

Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales

Tesis de Maestría en Tecnologías de la Información

**“Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de
monitoreo de una cámara de germinación
hidropónica”**

Autor: Lic. Rubén Ricardo Urquijo

Director: Dr. Marcelo Julio Marinelli

Año 2022

"Todo es muy difícil antes de ser sencillo."

Thomas Fuller

Dedicatorias:

A la memoria de mi hermano, Dr. Julián Antonio Urquijo.

A mi angelito,

que un 23 de septiembre de 2018, quiso salir de la panza y partir rumbo al cielo.

A mi familia,

por su apoyo, sacrificio y empuje incondicional, en el comienzo de mis estudios.

A mi compañera de viaje Verónica y los pequeños Giovanna y Bruno,

por regalarme amor, ternura y sonrisas imborrables a pesar de mis ausencias.

A mis sobrinos,

por ser la compañía necesaria para despejar la mente, en momentos de quedo y atasco.

Resumen

Los productores de hortalizas de la Provincia de Misiones utilizan métodos de siembra directa para la obtención de plantines y su posterior trasplante en canteros. Este sistema produce un importante desperdicio del rendimiento de germinación de las semillas y una reducción del tamaño de los plantines que compiten entre sí dada su proximidad.

El cultivo sin tierra, denominado hidropónico, es una alternativa a la producción tradicional que tiene ventajas en lo que hace al proceso de producción de hortalizas, debido a que se puede tener un mayor control de las variables que afectan al proceso de desarrollo y crecimiento de las plantas, evita la posible contaminación producida por el suelo y además se tiene preciso control de los nutrientes necesarios para una producción exitosa.

El trabajo propone diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo del estado de una cámara de germinación de cultivos hidropónicos. Mediante la utilización de una cuenta de correo electrónico y la red social Twitter, la aplicación recibe la consulta y mediante unos controles, tomando los valores de los sensores de humedad y temperatura conectados al hardware, prepara y envía la respuesta a la cuenta que inició la consulta.

Palabras claves: *Hidroponía, Internet de las Cosas, Servicios Web, E-Mail, Twitter, Raspberry Pi.*

Abstract

Vegetable producers in the Province of Misiones use direct seeding methods to obtain seedlings and their subsequent transplantation in flowerbeds. This system produces a significant waste of seed germination yield and a reduction in the size of the seedlings that compete with each other given their proximity.

Soilless cultivation, called hydroponics, is an alternative to traditional production that has advantages in terms of the vegetable production process, due to the fact that it is possible to have greater control of the variables that affect the process of development and growth of vegetables. Plants, avoids possible contamination produced by the soil and also has precise control of the nutrients necessary for successful production.

The work proposes to design, develop and implement a control and monitoring system of the state of a germination chamber for hydroponic crops. By using an email account and the Twitter social network, the application receives the query and through some controls, taking the values of the humidity and temperature sensors connected to the hardware, prepares and sends the response to the account that initiated the query. inquiry.

Keywords: *Hydroponics, Internet of Things, Web Services, E-Mail, Twitter, Raspberry Pi.*

Agradecimientos:

A mi tutor, Marcelo por haberme dedicado su tiempo y brindado su conocimiento para el desarrollo del presente trabajo.

A mis compañeros de Maestría, especialmente a mi grupo de estudio, con los cuales fuimos superando cada uno de los desafíos.

A los docentes de la maestría, tanto de la UNNE como a los de la UNaM, sobre todo a quienes hicieron posible que, con la creación de la Maestría en Tecnologías de la Información, pudiéramos seguir perfeccionándonos sin estar lejos de nuestras familias.

A mis equipos de cátedra y de investigación, por el aguante y la paciencia.

A la UNaM que me ha formado como alumno y brindado la posibilidad de comenzar mi carrera como docente. Allí tengo amigos, colegas y gente que, sin duda, ha marcado mi vida.

Al excelente grupo humano de la Dirección de Coordinación General del Parque de la Salud de la Provincia de Misiones, en su directora Farm. Natalia Rodríguez y su grupo de colaboradores Pía, Javier, Cristian y Manuel por haberme dado una mano cuando más lo necesitaba y recibirme con los brazos abiertos.

Al personal del Digesto Jurídico de la Provincia de Misiones.

A los amigos que siempre están.

A todos los que de alguna manera, aportaron su granito de arena para la culminación de este trabajo.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Índice

Capítulo 1: Introducción.....	17
Capítulo 2: Estado del Arte	25
2.1 Hidroponía	25
2.1.1 Características	26
2.1.2 Antecedentes históricos de la hidroponía.....	27
2.1.3 Clasificación de los sistemas de cultivos hidropónicos	30
2.1.4 Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos	31
2.1.5 Proceso de germinación y ostensión de las plantas.....	35
2.1.6 Métodos hidropónicos	37
2.1.7 Nutrientes	41
2.1.8 Condiciones ambientales.....	47
2.1.9 Resumen.....	52
2.2 Cámara de germinación hidropónica	52
2.2.1 Materiales	53
2.2.2 Selección de la especie.....	54
2.2.3 Sistema de raíz flotante	54
2.2.4 Unidad de Control	56
2.3 Raspberry Pi.....	56
2.3.1 Características y Modelos	56
2.3.2 Historia.....	61
2.3.3 Versiones y Características	63
2.3.4 Raspbian	69
2.4 Internet de las Cosas	73
2.4.1 Origen.....	74
2.4.2 Elementos de la IoT.....	76
2.4.3 Beneficios.....	78
2.4.4 Desventajas.....	79
2.4.5 Riesgos	80
2.4.6 Aplicaciones	81
Capítulo 3: Selección de herramienta.....	87
3.1 Grandes Plataformas	87
3.1.1 ORBCOMM	87

3.1.2 Amazon Web Services (AWS).....	94
3.1.3 Google Cloud IoT.....	104
3.1.4 Otras plataformas	107
3.2 Herramientas	112
3.2.1 IoTIFY.....	113
3.2.2 WebIOPi.....	116
3.2.3 Node-RED.....	117
3.2.4 Windows 10 IoT Core	122
3.2.5 OpenHAB.....	124
3.3 Conclusiones	125
Capítulo 4: Desarrollo e implementación.....	129
4.1 Preparación del Entorno de Desarrollo	129
4.1.1 Creación de las cuentas de correo electrónico y Twitter.....	129
4.1.2 Instalación de Raspbian y configuración de Node-RED.....	133
4.1.3 Configuración Inicial del Sistema Operativo	135
4.2 Configuración del entorno para desarrollar el modelo propuesto.....	138
4.2.1 Prueba de conexión del modelo utilizando el correo electrónico.....	138
4.2.2 Prueba de conexión del modelo utilizando la cuenta de Twitter.....	144
4.2.3 Términos de búsqueda.....	148
4.3 Desarrollo de la aplicación	149
4.4 Implementación y pruebas	158
4.4.1 Pruebas realizadas con términos de búsqueda incorrectos.....	158
4.4.2 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor interno (<i>ES_IN</i>).....	160
4.4.3 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor externo (<i>ES_OUT</i>)....	162
4.4.4 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor de nutrientes (<i>ES_NUTRI</i>)	163
4.4.5 Pruebas realizadas para obtener los datos de todos los sensores (<i>ES_ALL</i>).	164
4.5 Resultados	165
Capítulo 5: Conclusiones.....	171
5.1 Conclusiones	171
5.2 Limitaciones detectadas	172
5.3 Futuras líneas y trabajos de investigación	173
Bibliografía.....	175

Índice de Figuras

Figura 1 - Método de siembra directa.....	26
Figura 2 - Jardines Colgantes de Babilonia.	28
Figura 3 - Método Almacigo.	36
Figura 4 - Germinación por raíz flotante	37
Figura 5 - Estructura horizontal.....	38
Figura 6 - Estructura de Manga o Vertical	39
Figura 7 - Sistema de raíz flotante.....	39
Figura 8 - Canasta para las raíces	40
Figura 9 - Sistema NFT	40
Figura 10 - Disponibilidad de nutrientes en función del pH	46
Figura 11 - Espectro visible.....	48
Figura 12 - Curvatura del tallo por fototropismo	49
Figura 13 - Rendimiento de lámparas de acuerdo a la potencia.....	50
Figura 14 - Cámara de Germinación	53
Figura 15 - Placa de polietileno expandido con soportes de espuma fenólica para el depósito de semillas.....	55
Figura 16 - Espuma fenólica pre moldeada	55
Figura 17 - Diagrama en bloques del sistema de control de la cámara de germinación	56
Figura 18 - Una placa Raspberry Pi.....	57
Figura 19 - Puertos de Entrada/Salida de Propósito General (GPIO)	58
Figura 20 - Raspberry Pi Modelo A	60
Figura 21 - Placa Raspberry Pi 1 Modelo A+.	64
Figura 22 - Placa Raspberry Pi 1 Modelo B+.....	65
Figura 23 - Placa Raspberry Pi 2 Modelo B.....	66
Figura 24 - Placa Raspberry Pi Zero	67
Figura 25 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo B.....	67
Figura 26 - Placa Raspberry Pi Zero W.....	68
Figura 27 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo B+.....	68
Figura 28 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo A+	69
Figura 29 - Logo de Raspbian	71
Figura 30 - Entendiendo el Internet de las Cosas	74
Figura 31 - Internet de las Cosas	75

