistema con IOT (Internet of things-el internet de las cosas).

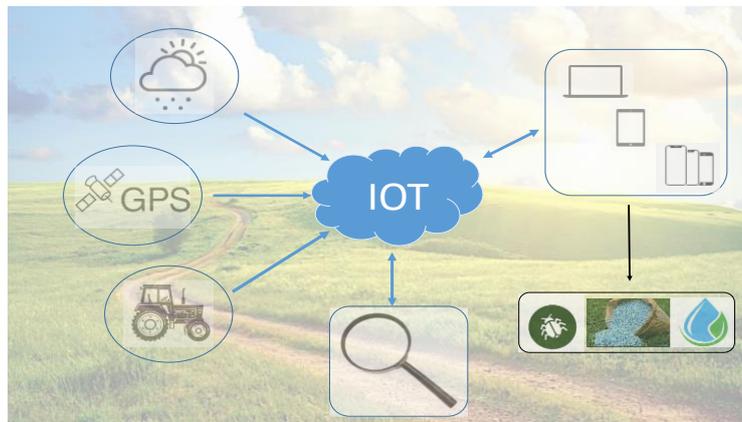


Figura 3: El internet de las cosas.

Aprovechando la figura 3, simplificamos la exposición del estudio, en varias fases:

La inicial y la más importante, la toma de datos. Ésta es, sin duda, la más significativa; para ello, el tiempo en que los sensores deben permanecer calibrados tiene que ser óptimo para obtener datos fiables dentro de un margen de error. La gran ventaja de estar conectado a internet, es que permite en paralelo, con mucha facilidad, contrastar los datos obtenidos con plataformas oficiales como Aemet, que obtiene la información a través de satélites y muchas estaciones meteorológicas. Si hay un desvío importante entre lo obtenido particularmente y lo contrastado con Aemet4, es sinónimo de que algún sensor no está midiendo bien. Aunque, en este punto, es correcto mencionar que se está obteniendo un microclima y que debe variar con respecto a Aemet.

Con el contraste de todos los sensores y el envío de estos datos a los nodos principales, el IOT se encarga de mostrar estos datos en un perfil de mapas cloropléticos. Este paso tiene que estar correctamente programado y cada nodo tiene que llevar un sistema de referencia para que la matriz del sistema represente correctamente los datos. Con esta información se consigue perfiles como el siguiente.

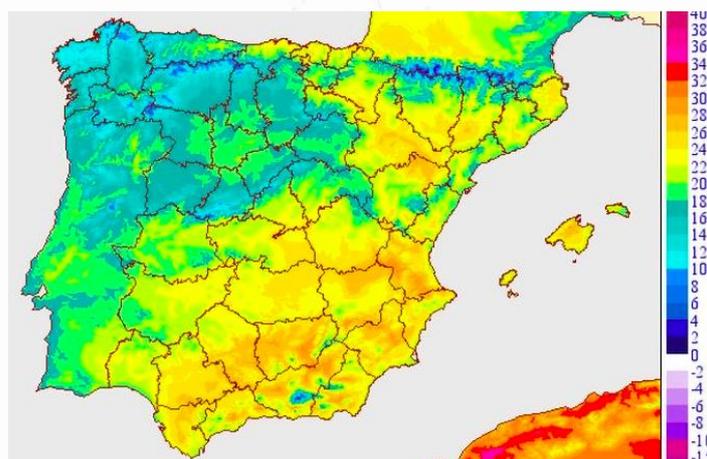


Figura 4: Mapa de España represando con perfiles de temperatura.[12]

Debido a la exactitud y la precisión de las parcelas recogido en la plataforma oficial SIGPAC, y, previa autorización, se puede hacer uso de su infraestructura y automáticamente relacionarlo con las tomas de datos de los sensores que llevan asignado las coordenadas, de latitud y longitud. Estos datos acumulados



sirven de base de estudio para futuras generaciones o para el contraste de información de posibles proyectos, rotación de cultivos y planificaciones.



Figura 5: Representación de un sensor y su alcance en el mapa de Sigpac. [13]

### 3.5 Automatización

Otra de las herramientas importantes del IOT es la capacidad de toma de decisiones. Con un programa que aprende sobre sí mismo y que va recibiendo información, es posible captar posibles amenazas, enviar alertas y, si el sistema está dotado, actuar por sí mismo. Por ejemplo, una zona lleva varios días con mucha intensidad de sol y por precaución a una epidemia de virosis, se toma la decisión de regar activando las zonas afectadas o, incluso, segar, dado que el pronóstico de la zona empeora. Obviamente, cada plataforma irá programada según los intereses del cliente.

Este punto del trabajo resulta novedoso y hasta cierto punto visionario: dotar de total autonomía a un sistema operativo controlando la producción puede ser alarmante. A día de hoy, segar sigue siendo decisión y tarea del hombre. Sin embargo, es cuestión de tiempo que las decisiones y las prácticas de segar, rotar cultivos... sean totalmente automatizadas (siempre con la supervisión del operario, ya que, por ejemplo, una cosechadora que roza una piedra puede producir un incendio).

### 3.6 Estudio de datos

Este es el último paso de la herramienta del IOT y, desafortunadamente, el perfil con menos información. La telemetría en el campo es un elemento muy importante, y la comparación de datos año a año, permite mejorar el rendimiento exponencialmente. El valor de los datos puede proyectarse hacia otro ámbito muy interesante; si se busca calidad, se puede intentar replicar los datos de una cosecha muy buena.



Con la estadística acumulada de perfiles de rendimiento por parcela se pueden derivar conclusiones para optimizar al máximo las producciones.

### 3.7 SENSORES DEL TRABAJO.

Debido al coste inicial de cada sensor se realiza el estudio detallado de los dos más económicos, el DHT22 (temperatura y humedad) y el Sensor de humedad relativa.

#### 3.7.1 SENSOR DHT22

Compuesto por el sensor AM2302, y recubierto por una capsula de plástico; [14].

Son dos sensores conectados a un microcontrolador de 8 bytes que permite una medida exacta al incorporar una memoria OTP calibrada en laboratorio. Es de bajo coste, poco consumo, para uso industrial, para larga duración sin calibrado y con salida digital. En la siguiente figura, se muestra las salidas del sensor:

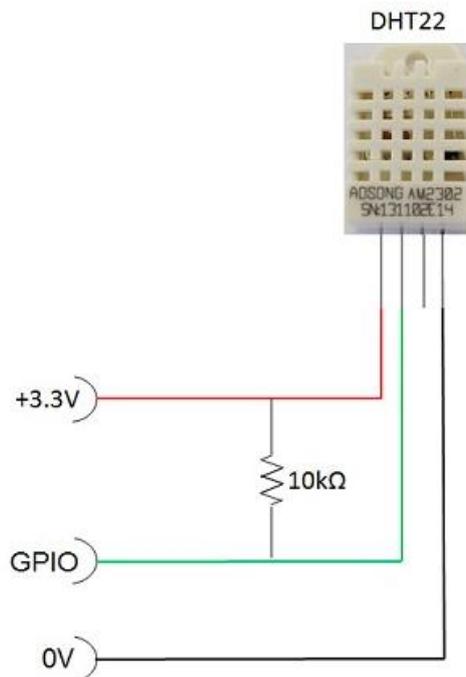


Figura 6: Sensor DHT22 [15]

##### 3.7.1.1 Especificaciones Técnicas:

En la siguiente tabla se muestran las características específicas del sensor.



Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

Tabla3: Características del sensor DHT22. [16]

Dimensiones en milímetros:

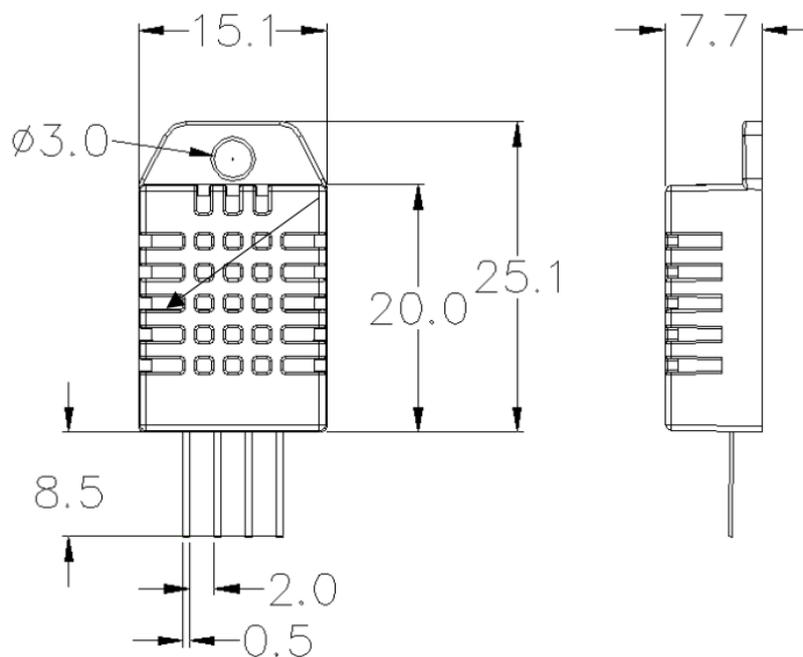


Figura 7: Dimensiones DHT22 [17]

### 3.7.1.2 Especificaciones de funcionamiento

PIN de alimentación:



Alimentación entre 3.3 y 6 voltios (continua). Si hubiera mucho ruido en el sensor (mal diseño o entorno comprometedor) se puede incorporar un capacitor de 100nF entre alimentación y tierra, de esta forma queda filtrada la señal.