Figura 32 - Ejemplos de aplicaciones IoT: Ciudades inteligentes.....	82
Figura 33 - Kit de herramientas IoT de ORBCOMM	91
Figura 34 - Servicios de AWS IoT	102
Figura 35 - Arquitectura de referencia de Google Cloud	105
Figura 36 - IoTIFY en el desarrollo IoT	114
Figura 37 - Nodos conectados utilizando Node-RED	118
Figura 38 - Editor de Node-RED.....	122
Figura 39 - Panel de Windows 10 IoT Core	124
Figura 40 - Canales de comunicación de OpenHAB.....	125
Figura 41 - Creación de la cuenta de correo	130
Figura 42 - Pantalla principal de Twitter	130
Figura 43 - Formulario de creación de cuenta en Twitter	131
Figura 44 - Pantalla de confirmación de e-mail en Twitter	132
Figura 45 - E-mail enviado desde Twitter para comprobación	132
Figura 46 - Pantalla principal de Twitter	133
Figura 47 - Imágenes para descargar el SO para Raspberry Pi	134
Figura 48 - Instalación del SO mediante el uso de Win32DiskImager	134
Figura 49 - Escritorio del SO Raspbian.....	136
Figura 50 - Menú desplegado del SO Raspbian	136
Figura 51 - Pestaña “Sistema” de la configuración de Raspberry Pi.....	137
Figura 52 - Pestaña “Interfaces” de la configuración de Raspberry Pi	138
Figura 53 - Configuración de nodos de correos electrónicos	140
Figura 54 - Intento de acceso a través de la aplicación	141
Figura 55 - Pantalla principal de la configuración de la cuenta de Google.....	142
Figura 56 - Pantalla de la opción “Seguridad” de la cuenta de Google.....	142
Figura 57 - Permitir el acceso para aplicaciones poco seguras a la cuenta de Google.	143
Figura 58 - Modelo de prueba para conectar la aplicación de Node-RED con el correo electrónico.....	143
Figura 59 - Intercambio de correos entre un usuario y la aplicación en Node-RED....	144
Figura 60 - Configuración de nodos de Twitter	145
Figura 61 - Configuración de las credenciales de Twitter en Node-RED	146
Figura 62 - Panel del Portal de Desarrolladores con las claves generadas.....	146
Figura 63 - Prueba de Envío de Tweet	147
Figura 64 - Lectura de tweet por parte de la aplicación	148

Figura 65 - Inicialización de variables de Contexto de Flujo.....	151
Figura 66 - Inicialización de variables para la respuesta del correo.....	152
Figura 67 - Configuración del nodo “Switch” conectado a la salida del nodo de Twitter	152
Figura 68 - Configuración de las opciones para correo y Twitter	153
Figura 69 - Configuración de respuesta cuando no coincide el término de búsqueda .	154
Figura 70 - Conexión entre los términos de búsqueda y los sensores	155
Figura 71 - Obtención de datos provenientes del sensor DHT22 interno y definición de variables para el armado de la respuesta.....	156
Figura 72 - Preparación de la respuesta a enviar mediante el correo electrónico	156
Figura 73 - Modelo completo de la solución propuesta para monitorear el estado de la cámara hidropónica.....	157
Figura 74 - Prueba de Twitter con términos erróneos	159
Figura 75 - Prueba de correo electrónico con términos erróneos	160
Figura 76 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_IN”	161
Figura 77 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_IN”	161
Figura 78 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_OUT”	162
Figura 79 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_OUT”	163
Figura 80 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_NUTRI”	163
Figura 81 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_NUTRI”	164
Figura 82 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_ALL”	165
Figura 83 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_ALL”	165
Figura 84 - Lectura errónea de los datos del sensor interno.....	166
Figura 85 - Nivel bajo del sensor de nutrientes	166
Figura 86 - Prueba de lectura con término de búsqueda en minúscula	167
Figura 87 - Lista de los distintos servidores de correo que fueron utilizados	167

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Índice de Tablas

Tabla 1 - Macronutrientes esenciales.	42
Tabla 2 - Micronutrientes esenciales.	42
Tabla 3 - Coeficientes de temperatura entre 25 y 50° C	44
Tabla 4 - Concentración de nutrientes	47
Tabla 5 - Porcentaje de distribución de la luz	51
Tabla 6 - Temperatura de color	51
Tabla 7 - Clasificación científica de la especie seleccionada	54
Tabla 8 - Características técnicas de las placas Raspberry Pi	70
Tabla 9 - Precios de aREST Framework	109

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 1

Introducción

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 1: Introducción

Actualmente, el trabajo y la vida cotidiana abarcan mucho de nuestro tiempo y con la incorporación de las nuevas tecnologías, dispositivos móviles y comunicaciones, muchas de las tareas cotidianas se hacen con estos elementos, donde se han podido acortar en tiempo y realizarse de manera más eficiente. El constante avance de la ciencia y tecnología ha llevado a un sinnúmero de innovaciones en distintos ámbitos, como ser la astronomía con la incorporación de mejoras en el desarrollo de telescopios, medicina con la incorporación de distintos elementos y robots para las cirugías, entre otros. Cada una de estas mejoras incorporadas a nuestra vida cotidiana, ha sido gracias al explosivo desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

En este trabajo final de Maestría se propone desarrollar e implementar, sobre una cámara de germinación de cultivos hidropónicos, un sistema para realizar el control y monitoreo de su estado, en cuanto a los valores que arrojan las variables que son de suma importancia para el manejo de esta clase de cultivos. Estas variables son la humedad y la temperatura dentro y fuera de la cámara, además de conocer si el nivel de nutrientes es bueno para luego pasarlo hacia los plantines.

1.1 Descripción del problema y justificación

El cultivo hidropónico se practica desde hace varias décadas, y está demostrado que los plantines crecen de manera más rápida, están menos expuestos a enfermedades y se ensucian mucho menos. Puede considerarse como un tipo de cultivo especial en el que el sustrato tradicional, a base de tierra, ha sido sustituido por otro formado por agua o material sólido inerte, a base de arcillas o arenas, en el que se disuelven los nutrientes que la planta necesita para crecer.

Los plantines que son cultivados en la cámara de germinación hidropónica utilizada en este trabajo, tienen aproximadamente entre 30 y 40 días de cuidados y controles constantes para que logren un correcto desarrollo. En un invernadero, hay personas que dedican su tiempo para realizar estos cuidados y controlar que los plantines se desarrollen adecuadamente. Sin embargo, pueden existir factores ajenos, como el corte de suministro eléctrico o el tapado de una bomba, que pueden echar a perder el trabajo de varios meses

de cuidado, sumado a esto la pérdida de dinero y tiempo invertido que conlleva tal situación.

Es por ello, que ante estos posibles inconvenientes, se surge la necesidad de poder realizar los controles de las variables importantes, utilizando la tecnología con el cual poder consultar su estado en tiempo real y poder realizar acciones que permitan que los plantines pueden seguir con su desarrollo normal.

Con este trabajo, se pretende automatizar el control de las variables consideradas críticas para los cultivos hidropónicos sin estar físicamente presente (realizando mediciones y controles de forma manual) y desde cualquier lugar mediante el uso de un dispositivo con acceso a internet, mediante el uso de una cuenta de correo electrónico o una cuenta de Twitter.

1.2 Objetivos

Este trabajo final de Maestría busca desarrollar e implementar una solución automática para poder controlar y monitorear el estado de una cámara de germinación de cultivos hidropónicos, agregando funcionalidad de Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*).

La idea principal es poder interactuar, mediante el uso de un software especial para IoT, con el controlador que obtiene información de los sensores de temperatura, humedad y nivel de nutrientes de la cámara, utilizando la comunicación con la misma vía Twitter y *E-mail* para la obtención de los valores al instante de la medición de dichas variables.

Principalmente se propone:

- Evaluar distintas plataformas para la generación de sistemas IoT y seleccionar la más acorde para el desarrollo del presente trabajo.
- Crear las cuentas de correo electrónico y de Twitter para la recepción de las consultas.
- Segurizar las cuentas creadas previamente.
- Desarrollar los módulos de software para la captura de datos de los sensores de temperatura, humedad y el nivel de nutrientes.

- Definir la arquitectura que tendrá el sistema IoT.
- Desarrollar el sistema IoT integrando los módulos de software y verificando la comunicación con las cuentas de correo y de Twitter creadas.

1.3 Plan metodológico

La investigación que se lleva adelante en este trabajo, es del tipo “Aplicada” y su esquema se encuentra definido por las siguientes etapas:

- **Búsqueda bibliográfica:** Como primera medida, se realiza una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de generar una base de conocimiento en relación a las temáticas que se expresan en este trabajo. Entre los distintos recursos a utilizar, se destacan: sitios web de organizaciones con trayectoria, sitios web institucionales, motores de búsqueda académicos, como también las consultas con expertos en las diferentes temáticas.
- **Redacción del marco teórico:** con la información y los recursos obtenidos y generados en la etapa anterior, se muestra cómo se encuentra en la actualidad el estado de las cuestiones que luego son abordadas en el trabajo, primordialmente en lo que se refiere a hidroponía y la cámara de germinación, Raspberry Pi y el sistema operativo Raspbian e Internet de las Cosas.
- **Situación actual:** en esta etapa, se realiza un análisis en profundidad de la cámara de germinación a utilizar y, finalmente, se hace un resumen de las distintas situaciones que fueron detectadas para ser mejoradas.
- **Selección de la herramienta:** el objetivo de esta etapa es relevar las distintas herramientas, métodos y recursos disponibles en el mercado para el desarrollo y la implementación de IoT en la cámara de germinación.
- **Desarrollo e implementación:** Luego de la etapa anterior y una vez seleccionada la herramienta adecuada para el desarrollo de la solución que se propone en este trabajo, se comienza con el modelado y desarrollo de la solución propuesta. Una vez finalizada la etapa de desarrollo, se implementa la solución en la cámara de germinación para verificar el funcionamiento

con respecto a la consulta de los valores por medio de un correo electrónico o por la red social Twitter.

- Validación de los resultados: luego de la implementación de la solución, se evalúa e implementa un esquema de validación consistente, principalmente referido a la comunicación de la solución con diferentes servidores de correo, diferentes cuentas de Twitter y el tiempo de respuesta brindado luego de recibida la consulta, en concordancia con lo relevado en el marco teórico.
- Redacción del informe final: en esta etapa se redacta el informe final del trabajo de Maestría, en el cual se detalla el proceso de la investigación llevada a cabo para luego exponer los resultados obtenidos. Luego se procede con la discusión y las conclusiones obtenidas a partir de los resultados y validación realizada. Como punto final, el informe se presenta para la evaluación por parte del comité que sea definido a tal efecto por la cátedra.

1.4 Área de conocimiento disciplinar

Principalmente los temas centrales que se abordan en el presente trabajo son: tecnología web y *web services*, procesamiento de señales y sistemas en tiempo real ya que los datos deben ser obtenidos y enviados al momento de la lectura de los valores de los sensores, y agro procesos aplicados a la biología vegetal. Por lo que este trabajo es multidisciplinar ya que abarca varias áreas de conocimiento de distintas ciencias, como son la informática y la biología.

1.5 Contexto del presente trabajo

El presente trabajo ha sido desarrollado para obtener el título de “Magister en Tecnologías de la Información”. Asimismo, este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación Código 16Q621 – “Automatización de Sistemas de Cultivos Hidropónicos”, dirigido por el Dr. Marcelo Marinelli. Además, es un complemento a la Tesis Doctoral realizada por el Dr. Marinelli, denominada “Control Automatizado de cultivos hidropónicos mediante lógica difusa”.

El tema escogido se encuentra incluido en las líneas de investigación del Instituto de Investigación, Desarrollo e Innovación en Informática (IIDII) de la Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones.

1.6 Recursos utilizados

Los recursos que fueron utilizados para la realización del presente trabajo, son:

- Sistema de cultivo hidropónico tipo NFT vertical.
- Cámara de germinación con control difuso.
- 2 (dos) sensores de humedad y temperatura DHT22.
- 1 (un) sensor Ultra sonido para el control de nivel de nutrientes HTC-04.
- 2 (dos) placas Raspberry Pi con conexión a internet con IP fija.
- UPS y protector electrónico de tensión de conectividad a internet.

1.7 Estructura del documento

Este documento se encuentra dividido en cinco capítulos. Primeramente, en el capítulo 1 se brinda una descripción del problema, la justificación del trabajo, objetivos y la elección del caso de estudio. En el capítulo 2 se presenta el marco teórico que fue utilizado como base para el desarrollo del trabajo, abarcando temas como hidroponía y sus características, la parte teórica de la cámara de germinación hidropónica utilizada junto con la especie de los plantines utilizados, la historia y los modelos de la placa Raspberry Pi y el sistema operativo Raspbian y, para finalizar, algunos antecedentes sobre Internet de las Cosas (IoT).

En el capítulo 3, se describen las distintas herramientas que se tuvieron en cuenta para buscar la mejor alternativa para el desarrollo del presente trabajo. Primeramente se enumeran cuáles son las grandes plataformas existentes en el mercado para brindar soluciones IoT a grandes escalas, luego se mencionan las herramientas que hay disponible para realizar el desarrollo de una solución IoT. Se evalúan las distintas alternativas y se escoge la que más se ajusta a lo necesario para llevar adelante este trabajo. A continuación, en el capítulo 4 se ofrece el diseño, desarrollo, implementación y las

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

pruebas realizadas, de la solución IoT para poder controlar y monitorear la cámara de germinación hidropónica.

Finalmente, en el capítulo 5 se resumen las principales conclusiones en contraste con los objetivos que fueran establecidos, limitaciones encontradas a la hora de realizar la implementación y puesta en marcha, y las futuras líneas de investigación que pueden llevarse a cabo.

Capítulo 2

Estado del arte

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 2: Estado del Arte

En el presente capítulo, mencionaremos los aspectos más importantes de cada uno de los temas que se tratarán en el presente trabajo. Comenzaremos dando una breve descripción sobre la hidroponía y las distintas características y cuidados que deben realizarse a los cultivos hidropónicos (Sección 2.1) dando paso a la composición y funcionamiento de la cámara de germinación hidropónica (Sección 2.2). También se mencionarán las características del hardware que se encuentra montado sobre la cámara hidropónica, Raspberry Pi (Sección 2.3) y el sistema operativo que trae instalado, Raspbian. Por último (Sección 2.4), se mostrarán los conceptos y características que se abordan acerca lo que se conoce como Internet de las cosas (IoT, *Internet of Things* por sus siglas en inglés).

2.1 Hidroponía

La hidroponía puede considerarse como un conjunto de técnicas que permitirá el cultivo de plantas sin suelo. Puede permitir en estructuras simples o complejas, la producción de plantas (principalmente, de tipo herbáceo) aprovechando sitios o lugares como azoteas, invernaderos climatizados, suelo infértiles, etc. [1] Por medio de una solución de nutrientes aportan el alimento que se necesario para el desarrollo de las plantas. Los elementos químicos esenciales se diluyen en agua y son transportados por diversas técnicas a los soportes de las plantas. El término hidroponía deriva del griego *Hydro* (agua) y *Ponos* (labor o trabajo) [2]. A partir de este concepto, se han desarrollado técnicas que se sustentan en sustratos (medios para sostener a las plantas) o sistemas que aportan soluciones de nutrientes, ya sea de manera estática o circulante, sin perder de vista las necesidades básicas de la planta, como ser humedad, temperatura, agua y nutrientes.

El actual desarrollo de la técnica para realizar cultivos hidropónicos, se encuentra basada en el uso de un espacio mínimo, mínimo consumo de agua y maximizar producción y calidad [1].

2.1.1 Características

Cuando se emplea esta técnica de cultivo, las raíces absorben una solución rica en nutrientes, necesarios para su crecimiento, y concentraciones equilibradas diluida en agua. Dicha solución dispone de todos los elementos químicos necesarios para que la planta tenga un correcto desarrollo. De esta manera, la planta podrá crecer en una solución mineral únicamente, o en un medio inerte, como ser arena, fibra de coco o lana de roca, entre otros [3].