PIN de comunicación:

Es una conexión entre puertos digitales. Tiene el inconveniente de que al poseer una pequeña memoria operativa en un rango de 0.5 Hz las señales solo se pueden leer como mínimo cada 2 segundos. La estructura del envío de la señal se divide en 5 señales que suman 40 bites.

- 1) 8 bites que componen la parte integral de la humedad relativa
- 2) 8 bites que componen la parte decimal de la humedad relativa
- 3) 8 bites que componen la parte integral de la temperatura
- 4) 8 bites que componen a parte decimal de la temperatura
- 5) 8 bites que comprueban que la suma de los 4 anteriores.

Cuando el microcontrolador al que está conectado el sensor DHT22 envía una señal para leer la lectura, el OTP pasa de estado dormido a estado de funcionamiento, manda los 40 bites y vuelve a estado dormido para no consumir. Cuando el Microcontrolador recibe la señal, esta es analizada por la librería DHT22 que traduce los datos y comprueba que la lectura es correcta realizando la suma y comparándola con los últimos 8 bits. Si es correcto, el programa puede devolver la temperatura en grados centígrados y la humedad en tanto por ciento. En la siguiente figura se puede apreciar el resultado de una medida correcta.

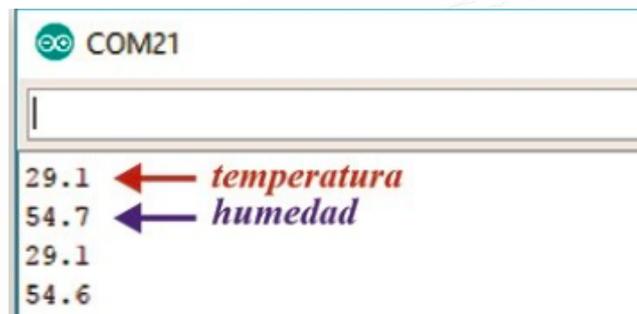


Figura 8: Resultados DHT22.

### 3.7.2 Sensor de humedad del suelo

El sensor utilizado es el FC-28, mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. Una característica es que este sensor puede funcionar como analógico o como digital, la peculiaridad es que el analógico envía una señal, mientras que el digital envía una salida 1 o 0, y que dependerá de si supera un valor que se ajusta con un potenciador. Si hubiera mucho ruido en la señal, se podría resolver con varias



medidas y haciendo una media o con una exponencial [18]. En la siguiente ilustración se muestra el sensor FC-28 y el potenciómetro.

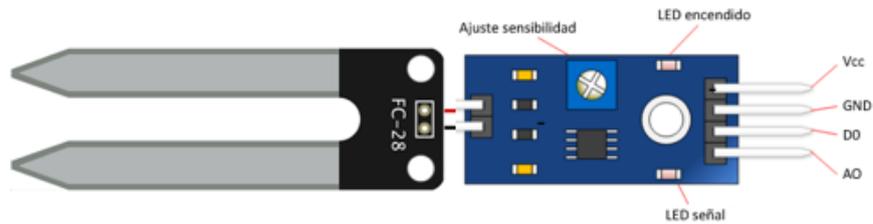


Figura 9: SENSOR FC-28 Y POTENCIOMETRO [19]

### 3.7.2.1 Especificaciones Técnicas

- 3.3-5 Voltios
- 35mA Corriente
- Salida digital/Analógica
- Chip LM393
- -40°C a 85°C
- resolución de 12 bit
- Potenciómetro 3cmx1,5cm
- Probeta 6cm x 3cm

Dimensiones en milímetros:

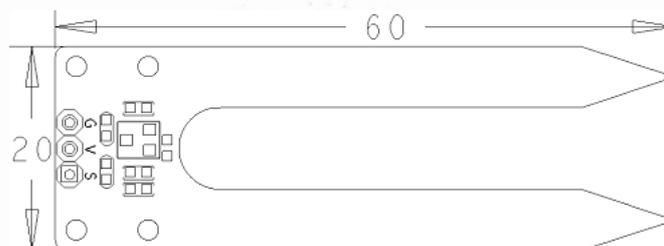


Figura 10: Dimensiones FC-28 [20]

### 3.7.1.2 Especificaciones de funcionamiento

PIN de alimentación:

Alimentación entre 3.3 y 6 voltios (continua).



PIN de comunicación: Si se quisiera enviar una señal cada vez que se superara un nivel de humedad, lo ideal sería utilizar la salida digital. Este devolvería un HIGH OUTPUT con el que se podría crear una alerta o tomar las medidas necesarias.

Por otro lado y con más sentido, se puede conectar de forma analógica, incluso se podría prescindir del potenciómetro, de esta forma la conexión se simplifica y el consumo se reduce. Uno de los inconvenientes que tiene la parte analógica es la forma en que mide, (conductividad) cada tierra posee una conductividad distinta, por lo que varía en función de si se encuentra en suelo con arcilla, calcio... La forma más eficaz de calibrar estos sensores es con la propia tierra. Con algo de error la forma en que sube la tensión cuando más humedad haya en la tierra es lineal. Cuando el sensor se sitúa en el aire, se obtiene una medida analógica de 1023, mientras que si está en el agua se obtiene 0. Si se ajusta la pendiente: Siendo:

- Y: temperatura
- X: valor analógico

$$m = \frac{0 - 100}{1023 - 0} = -0,09775171$$

$$y = -0,09775171 * +100$$

Esta recta depende mucho, una tierra con humedad al 100% no tiene la misma conductividad que el agua, y una tierra seca tampoco dará el valor que en el aire. Por lo que la forma correcta es aplicar en cada tierra los niveles máximos de humedad y los niveles mínimos y aproximarlos a un valor relativo respecto al agua y aire.

Si se deseara una exactitud más correcta, se tendría que realizar la aproximación de la siguiente forma: partiendo de una tierra en una cubeta totalmente hermética se procede a secar en un horno, cuando la tierra alcanza valores próximos a humedad relativa de cero, se toma una medida, este será el valor de referencia y0. A continuación, se mide el volumen de tierra y se añade un 10% de ese volumen en agua, se agita durante unos minutos hasta que agua y tierra quedan permeables, se procede a tomar la medida, así continuamente hasta completar el mismo volumen de agua con la tierra que equivale al 100% de humedad, con esos 11 puntos y el equivalente de su humedad se construye una función polinómica o a partes si procede.

## 3.8 Módulos de comunicación.

### 3.8.1 Estructura de la comunicación.

Como se introdujo inicialmente, el envío de datos va de nodo a Gateway. El nodo almacena en su interior el microcontrolador, los sensores y el módulo LORA; mientras que el Gateway, sólo contiene el módulo receptor de LORA y WIFI. El esquema de la siguiente ilustración representa la comunicación.





**Conectividad:**

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s)
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE)
- SX176 LORA 868Mhz