En condiciones normales, el suelo es quien actúa como reserva de nutrientes minerales, pero el suelo en sí no es esencial para el crecimiento de la planta. Cuando los nutrientes minerales que posee la tierra se diluyen en agua, las raíces son capaces de absorberlo. Cuando estos nutrientes son incorporados dentro del suministro de agua de la planta, ya no es necesario el suelo para que la planta se desarrolle y crezca. Con esto, cualquier planta que se cultiva por el método de siembra directa (Figura 1), puede cultivarse también mediante la utilización de la hidroponía, aunque haya algunas que puedan crecer con mayor celeridad y mejores resultados que otras.

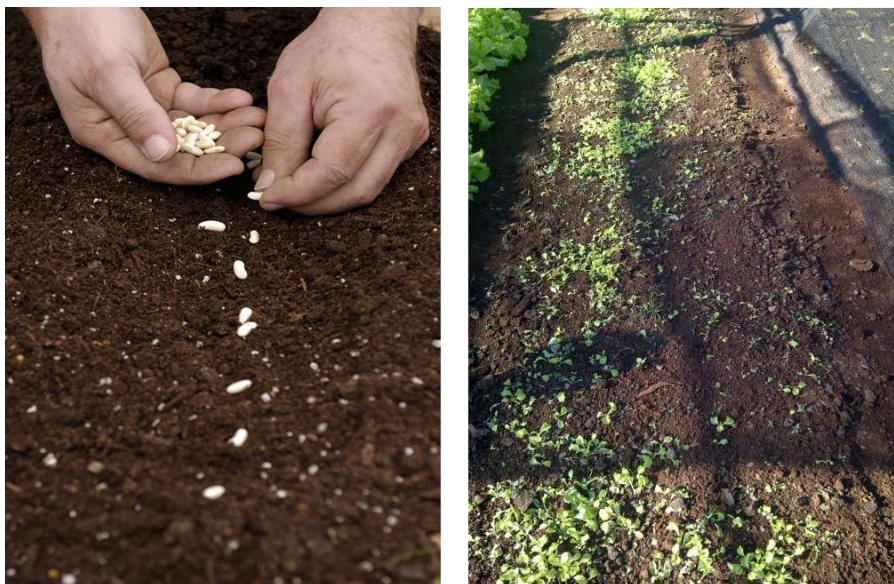


Figura 1 - Método de siembra directa [Fuente Propia]

En la actualidad, esta actividad está teniendo un gran auge en países donde las condiciones para la agricultura resultan desfavorables. Combinando ésta técnica con un buen manejo de invernadero, es posible alcanzar rendimientos muy óptimos con relación a los que se pueden obtener en cultivos a cielo abierto.

Es una manera simple, sencilla y de un costo muy bajo para producir vegetales de rápido desarrollo y, por lo general, ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala, se usan los recursos y medios que las personas tienen a mano, como ser materiales de desecho, espacios inutilizables y tiempo libre.

La hidroponía ha conseguido estándares comerciales y algunos alimentos, plantas decorativas y jóvenes plantas de tabaco se cultivan de esta manera, debido en gran parte a la falta de suelos adecuados, suelos contaminados que pueden producir enfermedades a las plantas o la utilización de aguas subterráneas que degradan la calidad de los suelos.

Cuando no se utiliza el suelo como lugar de crecimiento de la planta, no se cuenta con el efecto amortiguador que brinda el suelo agrícola. Sin embargo, también se tiene diversos problemas con la oxigenación de las raíces y no es algo que pueda considerarse limpio a escalas comerciales.

La hidroponía es ideal para personas con tiempo libre que desean divertirse, para trabajos de investigación, para que docentes realicen demostraciones a sus alumnos sobre la esencialidad de distintos elementos químicos, también para quien desee cultivar en un contenedor o tina pequeña, para cultivar en aeronaves espaciales o cultivos en gran escala; aunque se presentarán distintos niveles de complejidad, sobre todo si se desea que sea una actividad económica y tenga un impacto ambiental bajo [3].

2.1.2 Antecedentes históricos de la hidroponía

Aunque actualmente se esté hablando de la hidroponía como algo novedoso, lo cierto es que esta técnica es bastante antigua. Se cree que comenzó en la antigua Babilonia, con los famosos Jardines Colgantes (Figura 2), conocidos como una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo, en lo que sería, posiblemente, uno de los primeros intentos de cultivar plantas sin suelo con éxito. Estos jardines fueron construidos entre el año 605 a.C. y el 562 a.C., en Babilonia, actual territorio de Irak, y subsistieron hasta el año 126 a.C., cuando la ciudad fue invadida y destruida [1].



Figura 2 - Jardines Colgantes de Babilonia [1].

Los primeras investigaciones documentadas que se realizaron sobre la hidroponía, las hizo el científico belga Jan Van Helmont (1580-1644), quién en el siglo XVII ha demostrado que las plantas obtenían los nutrientes por medio del agua. Para esto, ha realizado una experiencia en la cual ha tomado mediciones de la variación de sustrato y consumo del agua durante un período de 5 años [4]. En cambio, el primer trabajo científico que se ha publicado sobre el cultivo de plantas sin suelo fue de Sir Francis Bacon (1561-1626) en *Sylva sylvarum* [5], a partir del cual se ha comenzado a utilizar esta técnica en investigación [1].

En el año 1699, el naturalista, geólogo y anticuario inglés John Woodward (1665-1728) ha realizado experimentos con plantas que se encontraban sumergidas en agua con distintos tipos de sólidos disueltos, con lo cual demostró que el alimento derivaba de los elementos disueltos en el agua.

En el año 1804, el químico y naturalista suizo Nicolas de Saussure (1767-1845) ha publicado los resultados de las investigaciones llevadas a cabo, en la cual demostraba que las plantas están compuestas de minerales y elementos químicos que se obtienen del agua, aire y tierra [1].

Más tarde, precisamente en el año 1851, el químico francés Jean-Baptiste Boussingault (1801-1887) ha llevado a cabo experimentos con plantas cultivadas en distintos sustratos y ha agregado diferentes soluciones químicas para concluir que el agua es fundamental para el desarrollo de las plantas ya que es un importante proveedor de hidrogeno. Del mismo modo, ha expuesto que la materia seca de las plantas están formadas por hidrogeno más carbono y oxigeno que provienen del aire [6].

En el año 1860, el botánico Julius von Sachs (1832-1897) y el químico Wilhelm Knop (1817-1891), también conocido como “El padre de la cultura del agua”, han

desarrollado la primera fórmula para elaborar una solución de nutrientes que, disolviéndola en el agua, puede ser utilizada para el cultivo de plantas [7].

Los primeros experimentos de cultivos hidropónicos, fuera de un laboratorio, fueron realizados entre 1925 y 1935 por el profesor de la Universidad de California, Dr. William Frederick Gericke (1882-1970), quien logró realizar cultivos hidropónicos a gran escala, señalando su viabilidad comercial [8].

Posteriormente, en el año 1938, el científico Dennis Robert Hoagland (1884-1949) y el bioquímico Daniel Arnon (1910-1994) de la Universidad de California, han publicado “*The water-culture method for growing plants without soil*” en el que proponen una receta para elaborar la solución hidropónica y han destacado que existen otros factores, como la luz que inciden, conjuntamente con los nutrientes, en la efectividad de los cultivos hidropónicos [9].

Una de las primeras implementaciones exitosas de la hidroponía se dio durante la Segunda Guerra Mundial, que tenía por objeto aumentar la producción agrícola para alimentar a los soldados norteamericanos en las islas del Pacífico. El método fue desarrollado por Robert y Alice Withrow, quienes han utilizado un lecho de grava donde se eran vertidas las soluciones de los nutrientes en varios períodos diarios, para luego dejar que se escurra. En la actualidad, a este sistema, se lo conoce como “Sistema de Nutricultura” [10].

En la década del 70, el Dr. Allen J. Cooper ha desarrollado la técnica de cultivo de flujo laminar o, más conocida como, NFT (*Nutrient Film Technique*) [11]. Esta técnica está basada en el bombeo de una solución de nutrientes por medio de tubos de PVC (policloruro de vinilo), en los cuales se realizan unos orificios en los que se insertan soportes similares a una canasta, a los que a su vez, son fijadas las raíces. Esta técnica ha sido difundida por todo el mundo, sobre todo en el cultivo de plantas de ciclo corto, como ser las hortalizas.

El Prof. Perez-Melian ha dicho, en el año 1977, que “*una solución nutritiva es una solución acuosa que contiene oxígeno y todos los nutrientes disueltos.*” [1]. Estos nutrientes pueden ser aportados por sales o fertilizantes comerciales.

En la década del 80, la NASA ha realizado extensivas investigaciones para su CELSS (acrónimo en inglés de *Controlled Ecological Life Support System* – Sistema de Soporte de Vida Ecológica Controlada) bajo la dirección del Prof. Frank B. Salisbury

(1926 - 2015) [12]. El Ejército de los Estados Unidos, luego de la Segunda Guerra Mundial, continuó cultivando verduras hidropónicas en varias de sus bases militares durante varias décadas y aún hoy, siguen empleando esta técnica en muchos lugares del mundo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, conocida como FAO, promociona la hidroponía como una práctica popular para cultivos, publicando diversos documentos cuyo objetivo primordial es el de ayudar a los sectores más vulnerables a combatir la pobreza [13].

En la actualidad, es posible encontrar en los mercados una gran variedad de kits para poder montar un pequeño sistema de cultivos hidropónicos para el hogar, decoración de interior o de paredes con plantas ornamentales.

2.1.3 Clasificación de los sistemas de cultivos hidropónicos

Los cultivos hidropónicos se pueden clasificar de acuerdo a la forma en que son distribuidos los nutrientes a las raíces y por el método de soporte de las raíces.

En cuanto al método de soporte de raíces, se pueden distinguir los métodos con sustrato sólido, formados por materiales orgánicos e inorgánicos. Otras técnicas utilizan soportes blandos, como la espuma de poliuretano para sostener la base del tallo y dejar expuesta a las raíces [14].

Las técnicas de suministro de nutrientes pueden ser de raíz flotante en estanque, por inundación, por circulación de nutrientes o por la mezcla de aire y nutrientes que se echa en las raíces. A la última técnica mencionada, se la conoce como aeroponía. En los sistemas con sustrato sólido, también se pueden utilizar aspersores y riego por goteo.

Los cultivos hidropónicos han evolucionado considerablemente gracias a las formas que tienen de emplearse y al impacto ambiental que provoca. Por un lado, se tienen las de forma abierta, las cuales son aquellas que derraman el efluente, y por otro lado, están las que tienen forma cerrada, que reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en la utilización.

De lo expuesto anteriormente, se puede realizar una distinción entre los sistemas hidropónicos:

1. Cultivos sin sustrato (técnica de la solución nutritiva re circulante NFT, aeroponía), donde los nutrientes se encuentran disueltos en agua, los cuales son llevados directamente para tener contacto con las raíces. En dicho sistema, se permite que el agua con los nutrientes sea aireada o que las raíces y la solución estén en contacto con el aire. Algunos ejemplos de este tipo de sistema hidropónico son NFT o *Nutrient Film Technique*, “Tanque nutritivo”, entre otros.
2. Cultivo en agregado, donde los nutrientes se encuentran disueltos en agua, los cuales son transportados hacia las raíces. Con esta técnica, las raíces están creciendo en un medio sólido inerte capaz de retener la humedad adecuada, drenando el excedente y permitiendo una adecuada aireación. Algunos de los medios sólidos que pueden utilizarse en este tipo de sistema son arena, gravilla, cascarilla de arroz, entre otros. Para los sistemas hidropónicos es de vital importancia que la solución nutritiva tenga todos los elementos necesarios y en la composición justa. Dicha composición dependerá del cultivo y su fenología.

2.1.4 Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos

Los cultivos hidropónicos pueden atender necesidades alimentarias sin pensar en grandes emprendimientos, ya que se pueden lograr estos cultivos en casa, jardín o en azoteas, ya sean flores, hortalizas y pequeños arbustos, lo cual permite obtener productos saludables para el propio consumo y es una buena forma de terapia, ya que ayuda a bajar los niveles de estrés. A continuación, se mencionarán algunas de las ventajas que poseen los cultivos hidropónicos. Pero no todo es color de rosa, también se tiene limitaciones y desventajas que serán citados posteriormente.

2.1.4.1 Ventajas

Con lo expuesto anteriormente, uno puede preguntarse ¿por qué gastar dinero en utilizar sistemas hidropónicos, cuando se puede poner una planta en una maceta con tierra y cultivarla? Puede considerarse a este razonamiento como erróneo ya que existen una gran cantidad de razones por la cual optar por utilizar tecnologías hidropónicas. A continuación, se mencionaran algunas de estas razones.

a. Control de la nutrición.

La primer gran ventaja, y de suma importancia, es que se puede controlar por completo la nutrición de la planta. Sólo los elementos que se coloquen en el agua estarán presentes en la zona de las raíces, con las proporciones elegidas. Se puede controlar la calidad, así como también, la cantidad de nutrientes disueltos en el agua en todo momento.

Hay plantas como los tomates, pimientos y muchas más, que crecen y se reproducen al mismo tiempo, existen un grupo de plantas que poseen una fase vegetativa bien marcada seguida de una etapa de floración y fructificación bien marcada. Estas plantas van a requerir de una nutrición completamente distinta para estas dos etapas. Esto, en tierra, se puede lograr lavando, con abundante agua, repetidas veces. Utilizando la técnica hidroponía, esto se logra con tan solo “vaciar el tanque, llenar el tanque nuevamente”. La solución vegetativa no se descarta; no debería arrojarse al desagüe, sino a las plantas de la casa o al jardín. Este cambio en la composición de la solución nutritiva es una de las razones por las cuales la floración y fructificación van más ligera; una fuerte señal llega a las plantas indicando que es el momento de florecer y, al mismo tiempo, se les ha proporcionado todos los elementos que son necesarios para poder hacerlo.

b. Ahorro de agua.

No hay que malinterpretar esto. Toda planta necesita transpirar cierta cantidad de agua para poder mantener un crecimiento saludable, el rápido crecimiento que ocurre en la hidroponía significa una importante utilización de agua. Sin embargo, toda el agua que se utilizará, proviene de la transpiración de la propia planta. No se desperdicia nada en el suelo ni por evaporación. El ahorro de agua, comparando entre plantas similares que se cultivan en tierra y las que se cultivan utilizando hidroponía, es bastante más eficiente cuando se habla de hidroponía.

c. Ahorro de nutrientes.

De la misma manera, todo el nutriente que se utiliza es absorbido por la planta. Nada se desperdicia en el suelo, por lo que no hay peligro de contaminar el agua. Un crecimiento más rápido y una mejor salud reducen la necesidad de utilizar plaguicidas.

El término plaguicida es inapropiado. Muchas personas piensan que, con su uso, se matan solamente las plagas. Aunque, en realidad, matan una gran cantidad de organismos que son beneficiosos para el desarrollo de la planta. El hecho de que una planta en hidroponía está bien cuidada, crezca rápida y sanamente, permite que su desarrollo

prevalezca por encima del de la plaga, o por lo menos lo minimice. Esto no quiere decir que no se necesite nunca un control de plagas, sino que ésta necesidad se reducirá y se podrán curar con soluciones menos dañinas que la de matar todo ser viviente que se mueva en cercanías a la planta.

d. Acceso a las raíces.

Con esto, resulta muy práctico poder comprobar la salud de las raíces en cualquier momento. En la gran mayoría de los sistemas hidropónicos, se tiene acceso a ellas. Esto permite enfrentar problemas como un posible daño que, si se trata tempranamente, es fácil de curar. Se tendrá información acerca de la salud de la planta y cómo se desarrollará en el futuro.

En la gran mayoría de las plantas medicinales, los principios activos están presentes en las raíces. En algunos casos, los activos que se encuentran en las raíces difieren de los que se encuentran en la parte aérea. Es imposible poder sacarlo sin destruir la planta.

En los sistemas hidropónicos cerrados, las raíces de las plantas están al descubierto y se sumergen en un flujo de nutrientes. Con esto, es posible recoger una gran cantidad de raíces de manera continua sin destruir la planta.

e. No se necesitan herbicidas.

En los canales de plástico o bandejas donde se encuentran depositadas las plantas, no existen márgenes para que crezcan las malas hierbas. La no necesidad de herbicidas y el hecho de que las plagas, al ser detectadas tempranamente, pueden matarse con cuidado, hacen del cultivo hidropónico una tecnología limpia.

f. Aumento de cultivos, tanto en tamaño como en calidad.

Queda en evidencia, que si se mejora la salud general de la planta, aumentará la producción y la cosecha. Los productos que se cultivan hidropónicamente son notablemente más grandes que los mismos cultivados en tierra. Además, yendo al plano nutricional, se han realizado análisis mostrando un gran aumento en las cantidades de contenido, generalmente el doble, tanto de vitaminas como de sales minerales. Esto también es válido para los principios activos de las plantas medicinales.

g. Mejor utilización del espacio.