**Características generales:**

- 3.3V a 7V
- temperatura -40° C a 90° C
- 36 GPin PINS

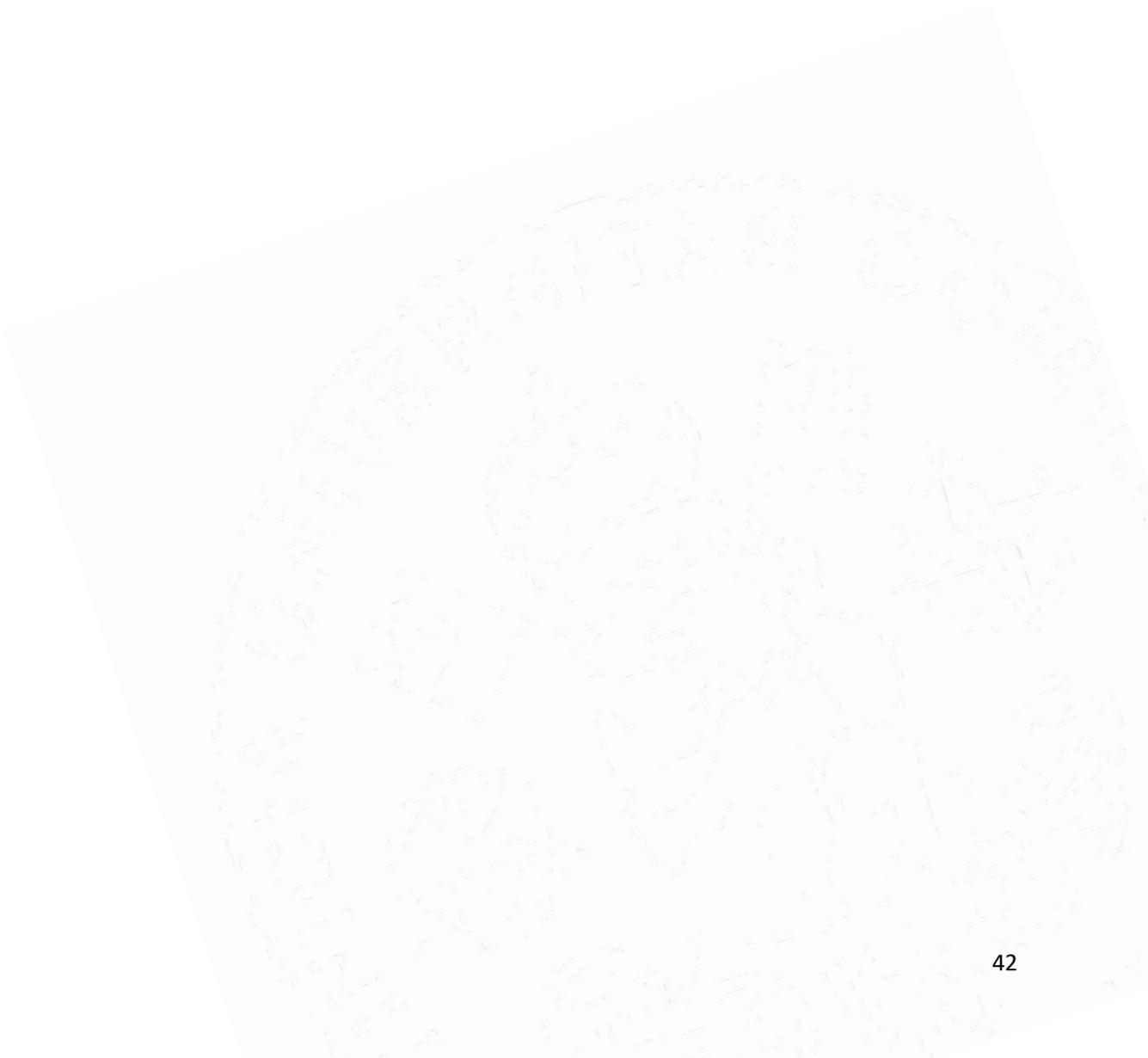
**3.8.3 Funcionamiento:**

Para programar el microcontrolador se hace uso del programa ARDUINO. En la pestaña programa, se busca incluir librería y se descarga la librería ESP32 TTGO, y se codifica el microprocesador para que funcione como Gateway o nodo, para la parte de nodo se codifican los PINS para que actúen como entrada digital y como entrada analógica.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

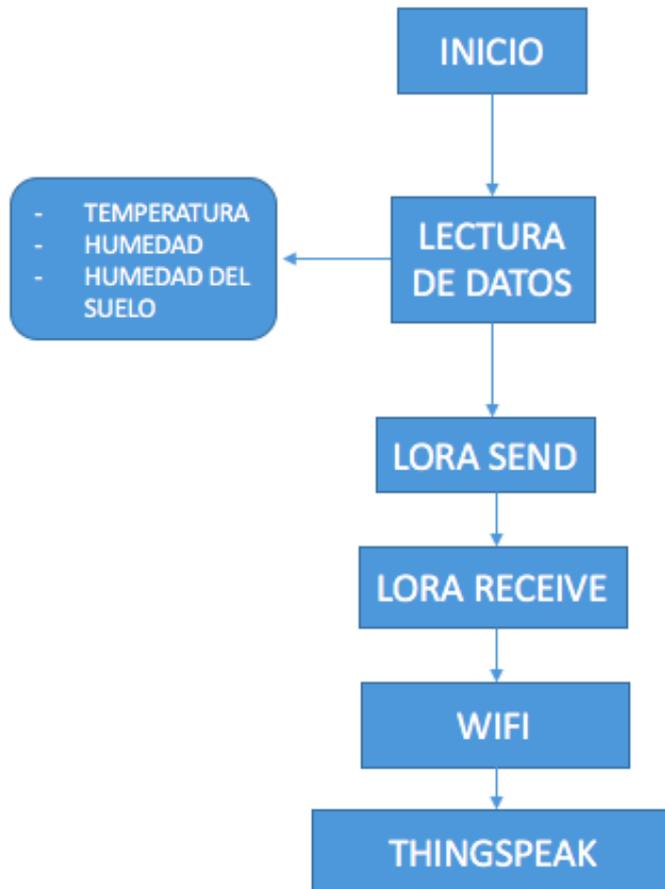
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)





## CAPÍTULO 4: DISEÑO Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA

### 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO



*Figura 13: Diagrama de flujo de la arquitectura IOT.*

Este diagrama de flujo recoge el proceso de leer los datos e inscribirlo en el servidor público THINGSPEAK. El proceso es repetitivo, pero queda limitado en función a las características del sistema y del propio servidor THINGSPEAK que tiene limitado un máximo de datos al día.



## 4.2 DISEÑO FÍSICO.

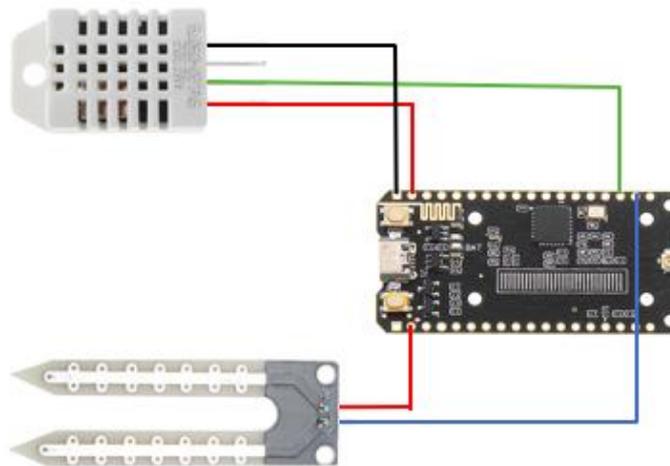
El conjunto se divide en dos partes, el nodo y el Gateway.

### 4.2.1 NODO

Compuesto por:

- TTGO ESP32
- DHT22
- FC-28

La conexión entre la placa y los sensores se muestra en la siguiente figura:



*Figura 13: DISEÑO FÍSICO DEL NODO*

La conexión es muy simple, no requiere más de 5 cables y tiene un consumo muy bajo. Al conjunto anterior habría que añadir la Antena y la batería o fuente de alimentación.

### 4.2.2 GATEWAY

Compuesto por:

- TTGO ESP32

La siguiente figura muestra la placa la antena y la conexión a la fuente de alimentación.



Figura 14: Gateway

La conexión es muy similar a la de arriba solo que no lleva los sensores incorporados. A diferencia del nodo, el Gateway debe estar situado próximo al WIFI; si las circunstancias no lo permitieran, se podría añadir un módulo hembra Ethernet incorporado en los PINS RX Y TX para conectarse directamente a una línea de internet.

### 4.3 ESTRUCTURA DEL CÓDIGO.

Para hacer referente a este tema, se va a dividir el apartado en dos: EMISOR (nodo) y receptor (Gateway). Pero antes de empezar se describen las bibliotecas y las librerías utilizadas.

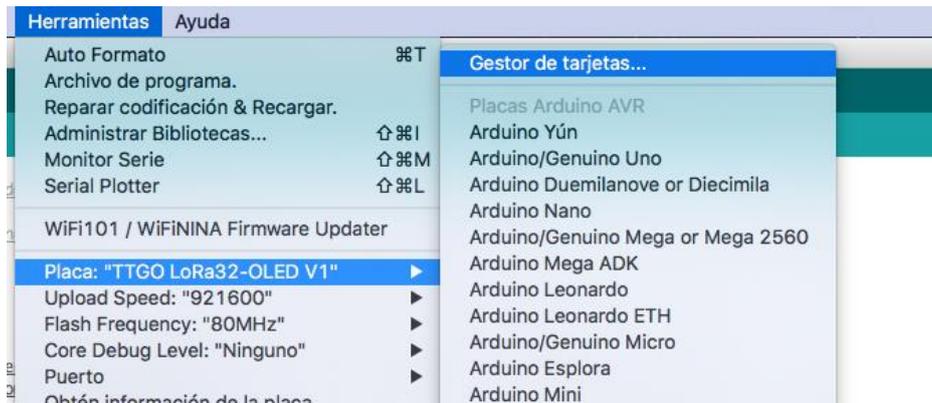
#### 4.3.1 Librerías y bibliotecas.