El lecho de las raíces no tiene que ser tan amplio como en tierra. Las plantas pueden obtener todos los nutrientes necesarios en un pequeño espacio, sin tener que “competir” entre ellas. Con esto, es posible cultivar plantas mucho más juntas unas de otras de lo que se podría hacer utilizando tierra. Esto permite realizar prácticas como el “mar de verde” [10]. En dicha técnica, la densidad de plantas es asombrosa: se pueden alcanzar 60/70 plantas por metro cuadrado.

2.1.4.2 Desventajas

La hidroponía cuenta con algunas desventajas, las cuales son casi imperceptibles, pero que pueden complicar el desarrollo de las plantas.

La primera, y tal vez la más importante, es que las plantas no están protegidas de los errores humanos. El suelo posee una capacidad amortiguadora, es decir que todos los parámetros físicos y biológicos se encuentran en perfecto equilibrio en un suelo saludable. Si se le brinda a las plantas muchos nutrientes, alguna combinación errónea o algo con pH completamente desbalanceado, los microorganismos del suelo, así como también su composición química, tenderán a restablecer el equilibrio. Esto mismo sucede con los cultivos hidropónicos, pero de manera más limitada. La solución nutritiva posee cierta capacidad amortiguadora, en términos de pH especialmente, pero no es comparable con la tierra.

La temperatura también puede considerarse una limitación. De 18°C a 22°C en la parte de la raíz, es el rango en el cual se desarrollan mejor las plantas en hidroponía, aunque pueden tolerar un poco más. Hasta alcanzar los 26°C nada sucede, a partir de ahí, desacelera su crecimiento y, llegando a los 35°C en las raíces, a falta de oxígeno disuelto, comienzan a morirse rápidamente por lo que también mueren las plantas.

Otra limitación es que no es posible cultivar todo tipo de plantas utilizando esta técnica. Todas las raíces o tubérculos, como las zanahorias o papas, todo lo que se cosecha sacando de la tierra, requieren métodos muy especiales, difíciles de lograr.

Hay críticas por parte de la gente, cuando habla acerca de la hidroponía. Las dos principales que se escuchan son que es caro para iniciar, y que es algo antinatural. Es verdad que los sistemas hidropónicos tienen un costo que puede ser elevado, pero en el

cultivo de interior se recupera rápidamente lo invertido. La razón de esto es simple: la energía eléctrica es costosa. Cuando se cultiva bajo luces, se pretende obtener la cosecha tan rápido como sea posible, ya que el consumo total de electricidad es significativo, también para cultivos relativamente chicos. Cuanto más rápido se tenga la cosecha, más bajos van a ser los costos asociados a la producción.

En cuanto a denominar a los cultivos hidropónicos como antinatural, también es discutible. Por ejemplo, cuando un campo entero se siembra con la misma planta, no es natural. La naturaleza es diversidad; por definición todas las formas de agriculturas que se conocen, son prácticas antinaturales, por extraño que esto pueda sonar. Los cultivos hidropónicos, con sus sales minerales y tubos de plásticos, pueden parecer raro a primera vista, pero a final de cuentas no es ni más ni menos antinatural que la agricultura misma.

Existen numerosas islas donde la tierra ha sido maltratada y no puede alimentar a los turistas, países tropicales donde la tierra se encuentra llena de plagas hambrientas, lugares donde la tierra ha perdido la mayor parte de su fertilidad, lugares donde no existe ninguna tierra apta para cultivos. En estos lugares, la hidroponía podría considerarse como una de las soluciones para poder alimentar a las personas sin la necesidad de destruir el medio ambiente. Es un tipo de agricultura que proporciona al hombre, productos alimenticios nutritivos y sabrosos, así como medicinas en lugares donde sería imposible de otra manera. Con esto, su “antinaturalidad” es irrelevante.

2.1.5 Proceso de germinación y ostensión de las plantas

Hay que tener en cuenta que la producción hidropónica, en la gran mayoría de los métodos que se describirán en la Sección 1.1.6, constan de una fase previa que consiste en la germinación de las semillas hasta que las plantas alcancen un tamaño adecuado. Luego de esto, se realiza el trasplante al sistema de cultivo definitivo.

2.1.5.1 Semillas

Para poder obtener óptimos resultados en la producción de plantas, es primordial que las semillas utilizadas sean de buena calidad [15] y cuenten con las siguientes bondades:

- Pureza varietal: el conjunto de semillas deben ser de la misma especie.

- Pureza física: las semillas deben estar limpias, es decir, libre de impurezas.
- Condiciones sanitarias: las semillas no deben tener plagas ni hongos.
- Poder germinativo: las semillas deben tener una efectividad de germinación superior al 80%.
- Vigor: las semillas deben germinar en forma rápida y producir plantas sanas.

2.1.5.2 Germinación por método de almácigo

Para la germinación, pueden utilizarse almácigos (Figura 3) donde las semillas son distribuidas hasta que germinen y se desarrollen las plantas. Luego de que se siembra, se debe regar una o dos veces al día para poder mantener la humedad. Una vez que aparecen los primeros cotiledones, el riego se hace con una solución nutritiva al 50% [16].

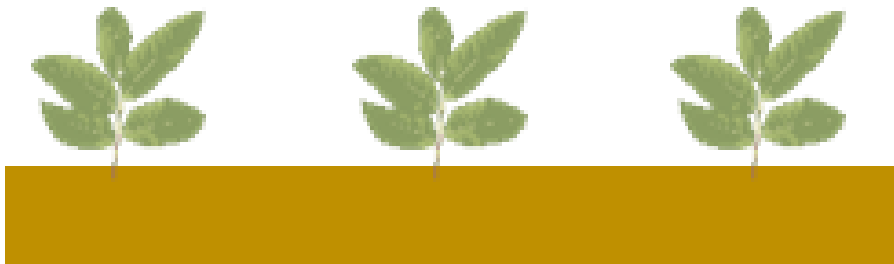


Figura 3 - Método Almácigo [16].

2.1.5.3 Germinación por método de raíz flotante

Otro método, conocido, de germinación de semillas es el de raíz flotante. Esta técnica es la más utilizada para la producción a gran escala y permite realizar un trasplante que provoca menos estrés a las raíces de las plantas. Consiste en una placa de polietileno expandido en el cual se realizan orificios cuadrados de, aproximadamente 1cm^2 , en los que son insertados los cubos de espuma fenólica, tal como se muestra en la Figura 4a. A continuación, en cada cubo se hace una perforación de 0,5cm de profundidad, aproximadamente, y allí son depositadas las semillas (Figura 4b).

La placa de polietileno expandido se coloca sobre una solución de nutrientes dentro de una cuba, por lo cual queda flotando (Figura 4c). De esta manera, las raíces quedarán sumergidas en la solución. Para una mejor aireación de las raíces, es recomendable retirar la placa y agitar la solución, esto permite un aporte de oxígeno necesario para el desarrollo normal de las plantas.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

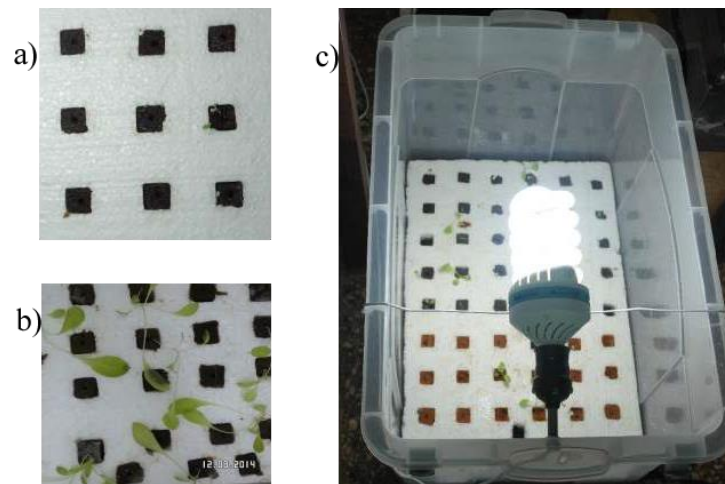


Figura 4 - Germinación por raíz flotante [17]. a) Inserción de cubos fenólicos en la placa de polietileno expandido; b) Plantines con 12 días de germinación; c) Cuba con solución de nutrientes e iluminación artificial.

2.1.6 Métodos hidropónicos

2.1.6.1 Sistema de sustrato sólido

Los sustratos inorgánicos que más se utilizan son:

- Arena limpia
- Espuma de polietileno o poliuretano
- Grava fina
- Perlas artificiales de origen volcánico

Estos sustratos pueden obtenerse en los comercios que se dedican a cultivos hidropónicos.

Por otro lado, los sustratos orgánicos que más se utilizan son:

- Aserrín
- Carbón vegetal
- Fibra de coco
- Cáscara de arroz

Los sustratos sólidos deben poseer las siguientes características:

- Servir de anclaje de las raíces
- Permitir un buen drenaje, para mantener la humedad necesaria

- Permitir la aireación de las raíces para conservar el nivel de oxígeno que se necesita
- Proteger a las raíces de la exposición de radiación lumínica

Las estructuras principales de cultivos con sustratos se pueden clasificar en horizontales y verticales o de mangas [17].

2.1.6.1.1 Estructura Horizontal

Se monta en bandejas o canteros de madera, revestidos con una tela plástica de entre 150 y 250 micrones en donde el sustrato es depositado y debe tener una profundidad superior a los 12cm para lograr un buen desarrollo de las raíces. Se realizan orificios, en los extremos del contenedor y en el plástico, para que se realice el drenaje del exceso de nutrientes (Figura 5).

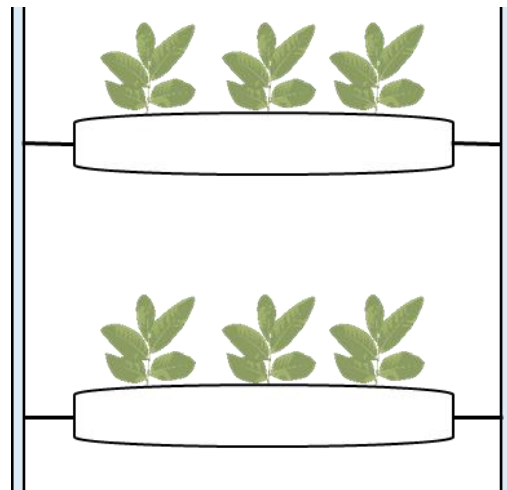


Figura 5 - Estructura horizontal [17].

2.1.6.1.2 Estructura vertical o de mangas

Al utilizar este tipo de estructura, permite ahorrar espacio ya que se construye con tubos de polietileno de calibre 200 micrones y un ancho, aproximado, de 20cm los que, a la vez, se cuelgan desde un soporte (Figura 6). Dentro de la manga, es depositado el sustrato y en los laterales se realizan huecos para poder insertar los plantines. Este tipo de estructura es más común utilizarlo en verduras de hojas y cultivo de frutillas [18].

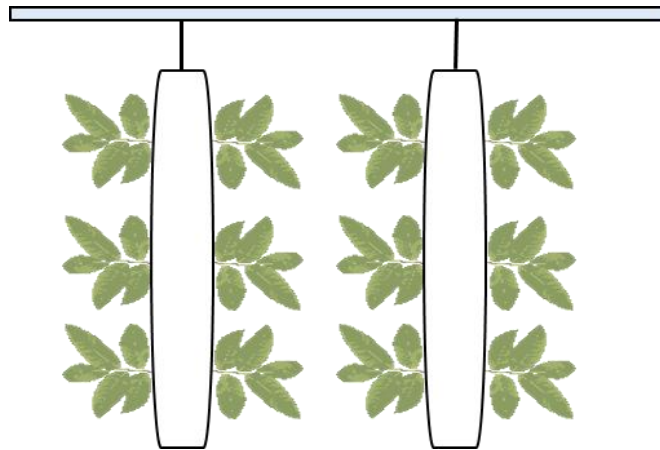


Figura 6 - Estructura de Manga o Vertical [17].

Los nutrientes son arrojados por la parte superior de la manga, descendiendo hacia la parte inferior por acción y efecto de la gravedad. La desventaja de este sistema, es que la solución nutritiva no recircula.

2.1.6.2 Sistema de raíz flotante

Es uno de los sistemas más utilizados para la producción a gran escala de hortalizas. Consiste en una placa de polietileno expandido con orificios que se sitúan cada 20cm en donde se depositan los plantines, de manera similar al sistema de germinación de raíz flotante descrito en la Sección 2.1.5.3 pero con mayor espacio entre orificios para que las plantas puedan desarrollarse correctamente.

Los nutrientes deben ser agitados, o en su defecto, incorporar un sistema de oxigenación artificial para poder mantener el nivel de oxígeno adecuado en la solución de nutrientes, y se traslade a las raíces [19] [20].



Figura 7 - Sistema de raíz flotante [17].

2.1.6.3 Sistema NFT

Los sistemas NFT (*Nutrient Film Technique*) [21] son contruidos con arreglos de tubos de plástico que forma un circuito cerrado de flujo de solución de nutrientes. Estos tubos poseen huecos de 5cm de diámetro cada 20cm aproximadamente, en el cual se inserta un receptáculo muy similar a una canasta (Figura 8a y Figura 8b).

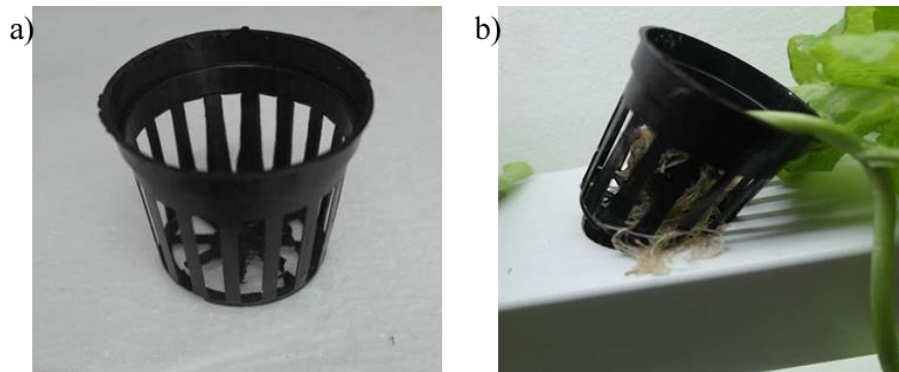


Figura 8 - Canasta para las raíces [17]. a) Canasta vacía; b) Canasta con un plantín.

Con este sistema, los tubos pueden colocarse de distintas maneras: en forma paralela, tipo escalera como se puede apreciar en la Figura 9(a), tipo estante como el que se muestra en la Figura 9(b), o en cualquier otro tipo de disposición que sea adecuada al lugar donde se instalará el sistema.

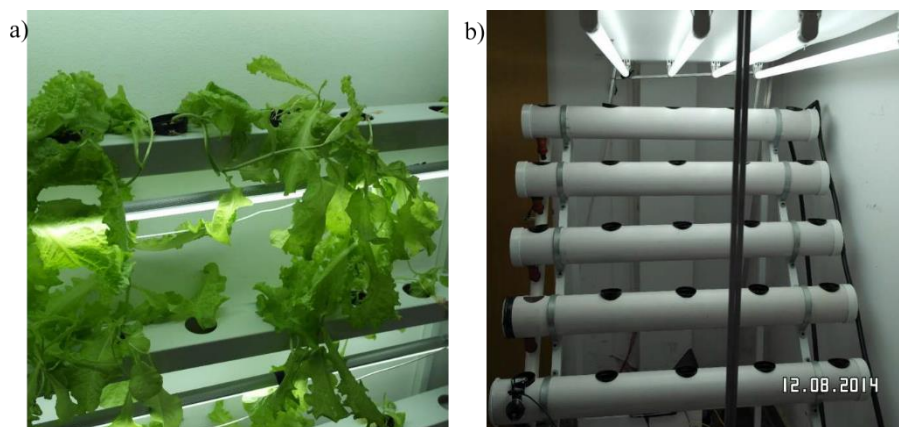


Figura 9 - Sistema NFT [17]. a) Con tubos de perfil rectangular; b) Con tubos de sección circular.

La solución de nutrientes se aloja en un depósito situado en la base del sistema y se impulsan por medio de una bomba de caudal y capacidad de elevación adecuada. Luego de realizar todo el recorrido del circuito, vuelve al depósito. Para poder lograr una buena

irrigación, con un adecuado aporte de oxígeno, la pendiente de los tubos tiene que ser del 2% aproximadamente.

El diámetro de los tubos debe ser tal, que pueda permitir el desarrollo de las raíces sin que las mismas obstruyan el paso de la solución. Por tal motivo, se ocupan tubos cilíndricos cuyo diámetro sea superior a 100mm. En la actualidad, se encuentran en el mercado, tubos de sección rectangular, los cuales han sido desarrollados para utilizarlo en esta técnica específicamente.

2.1.7 Nutrientes

Las soluciones nutritivas que se utilizan en hidroponía, están formadas por macronutrientes y micronutrientes esenciales. Se denominan de esta manera, a los elementos que forman parte de la solución hidropónica de nutrientes y que son esenciales para que el desarrollo y crecimientos de los cultivos sean con éxito, como lo demuestran investigaciones realizadas en 1939 por Arnon y Stout [22].