Definición: Las librerías y bibliotecas, son códigos creados por terceros (normalmente la entidad o la empresa que ofrece el producto que se está codificando) y que se guarda internamente en la memoria. Esto facilita mucho el código, permite guardar memoria y facilita la agilidad para que el sketch se ejecute.

Ya se mencionó en el anterior capítulo como incluir la librería pero para este caso, dado que se trabaja mucho con la librería LORA, se incluye el proceso para poder trabajar.

Inicialmente hay que descargar el programa con el que se va a trabajar. En su defecto ARDUINO. Para ello, hay que acudir a la página web<sup>1</sup> → Software → Download the arduino IDE ( es un software totalmente gratuito por lo que no necesita licencias)

Una vez ejecutado el programa, se abre el sketch y se siguen los pasos como procede en las siguientes imágenes.



*imagen 1: GESTOR DE TARJETAS*



*Imagen2: INCLUIR TARJETAS ESP32*

Este proceso es conveniente hacerlo para que la información se suba correctamente. Hay que recordar, que este programa está preparado para subir información a placas arduino pero, en su defecto, se está utilizando una placa TTGO LORA ESP32. Se puede observar que en la imagen 1 la placa que aparece como inscrita ,es la propia que se está utilizando.

Siguiendo el proceso a continuación se debe incluir las librerías con las que se va trabajar. Se sigue el proceso como se describe a continuación.

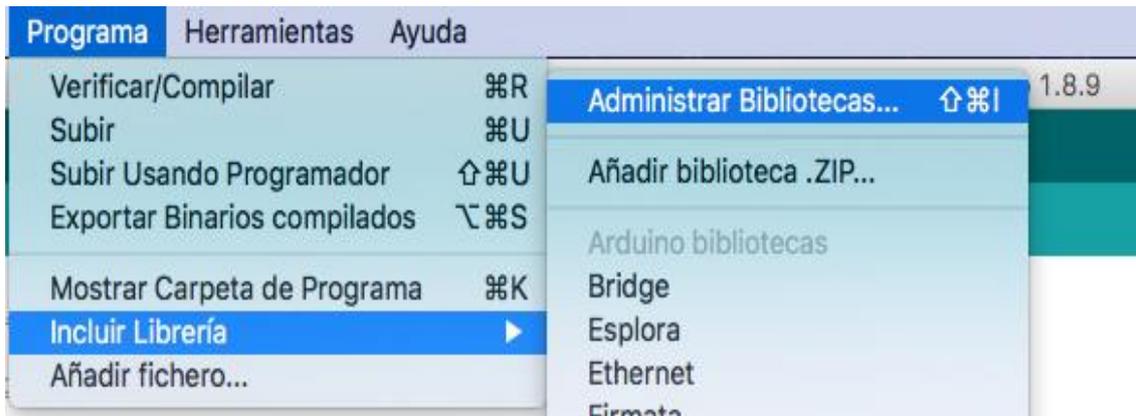


Imagen 3: INCLUIR LIBRERÍA LORA.



Imagen 4: INCLUIR LIBRERÍA LORA

Hay que prestar especial atención a la librería que se añade; son muchos los módulos pero cada librería está preparada para su microprocesador. El utilizado en este trabajo es el SX1276 es por ello que se ha instalado la librería de Sandeep Mistry. Otro dato a tener en cuenta es que estas librerías son de terceros y puede estar sujeto a condiciones de utilización. Académicamente es libre de utilizar, pero para desarrollo en una empresa está sujeto a condiciones.

Por otro lado, el sensor DHT22 está sujeto a librerías, dado que este sensor es universal, en el gestor de librerías se puede incluir cualquiera.

Las librerías que se van a utilizar son las siguientes:

- SPI Para la transmisión de datos en la placa (Creado por Motorola en 1980) es una propia librería de Arduino
- LORA Para operar con la transmisión de datos internamente en el módulo, y no tener que redactar todo el código.



- DHT Para dar sentido a los valores leído por el sensor.

Todo código genérico tiene tres partes.

- 1.- Definiciones: Es donde se incluyen las librerías y donde se define cada PIN de la placa y los valores de las constantes a utilizar.
- 2.- Void setup: Encargada de configurar el programa
- 3.- Void Loop: Ejecución del código cíclicamente.

### 4.3.1 SENSORES

Solo forma parte del emisor; se crean las variables y se toman las lecturas.

#### 4.3.1.1 EMISOR

```
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 13 // Pin de conexión
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //// Inicio del sensor para que se ajuste correctamente la calibración
//VARIABLES
float hum; // Guarda los valores de humedad
float temp; // Guarda los valores de temperatura
int h; // Guarda los valores de humedad relativa
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // Se utiliza 115200 ya que LORA opera con esa frecuencia.
  dht.begin(); // Inicio de la medidas
}

void loop()
{
```



```
delay(2000);  
//lecturas:  
hum = dht.readHumidity();  
temp= dht.readTemperature();  
int sensorValue = analogRead(14); //lectura del sensor humedad de la tierra, dato analógico.  
h=map(sensorValue,1023,360,0,100); // calibración de la medida  
delay(1000); // Retraso de un segundo  
}
```

### 4.3.2 COMUNICACIÓN DE LORA

EL emisor es el encargado de enviar los datos recibidos al receptor. El siguiente código muestra como enviar 3 datos (a,b,c) que equivalen a los valores medidos.

#### 4.3.2.1 EMISOR

a,b,c se refieren a los valores de los sensores anteriores, son partes de códigos. No está definido estos valores en el emisor de LORA.

```
#include <SPI.h>  
  
#include <LoRa.h>  
  
// SPI LoRa Radio comandos, para que la placa al conectarla con el programa arduino pueda leer y  
transmitir los datos  
  
#define LORA_SCK 5 // GPIO5 - SX1276 SCK  
#define LORA_MISO 19 // GPIO19 - SX1276 MISO  
#define LORA_MOSI 27 // GPIO27 - SX1276 MOSI  
#define LORA_CS 18 // GPIO18 - SX1276 CS  
#define LORA_RST 14 // GPIO14 - SX1276 RST  
#define LORA_IRQ 26 // GPIO26 - SX1276 IRQ  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200); // monitor de serie para LORA  
  while (!Serial);
```



```
Serial.println("LoRa Sender"); // comprobación de que inicia correctamente

SPI.begin(LORA_SCK, LORA_MISO, LORA_MOSI, LORA_CS); // Comandos de lectura interna para LORA

LoRa.setPins(LORA_CS, LORA_RST, LORA_IRQ);

if (!LoRa.begin(868E6)) { // FRECUENCIA DE OPERACIÓN EN ESPAÑA.

  Serial.println("Starting LoRa failed!");

  while (1);

}

LoRa.setSpreadingFactor(12); de 6 a 12. Cuanto mayor sea el nº más distancia pero más lenta es la
comunicación.

LoRa.setTxPower(14, PA_OUTPUT_RFO_PIN); // 0-14 para mejorar la calidad y evitar ruido en la
comunicación. Afecta a la velocidad de la comunicación.

}

void loop() {

  Serial.print("INICIO DEL PAQUETE"); //inicio del paquete.

  LoRa.beginPacket();

  LoRa.print(a); // TEMPERATURA

  LoRa.print(" ");

  LoRa.print(b); // HUMEDAD

  LoRa.print(" ");

  LoRa.print(c); // HUMEDAD RELATIVA

  LoRa.endPacket(); // finaliza el envío

  delay(5000); // retraso de 5 segundos

}
```

#### 4.3.2.2 RECEPTOR

```
#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

// SPI LoRa Radio comandos, para que la placa al conectarla con el programa arduino pueda leer y
transmitir los datos

#define LORA_SCK 5 // GPIO5 - SX1276 SCK

#define LORA_MISO 19 // GPIO19 - SX1276 MISO
```



```
#define LORA_MOSI 27 // GPIO27 - SX1276 MOSI
#define LORA_CS 18 // GPIO18 - SX1276 CS
#define LORA_RST 14 // GPIO14 - SX1276 RST
#define LORA_IRQ 26 // GPIO26 - SX1276 IRQ (interrupt request)
String rssi = "";
String packet = "";
void setup() {
  Serial.begin(115200); // monitor de serie para LORA
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa RECEPTOR");
  SPI.begin(LORA_SCK, LORA_MISO, LORA_MOSI, LORA_CS); //inicio del receptor PAQUETE
  LoRa.setPins(LORA_CS, LORA_RST, LORA_IRQ);
  if (!LoRa.begin(868E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  LoRa.setSpreadingFactor(12); // de 6 a 12. Cuanto mayor sea el nº más distancia pero más lenta es la
  comunicación.
}
void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket(); // descodificando la comunicación.
  if (packetSize) {
    Serial.print("Received packet ");
    packet = ""; // Clear packet
    while (LoRa.available()) {
      packet += (char)LoRa.read(); // juntando el paquete
    }
    rssi = LoRa.packetRssi();
    Serial.println(packet); //lo que se recibe //( temperatura humedad humrelat)
  }
}
```



### 4.3.3 CONVERSION DE LORA A WIFI

Esta parte del código es innovadora en el sentido de que, lo que se está utilizando en este trabajo, es un nodo como Gateway. Es por este motivo que hay que convertir lo recibido, que equivalen a unos caracteres, en variables asignadas y ,así, inscribir estos datos en un servidor. Los gateways que se pueden utilizar llevan ya inscrito estos valores y los mensajes recibidos, tienen una estructura homogénea. Esta estructura es analizada y convertida automáticamente a valores. Para ahorrar energía, y no enviar 3 datos, es preferible enviar una cadena de caracteres, que no consume mucho, y luego traducir esta cadena.

El código en el receptor sería el siguiente

```
String sCadena = "23.45 45 54"; // EN EL CÓDIGO GENERAL SE RECIBE UNA CADENA COMO LA QUE SE MUESTRA, SIENDO 23.45 LA TEMPERATURA, 45 LA HUMEDAD DEL AIRE Y 54 LA HUMEDAD RELATIVA DE LA TIERRA.
```

```
float t;
```

```
int h;
```

```
int hr;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  String sSubCadena = sCadena.substring(0,5); //cogemos los primeros 5 caracteres de la cadena
```

```
  t=sSubCadena.toFloat(); // convertimos los caracteres en variables.
```

```
  String sSubCadena = sCadena.substring(6,8);
```

```
  h=sSubCadena.toInt();
```

```
  String sSubCadena = sCadena.substring(9,12);
```

```
  h=sSubCadena.toInt();
```

```
  delay(1000);
```

```
}
```



#### 4.3.5 WIFI

Antes de empezar con el código wifi hay que preparar el lugar donde se van a inscribir los datos. Por lo que este apartado se va dividir en dos secciones: el servidor público THINGSPEAK y la estructura del código para subir datos al servidor. Es una herramienta muy potente ya que se puede agrupar canal por nodo y en cada canal, puede ir asignado la latitud y longitud.

THINGSPEAK[24]: Es un servidor que forma parte del software Matlab, es una herramienta muy potente para este tipo de proyectos ya que facilita mucho las conexiones, abarata el proceso, es gratis, aunque está limitado a 3M de mensajes anuales, y un máximo de 4 datos por mensaje y cada 15 segundos. Si se tiene licencia las condiciones cambian, el intervalo de datos puede ser cada 1 segundo y los datos que se envíen pueden ser ilimitados, agrupados en canales.

##### 4.3.5.1 Proceso para crear un espacio en el servidor y guardar datos

- Primero se inicia sesión con una cuenta gratuita o, en su defecto, con una cuenta si se tiene acceso. Dado que la cuenta de comillas.edu tiene licencia en Matlab, se procede a utilizar la cuenta de la universidad.
- Se crea el canal. A continuación, se muestra una imagen con el contenido que se ha rellenado. Y el resultado de cómo THINGSPEAK muestra la información

The image shows a 'New Channel' form in Thingspeak. The form has the following fields and values:

Field	Value
Name	TRABAJO FIN DE GRADO
Description	Inscribir datos de un proyecto IOT
Field 1	TEMPERATURA <input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	HUMEDAD <input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	HUMEDAD RELATIVA T <input checked="" type="checkbox"/>
Elevation	666
Latitude	40.4295
Longitude	-3.7114000000000003

Imagen 5: Canal de THINGSPEAK

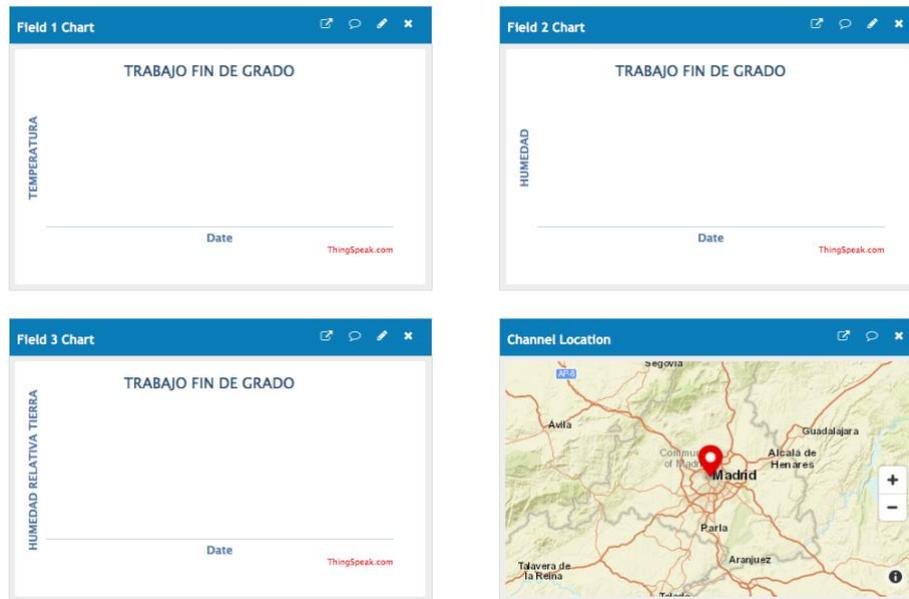


Imagen 6: CAMPOS DE DATOS Y LOCALIDAD.

- Para inscribir los datos en el servidor necesitamos el nombre del canal, las APIS de inscripción, y los field 1,2 y 3.



Imagen 7: Datos de inscripción.

#### 4.3.5.2 CÓDIGO WIFI

```
float t;  
int h;  
int hr;  
#include <WiFi.h>  
String apiKey = "*****"; // API DEL PROYECTO ThingSpeak  
const char ssid = "**** "; //cambiar por el nombre de wifi  
const char pass = "*****"; // cambiar por contraseña wifi  
const char* server = "api.thingspeak.com";  
WiFiClient client;
```



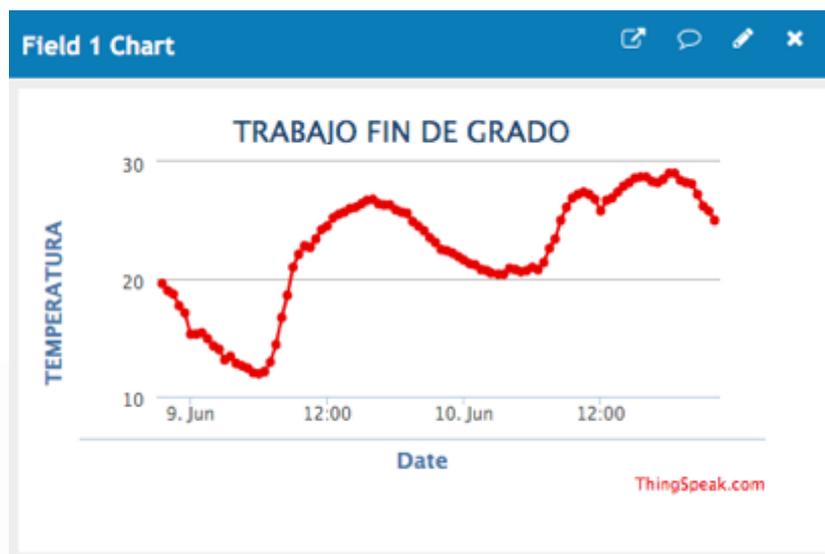
```
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // inicio del monitor serie para el wifi
  delay(10);
  Serial.println("Conectano a: ");
  Serial.println(ssid); // red de conexión
  WiFi.begin(ssid, pass); // password de la red
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
}

void loop()
{
  if (client.connect(server,80) // "184.106.153.149" or api.thingspeak.com
  {
    String postStr = apiKey; // escribiendo URL para enviar los datos.
    postStr += "&field1=";
    postStr += String(t);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(h);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(hr);
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
```



```
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiKey+"\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(postStr.length());
client.print("\n\n");
client.print(postStr);
delay(15000);
}
client.stop();
}
```

Con esta estructura final, se inscriben los datos en el servidor y se muestra de la siguiente forma.



*Imagen7: Temperatura registrada*

#### 4.3.6 ACTUADOR

Para programar un actuador, se puede hacer uso de la plataforma de THINGSPEAK ya que incorpora un gatillo, de tal forma que, si uno de los canales supera un valor determinado, se puede tomar medidas. Se simula el caso en el que la humedad relativa baja por debajo del 5% y se mande una notificación para alertar al usuario de que hay un incidente en el riego y el terreno se está secando.



Para ello, nos vamos a la sección de APPS→REACT. Y rellenamos los campos de la siguiente forma:

Apps / React / si la humedad está por debajo de 10%

Edit React

Name:	si la humedad está por debajo de 10%
Condition Type:	Numeric
Test Frequency:	On data insertion
Last Ran:	2019-06-13 10:10
Channel:	ACTUADOR
Condition:	Field 2 (Field Label 2) is less than 5
ThingHTTP:	AVISOS DE PARÁMETROS EN ALERTA
Run:	Each time the condition is met
Created:	2019-06-13 9:30 am

Imagen8: ACTUADOR

Este actuador tiene concatenada una acción HTTP que redirige la información “alerta” a otra aplicación para realizar esta asignación hay que ir a otra aplicación de THINSPEAK: APPS→ThingHTTP

Apps / ThingHTTP / AVISOS DE PARÁMETROS EN ALERTA

Edit ThingHTTP

Name:	AVISOS DE PARÁMETROS EN ALERTA
API Key:	XUIB3K553V3CUHJY
	Regenerate API Key
URL:	https://maker.ifttt.com/trigger/CAMPO/with/key/oIRNwo-5UTIGTbqCimqRphrveHRzdu8i58-2XVkiWn
HTTP Auth Username:	
HTTP Auth Password:	
Method:	POST
Content Type:	application/json
HTTP Version:	1.1

Imagen9: http



A continuación, hay que dirigirse a la aplicación web IFTTT que tiene programada ciertos actuadores, entre ellos, podemos encontrar enviar un sms, enviar un email, publicar un tweet, innumerables acciones. Dentro de IFTTT[25] configuramos la aplicación Webhooks, que básicamente lee datos de la dirección que indiques o permite recibir datos si sucede algo que se configure y programa un actuador. Como se ha mencionado en el ejemplo anterior, este actuará si la humedad relativa baja por debajo del 5%. Como actuador se ha programado enviar un correo.

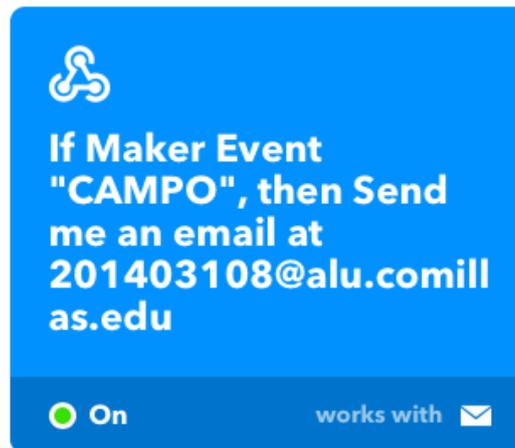


Imagen10: Mandar un correo si se le llega la acción

Para resumir el proceso, la secuencia sería la siguiente: Thingspeak recibe datos, la humedad relativa está en 4%, la aplicación reacciona y manda una señal a la aplicación http, esta última tiene asignado en URL "el gatillo" manda una señal a IFFT (webhooks) y esta última, manda un correo a la cuenta asignada.

#### 4.4 Protocolos de seguridad.

El protocolo de seguridad en el traspaso de datos de Lora sigue en desarrollo. Es efectivo pero tiene ciertas peculiaridades que no cubren la comunicación al 100%.

Para afrontar este apartado, primero se explicará el protocolo estándar de LORA y, a continuación, los otros protocolos que se han incluido como solución al estándar. Uno de los problemas que reside en los protocolos de seguridad es que no siempre van a favor con el proyecto. Un nodo suele ir asociado a una batería y los picos de consumo, se dan cuando se envía o se recibe la información. Es por este motivo que algunos protocolos de seguridad, que incluyen petición confirmación y envío de datos, consume mucho, ya que, en vez de enviar un dato, se envía una petición, se espera a una respuesta, que hay que interceptar, y, a continuación, se envía la señal con los datos. Suele haber un ratio de fallo en los envíos de señales, por lo que, si encima a esto, hay que añadirle más interacciones, estaremos eliminando vida útil de la batería.

Los dos perfiles característicos de Protocolos de Lora son OTAA (OVER THE AIR ACTIVATION) y ABP (ACTIVATION BY PERSONAL METHOD).[26]

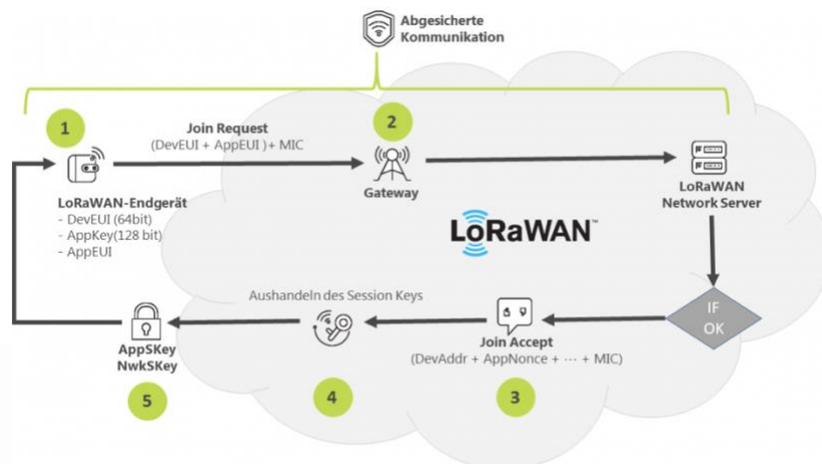


#### 4.4.1 OTAA

Este método está basado en operaciones en el aire. Se necesita una solicitud y una aceptación. Cada nodo, tiene programador o asignado un:

- 64-Bit DevEUI que es el código de identificación asignado por el fabricante.
- 64-Bit AppEUI o más bien conocido JOINEUI (según el tipo de actualización en el software de codificación de LoRaWAN preparado para sus chips). Es la identificación que se asigna a la configuración, de esta forma el Gateway. Sabe de quién está recibiendo la información y programa los protocolos oportunos.
- 128-Bit APPKEY es una “contraseña” encriptada por el nodo y el Gateway. Cada nodo tiene asignada una llave única.

Su funcionamiento es el que se describe a continuación: el nodo manda una petición de conexión compuesta por el JOINEUI, el DevEUI y DevNonce(2 bit extra para evitar ataques falsos de respuesta); el Gateway comprueba que todos estos valores son los correctos, y si lo son, se abre una sesión temporal donde se transmiten los datos que se quieran comunicar. A continuación, se muestra una imagen<sup>3</sup> donde se enseña el recorrido del protocolo de seguridad.



#### 4.4.2 ABP

Como se mencionó, al principio de este apartado, este método es más eficaz aunque menos seguro de cara a transmitir datos, dado que, realiza menos comunicaciones permitiendo ahorrar batería del equipo.

El funcionamiento sería el siguiente: Cada nodo, lleva incorporado un DevAddr, AppSKey Y NwkSKey que son únicas para cada nodo; como cada nodo tiene incorporada toda la información, puede transmitir la información con el servidor sin intercambio de mensajes.

Para entender más el procedimiento:

- NwkSKey: es una capa de seguridad. Es única para cada nodo y es conocida por el servidor; la red de conexión está protegida por esta clave.
- AppSKey: encripta y desencripta cada mensaje, es conocida por el servidor y por el nodo.



A modo de resumen, cada vez que un nodo se une a una red de LORA o, través de OTAA o ABP, todos los mensajes quedan encriptados por una serie de llaves. La diferencia entre OTTA Y ABP es que: OTTA crea en cada sesión unas llaves. Mientras que, ABP contiene siempre las mismas llaves ,a no ser que se cambien manualmente.

#### 4.5 Carcasa

La placa utilizada, se puede incorporar en una capsula como se muestra a continuación<sup>4</sup>:



*Figura15: Carcasa [27]*

La carcasa puede incorporar una ranura para poder visualizar los datos a través de una pantalla o puede ir totalmente cerrada, a excepción de un pequeño orificio, para que el cable del sensor de humedad llegue al exterior.

Las dimensiones de la base son 55x30x10 mientras que la tapa es de 55x30x2 medidas en milímetros.



## CAPÍTULO 5: INNOVACIÓN

### 5.1 Idea

Este capítulo recoge la forma en que el campo podría adoptar una solución para la toma de datos de los nutrientes de la tierra, o como aprovecharse de la tecnología existente a día de hoy. Volviendo al capítulo 2 en el apartado de antecedentes, se recogen el interés de dos grandes empresas en este campo. Teralipyc y Logiag.

Como descripción de este contexto, se describen dos situaciones. Una, que sirve de estudio, monitorizar a diario los nutrientes del campo. Tiene como base la observación de cómo se consumen estos nutrientes o/y si llegara el caso de que faltaran en algún momento nutrientes, proceder a regar, incluyendo, en ese riego, algún contenido de nutrientes a la carta, específicos. El problema reside en la exactitud de estos datos, sí que es cierto que tienen un margen de error bastante amplio, pero se puede otorgar cierta confianza a estos sensores. Si se contrastara esta información, a pesar del desvío, con un patrón de referencia, se llegaría a una situación crítica. Por ejemplo: pongamos que se detecta unas semanas antes de que la planta vaya a desarrollar el fruto que el terreno tiene deficiencia de fósforo. Se detecta de forma no muy precisa, sin embargo, esta detección puede servir de base para un estudio en profundidad de algunos puntos en el terreno elegidos al azar en la zona con deficiencia. Una vez concluido el estudio se puede contrastar con Logiag para tomar una decisión: regar la zona con agua enriquecida en fósforo.

En segundo lugar, al iniciar una nueva campaña agrícola, tras la siega del verano, las condiciones del terreno no se conocen con exactitud. Aquí es dónde pueden entrar las nuevas tecnologías que venimos sugiriendo. Tal es el caso, ya existente, de Terallipyc. Pero, si bien, esta empresa aporta una gran innovación, por otro lado, se queda corta puesto que no aporta información suficientemente delimitada como para tomar una decisión basada en ella. Lo mismo sucede con la empresa de Logiag. En este caso tiene un modelo de negocio algo comprometido si se aplica a gran escala, ya que, a mayor número de muestras por hectárea, los gastos se disparan, haciéndolo casi totalmente inviable para el agricultor.

En este sentido, la idea que se va introducir a continuación, tiene que ver con el ahorro y la optimización de estas dos empresas. La propuesta de este trabajo se centra en unificar, básicamente, la labor de estas dos empresas, Logiag y Teralityc, mediante un procedimiento sistemático y muy cuidado en la obtención del elemento primordial: las muestras del terreno.

Esta propuesta comprende lo siguiente: cualquier parcela viene a ser recorrida varias veces a lo largo de su año agrícola por máquinas que realizan una labor determinada. Se habla de una sembradora, una máquina herbicida, un peine de cosechar, etc. Pues bien, este proyecto contempla la incorporación a uno de estos equipos, sembradora, peine, etc., de un equipo compuesto por una serie de barrenas taladradoras que obtengan muestras a 3 alturas distintas. Una vez obtenidas las muestras, se mezclan todas las muestras de la misma altura, se criban eliminando partículas superiores a determinados grosores (rocas, raíces, etc) y se compactan por alturas. Cada una de estas tres alturas con sus correspondientes muestras tendrán una presión interna concreta, un volumen determinado y, dado que se ha medido la humedad, aireación e irrigación, se tiene estimada la densidad. Establecidos todos estos parámetros, se procede a realizar la toma de mediciones con láser y de selector de iones<sup>2</sup> a través de electrodos. Estas medidas resultan una estimación bastante precisa de los nutrientes existentes.



El proceso descrito se puede repetir de forma mecánica cuantas veces se necesite, ya que el equipo, puede llevar incorporadas unas probetas donde se recalibren los sensores cada  $x$  muestras. De esta forma, si se diseña una máquina que pueda ir incorporada a una cosechadora (en la parte de atrás) se puede automatizar la toma de muestras de forma sistemática, muy eficientemente y con un mínimo de supervisión.

Como hemos dicho, este proceso optimizaría la toma de muestras para el caso de la empresa Logiag. En el apartado de la empresa Teralipyc, se emplearía el sensor de toma de datos que ya hoy incluyen, ampliando con otros sensores como es el caso de iones a través de electrodos[28].

La propuesta de realizar tres muestras, a distintas alturas en cada pase de una máquina de labores de la parcela a analizar, tiene como objetivo determinar el gradiente de nutrientes[29-31] y ver en qué altura y zona es más rico el terreno. Esto permitiría una obtención de datos muy real; datos que, cruzados con otros estudios, como pueden ser mapas de rendimientos anuales, consiguen establecer un conocimiento del terreno con cierta rigurosidad. Todo ello conducido a una propuesta de gestión totalmente a la carta y como resultado: por un lado, un ahorro muy importante para el agricultor en el apartado de gastos y, por otro lado, a potenciar hasta el máximo la capacidad de producción de una parcela dada.



## CAPÍTULO 6: Conclusiones y resultados

### 6.1 RESULTADOS

Este trabajo recoge un punto de inflexión en el ámbito de la agricultura: se está dando una evidente evolución hacia sistemas automatizados y soportados por la tecnología. Sin duda, Lora ha sido un inicio, ha dado solución a muchos problemas que no eran soportados por la tecnología existente de comunicación. El IOT es una tecnología que nos va acompañar a lo largo de nuestras vidas, hoy día y mañana, y va a ser aplicado en muchas industrias. En el futuro próximo, a través de la tecnología 5G, las industrias conectadas, van a estar ligadas con el IOT.

Este proyecto no solo recoge el porqué es tan importante evolucionar con la tecnología para la industria de la agricultura, sino que recoge cómo está compuesto un proyecto de IOT, qué fases hay que cruzar, cómo se debe preparar y qué hay que tener en cuenta. El recorrido es muy importante, ya que, al ser una cadena de sucesos, en cuanto falla una estructura, la comunicación no se logra, con el fin de problemas que esto acarrea.

Finalmente, se ha logrado el objetivo: explicar el recorrido, la importancia de la evolución y cómo un simple proyecto IOT puede lograr grandes resultados. La estructura técnica ha tenido éxito; muestra de ello, es que se los datos se recopilan correctamente.

No obstante, también han existido fallos:

En primer lugar, esta tecnología lleva con nosotros, literalmente, unos días, y por motivos todavía no explicados, no hay información oficial suministrada acerca del módulo ESP32. Los ingenieros, con su característica de emprender, han aplicado ingeniería inversa para obtener información: *Kolbans book*[32]. Todo esto hace que mucha información no esté accesible a través de internet o, por el contrario, que todavía no se haya formulado. En definitiva, hay barreras que no llevan consigo soluciones en la web.

Otro factor, con el que hay que tener especial cuidado es la configuración descrita. Cada módulo tiene asignado una frecuencia de operación y cada región suele llevar una frecuencia particularmente determinada, por lo que, quizás, en España puede que funcione correctamente, y que en Estados Unidos no lo haga.

Respecto a la sensibilidad y el funcionamiento: de seis (6) placas encargadas, una (1) de ellas se sobrecalentó y finalmente se quemó la unidad. Este dato siempre preocupa, aunque se ha podido determinar a través de los foros de internet que es una anomalía muy poco común, y que, seguramente, se trate de un caso excepcional, es decir, que la placa no estuviera correctamente fabricada.

Respecto a la funcionabilidad, habría que remarcar el alcance y el peligro, intrínseco, al unirlo a otros equipos. El experimento llevado a cabo para obtener la distancia al aire libre estaba formado por un DRON PHANTOM y un módulo TTGOESP32 conectado a una batería, fue unido por una cinta aislante. Cuando se realizó el experimento, el dron entró en conflicto con los sistemas de comunicación del módulo y acabó desapareciendo. Por suerte, en la programación, cuando se envía un mensaje a través de LORA, el mensaje llega y, junto a éste, aparece un valor que se incrementa si el nodo se aleja del Gateway. Desafortunadamente el mensaje no llegó dado que entraron en conflicto el dron y el nodo. Sin embargo, el dron se quedó sin batería y el módulo seguía funcionando, y dado que se empezó a recibir señal se pudo recoger dron y módulo,



al ver que la distancia recibida se reducía. La distancia real a la que se detectó fue de 2 kilómetros, lo que sorprende ya que, supuestamente, el alcance está caracterizado por ser de unos 20 kilómetros, aunque el record mundial[33] está situado en 702 Kilómetros. Por lo que esto indica que es posible que los alcances máximos, e incluso medios, sean muy inferiores a los indicados y, por ello, se debe tener en cuenta a la hora de un proyecto. Con estimaciones mucho menos ambiciosas a las oficialmente indicadas.



## CAPÍTULO 7 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 CAPÍTULO 1

[1] "Agriculture, forestry, and fishing value added (% of GDP)" World Bank (2017)"

[2] Purdue AGRICULTURE/ AGRONOMY eLearning

[3] Teralypic

[4] i-Metos 3.3/PESSI instruments

### 7.2 CAPÍTULO 2

[5] Olakunle Elijah, Tharek Abdul Rahman, Igbafe Orikumhi, Chee Yen Leow y MHD Nour Hindia "An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges" (2018) enlace a url: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8372905>

[6] Favio Leyva "LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: UNA PRODUCCIÓN MÁS SOSTENIBLE Y COMPETITIVA CON VISIÓN FUTURISTA" (2003) enlace a URL: [https://www.researchgate.net/profile/Fabio\\_Leiva/publication/228425520\\_La\\_agricultura\\_de\\_precision\\_una\\_produccion\\_mas\\_sostenible\\_y\\_competitiva\\_con\\_vision\\_futurista/links/555ce20508ae8c0cab2a6901/La-agricultura-de-precision-una-produccion-mas-sostenible-y-competitiva-con-vision-futurista.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fabio_Leiva/publication/228425520_La_agricultura_de_precision_una_produccion_mas_sostenible_y_competitiva_con_vision_futurista/links/555ce20508ae8c0cab2a6901/La-agricultura-de-precision-una-produccion-mas-sostenible-y-competitiva-con-vision-futurista.pdf)

[7] Mauricio Castro Franco "Agro Big Data el próximo desafío" (2014); enlace a url: [http://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3282/Agro\\_barrow\\_55\\_p.23-24.pdf?sequence=1](http://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3282/Agro_barrow_55_p.23-24.pdf?sequence=1)

### 7.3 CAPÍTULO 3

[8] Definición de sensor según la RAE; url: <https://dle.rae.es/?id=XaY03jU>

[9] Catálogo de distribuidores; URL: [https://www.allsensors.com/catalog-pdf/PC-0003\\_Rev\\_H\\_web.pdf](https://www.allsensors.com/catalog-pdf/PC-0003_Rev_H_web.pdf)

[10] [11] Figura obtenida del catálogo de la web bangood; url: <https://www.banggood.com/search>

[12] Foto del portal web Aemet; URL: [www.aemet.com](http://www.aemet.com)

[13] Foto del portal web Sigpac; URL: <http://www.sigpac.jcyl.es/visH5-1905/>

[14] [15] [16] [17] DHT22 SENSOR; URL: <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>



- [18] Filtrar sonido; <https://www.megunolink.com/articles/coding/3-methods-filter-noisy-arduino-measurements/>
- [19] [20] Sensor de humedad; URL: <https://www.seeedstudio.com/Grove-Moisture-Sensor.html>
- [21] IOT figura; URL: <https://www.iot-now.com/2015/12/02/39616-lora-looks-good-to-go/>
- [22] Empresa ESPRESIF <https://www.espressif.com/en/company/about-us/milestones>
- [23] Placa TTGO; URL: [www.banggood.com](http://www.banggood.com)

## 7.4 CAPÍTULO 4

- [24] Servidor THINGSPEAK; URL: [https://thingspeak.com/pages/license\\_faq](https://thingspeak.com/pages/license_faq)
- [25] Plataforma actuador; URL: <https://ifttt.com/discover>
- [26] Protocolos de seguridad LORA; URL: <https://www.centennialsoftwaresolutions.com/blog/deveui-appeui-joineui-and-appkey>
- [27] CARCASA ESP32; URL: <https://www.yeggi.com/q/esp32+oled/>

## 7.5 CAPÍTULO 5

Tecnología para sensores NPK.

- [28] <http://ajast.net/data/uploads/4ajast-10.pdf>
- [29] [https://www.ispag.org/abstract\\_papers/papers/abstract\\_1035\(0\).docx](https://www.ispag.org/abstract_papers/papers/abstract_1035(0).docx)
- [30] [https://www.researchgate.net/profile/Anoop\\_Srivastava7/post/soil\\_nutrient\\_sensors/attachment/59d6273779197b8077985841/AS%3A323548021755907%401454151267665/download/1101.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anoop_Srivastava7/post/soil_nutrient_sensors/attachment/59d6273779197b8077985841/AS%3A323548021755907%401454151267665/download/1101.pdf)
- [31] [https://midwestlabs.com/wp-content/uploads/2017/01/agronomy\\_handbook1.pdf](https://midwestlabs.com/wp-content/uploads/2017/01/agronomy_handbook1.pdf)

## 7.6 CAPÍTULO 6

- [32] Kolbans Book; URL: [https://handsontec.com/pdf\\_learn/kolban-ESP32.pdf](https://handsontec.com/pdf_learn/kolban-ESP32.pdf)
- [33] Record mundial LORA; URL: <https://www.thethingsnetwork.org/article/ground-breaking-world-record-lorawan-packet-received-at-702-km-436-miles-distance>



## PARTE II

### CAPÍTULO 1: ESTUDIO ECONÓMICO.

El estudio de mercado durante varios años muestra un claro problema de la tecnología: su amortización. Y esto está estrechamente ligado a la rapidez con que evoluciona la tecnología y al hecho de que hay que estar preparado para el cambio y su actualización.

Como base de desarrollo económico, habría que empezar ofreciendo un producto que implique pocos gastos, enfocado a resolver preguntas puntuales de los agricultores y que poco a poco demuestre que puede reducir los costes de producción e, incluso, aumentar la misma producción.

En España la empresa agrícola soporta muchos gastos fijos respecto a una producción aleatoria. Tal ha sido el impacto económico que se ha resuelto a través de subvenciones que básicamente aseguran un básico nivel de vida al agricultor. Por tanto, el modelo de negocio basado en un paquete cerrado de servicios no se hace ganar la confianza de los agricultores, por otro lado, una sociedad eminentemente conservadora en su planteamiento.

Debido a ello, hay que seguir un modelo de negocio escalonado, de menos a más, para ir dando servicio y ganando con su utilidad, la confianza entre los agricultores.

Para un modelo de negocio funcional y que tenga sentido, hay que ofertar algo útil y que se pueda permitir todo agricultor. El prototipo inicial, sería una probeta que se pueda insertar manualmente en el terreno, o en una muestra, acompañado de una varilla que se pueda clavar a gran profundidad para que el agricultor pueda obtener datos a cualquier profundidad. La idea es que el agricultor que vaya en un tractor y quiera obtener datos cuando pasa por ciertos puntos, la probeta se comunique a través de una aplicación vía Bluetooth/ o cable. El coste de este producto sería de 100€ para comenzar con la oferta a los agricultores.

En este punto solo se está invirtiendo en sensores y en una plataforma web ya que los módulos han asentado su precio en el mercado y no están expuestos a grandes oscilaciones.

Probeta compuesta por:

Sensores.

Batería/bluetooth ó cable.

Carcasa.

El siguiente punto sería ofertar lo mismo, pero, esta vez, creando un modelo automatizado nodo a nodo. Este siguiente punto solo se ofertaría tras el éxito de implantación del primer producto-modelo ofertado. De esta forma, el agricultor que ya ha obtenido estos datos, con la probeta manual, querrá ir al siguiente nivel de obtener los datos automatizados y tener una perspectiva más visual del terreno. Este modelo se puede ofrecer en 3 extensiones. Y se puede ofrecer en paralelo (subcontratando) un estudio del terreno supervisado, ofreciendo unas conclusiones trimestrales.

- Cuando se dice 3 extensiones, nos referimos a la extensión del terreno:



- Para 100 hectáreas tendríamos un servicio mensual de 200 euros.
- Para una extensión de 500 hectáreas tendríamos un servicio de 800 euros al mes
- Mientras que para una extensión de 10.000 hectáreas como podría ser una cooperativa o una organización, sindicato, etc por lo que supondría un servicio de 14.000 euros mensuales.

Para terminar, el modelo final que se propone, sería conectar la instalación al sistema (bombas de riego) maquinaria, incluir drones, dotar al campo de paneles solares, e incluso, si se llega a mantener el rendimiento de las parcelas en unos parámetros determinados, a través de esta tecnología y, siempre y cuando, estuvieran libres de compromisos políticos, proponerlo como modelo de inversión a los fondos de inversión. Esta fase de proyecto iría bajo pedido y previo acuerdo de proyecto a largo plazo (30 años). Estableciendo rentas a partir de producciones en el campo.

En la siguiente página se muestra una simulación, un tanto pesimista/real, con un precio que para un agricultor de regadío puede entrar dentro del modelo de negocio, aunque para un agricultor de secano puede resultar caro.



TIPO	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑO5	AÑO6	AÑO7	AÑO8	AÑO9	AÑO10	AÑO11	AÑO12	AÑO13	AÑOSRESTANTES	TOTAL:
SERVIDOR	-5000	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-12200
PRODUCCION	-5000	-7600	-7600	-7600	-7600	-3950	-3950	-3950	-3950	-3950	-3950	-3950	-3950	-3950	-67000
GASTOSEMPRESA	-4800	-7200	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-4800	-64800
Publicidad	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-65000
VENTAS	10000	30000	40000	50000	50000	30000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	385000
TOTALparteI	-9800	9600	12200	32000	32000	15650	10650	10650	10650	10650	10650	10650	10650	10650	166200
ACOMULADO		-200	12000	44000	76000	91650	102300	112950	123600	134250	144900	155550	166200		
prototipo parteII				-10000											
PEDIDOSRECHECTARES					-16000	-48000	-64000	-80000	-80000	-48000	-40000	-40000	-40000	-40000	-456000
GANANCIASAMORTIZADASANOSI					4400	17600	22000	57200	79200	88000	85800	79200	68200	68200	501600
GANANCIASrecomendaciónestratégica					400	1600	3200	5200	7200	8400	9400	10400	11400	11400	57200
RESTANTAEganaciasDEANOSmortizados														112200	112200
PUBLICIDAD				-10000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-5000	-55000
Gastosempresa				-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-1000	-11000
TOTALparteII				-11000	-17200	-34800	-44800	-23600	400	42400	49200	43600	33600	111200	149000
															0
															0
TOTALparteIparteII	-9800	9600	12200	21000	14800	-19150	-34150	-12950	11050	53050	59850	54250	44250	277400	481400
ACOMULADOparteIparteII		-200	12000	33000	47800	28650	-5500	-18450	-7400	45650	105500	159750	204000	481400	

Tabla 3: Estudio económico



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