Hay que destacar que la omisión de algunos de los elementos da como resultado un desarrollo anormal, pudiendo implicar la no culminación del ciclo de vida, o la temprana muerte de las plantas [6] [20]. Los macronutrientes considerados esenciales son los nombrados en la Tabla 1.

Elemento	Forma disponible	Concentración mg/kg	Función
Nitrógeno (N)	NO_3^- , NH_4^+	15000	Componen las proteínas, clorofila, aminoácidos de ácidos nucleídos y coenzimas
Fósforo (P)	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	2000	Contribuye a enzimas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, glucosa y ATP
Potasio (K)	K^+	10000	Activa enzimas y sintetiza proteínas, interviene en los procesos de osmosis equilibrio iónico y en la apertura y cierre de los estomas
Carbono (C)	CO_2	450000	Las plantas lo obtienen del aire, se encuentra en las moléculas de almidón, celulosa y se fija por el proceso de fotosíntesis forma hidratos de carbono para almacenar energía.
Oxígeno (O)	O_2 , H_2O , CO_2	450000	Utilizado en la respiración para generar energía celular
Calcio (Ca)	Ca^{2+}	5000	Forma parte de la pared celular, es un regulador del transporte de carbohidratos

Magnesio (Mg)	Mg ²⁺	2000	Componente esencial de la molécula de clorofila
Azufre (S)	SO ₄ ⁻	1000	Compone algunos aminoácidos (como la cisteína, metionina) y coenzima A
Hidrógeno (H)	H ₂ O	60000	Esencial en la constitución de azúcares

Tabla 1 - Macronutrientes esenciales.

Los micronutrientes esenciales son útiles en pequeñas dosis concentradas, de aproximadamente 100mg/kg o ppm (partes por millón donde 1mg/l = 1ppm). Los micronutrientes esenciales son los que se mencionan en la Tabla 2.

Elemento	Forma disponible	Concentración mg/kg	Función
Hierro (Fe)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	100	Interviene en la síntesis de la clorofila, compone la nitrogenada y los citocromos
Cloro (Cl)	Cl ⁻	100	Producido en la osmosis y el equilibrio iónico
Boro (B)	H ₃ BO ₃	20	Actúa en la síntesis del ácido nucleico
Manganeso (Mn)	Mn ²⁺	50	Activador de enzimas
Zinc (Zn)	Zn ²⁺	20	Activador de enzimas
Cobre (Cu)	Cu ⁺ , Cu ²⁺	6	Interviene en los procesos de oxidación y reducción
Molibdeno (Mo)	MoO ₄ ²⁻	0,1	Fijación de nitrógeno
Níquel (Ni)	Ni ²⁺	-	Compone la ureasa que interviene en el metabolismo

Tabla 2 - Micronutrientes esenciales.

Algunas de las soluciones que pueden conseguirse comercialmente, son provistas en dos recipientes: la solución A contiene macronutrientes y la solución B, micronutrientes. El fabricante indica cuál sería la cantidad adecuada de cada una de las soluciones que debe agregarse cada 100 litros de agua. Otros productos comerciales viene en polvo y las soluciones deben prepararse con agua desmineralizada en la proporción que el fabricante lo indica.

2.1.7.1 Análisis del agua

Se debe tener en cuenta el estado fisicoquímico del agua con la que se preparará la solución. Para esto, será necesario conocer la dureza y si contiene algún elemento perjudicial para el cultivo. Por ello, es preciso realizar un análisis químico de la fuente de

extracción del agua, que permitirá conocer su composición. Los parámetros necesarios a determinar en el análisis del agua son: CE (Conductividad Eléctrica), pH, los niveles del azufre, bicarbonato, boro, calcio, cloruro, flúor, magnesio, manganeso y sodio [23].

2.1.7.1.1 Conductividad Eléctrica

Se ha demostrado que la CE de la solución de sistemas hidropónicos tiene como objeto el de controlar la concentración de nutrientes y poder evitar el riesgo de exceso de salinidad, lo que provoca una disminución de la producción [24] [25] [26]. La CE, en medios líquidos, depende de las sales que posee disueltas (electrolitos). Estas sales, generan iones que se deslizan hacia los electrodos, al ser sometidos a un campo eléctrico. Cuando la resistencia es medida con un óhmetro, se aplica una diferencia de potencial continua conocida, lo que produce una corriente eléctrica proporcional (Ley de Ohm). Si se usara este sistema de medición en una solución de nutrientes, se produciría la descomposición de las moléculas en iones positivos y negativos. Esto da como resultado, una corriente eléctrica que no respondería a la correcta concentración de nutrientes que se desea medir.

Con el fin de evitar la descomposición de los sólidos disueltos en la solución de nutrientes, se recurre a un campo eléctrico variable, con tal frecuencia que evita el proceso de electrólisis que disociarían las moléculas [27].

La CE en el SI (Sistema Internacional de Unidades) es expresada en Siemens (S), en honor al alemán Werner von Siemens (1816-1892), siendo:

$$S = \frac{A}{V} = \Omega^{-1} \quad (1.1)$$

Por ser S, la recíproca de una unidad de resistencia (*ohm*), se la denomina *mho*.

2.1.7.1.2 Índice TDS

El TDS (*Total Dissolved Solids*, Total de Sólidos Disueltos) se encarga de medir la concentración de iones en la solución. Este índice está medido en miligramos por litro (mg/l) y su equivalente en el sistema SI es:

$$1(mg/l) = 0,5 dS/m \text{ o } = 0,5 * 1000 \times mS/cm \quad (1.2)$$

Otra unidad de medición que se utiliza en la CE es: partes por millón (ppm), el cual se define como la cantidad de mg de analito por litro de agua y cuya conversión al SI es:

$$1,4 \mu S/cm = 1ppm \text{ o } 2 \mu S/cm = 1ppm \text{ (Partes por millón de CaCO}_3^1\text{)} \quad (1.3)$$

Cabe destacar que la CE de una solución depende del soluto, es decir, que cada componente de los nutrientes aporta distintas conductividades. También la conductividad eléctrica del electrolito depende de la temperatura, como se indica en la Tabla 3 [28].

Disolución	% cambio / °C
agua ultra pura	4,55
KCl	2,01
NaCl	2,12
5% NaOH	1,7
Amonio diluido	1,88
10% HCl	1,32
5% H2SO4	0,96
98% H2SO4	2,84

Tabla 3 - Coeficientes de temperatura entre 25 y 50° C. [17]

2.1.7.1.3 Potencial hidrógeno

El potencial hidrógeno, o también conocido como pH, es la concentración de iones de hidrógeno en un medio. La medida del pH se expresa en escala del 0 al 14. Una medida con pH=0 indica el máximo de acidez, un valor de pH = 7 es considerado neutro y, por encima de 7 y hasta 14, es alcalino.

El pH fue definido por el químico danés S. Sorensen (1868-1939), como:

$$pH = -\log_{10} a_{H^+} \quad (1.4)$$

La ecuación provee una sencilla escala, que va del 1 al 14, para medir el potencial hidrógeno. Dicho de otra manera, el pH está definido como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno.

Como se puede observar en la Figura 10, la disponibilidad de nutrientes varía según el pH que posea la solución, es por esta razón que son convenientes niveles de pH

¹ CaCO₃ = Carbonato de calcio

sutilmente ácidos, cuyos valores se encuentren entre 5,5 y 6,5; rango en que la mayoría de las nutrientes esenciales poseen amplia disponibilidad.

La bibliografía consultada [29] indica que estos valores son los recomendados para la mayoría de los cultivos hidropónicos, aunque algunas especies de plantas necesitan un valor no comprendido entre el rango mencionado. Si el pH no es el adecuado, puede estar presente un nutriente esencial pero no será absorbido por la raíz, lo que dará como resultado un cultivo deficiente. Si el pH se eleva en las canales de circulación de nutrientes de los cultivos hidropónicos, se producirán más cargas negativas en las superficies coloidales con un marcado aumento de cationes. La mayoría de los canales de circulación de los nutrientes hidropónicos no se ven afectados ya que, básicamente, son materiales inertes como la arena o grava; sin embargo, los sustratos que incluyen arcillas o algunos de los materiales derivados de componentes volcánicos, pueden verse afectados.

Los microorganismos, sean estos perjudiciales o beneficiosos, se ven afectados por el pH, por esto su transformación puede provocar la eliminación o desarrollo de estos. Por ejemplo, la mayoría de los hongos micorrízicos prefieren un rango de pH entre 4 y 8, y las bacterias que convierten el amonio a nitrógeno prefieren un pH por encima de 6 [23].

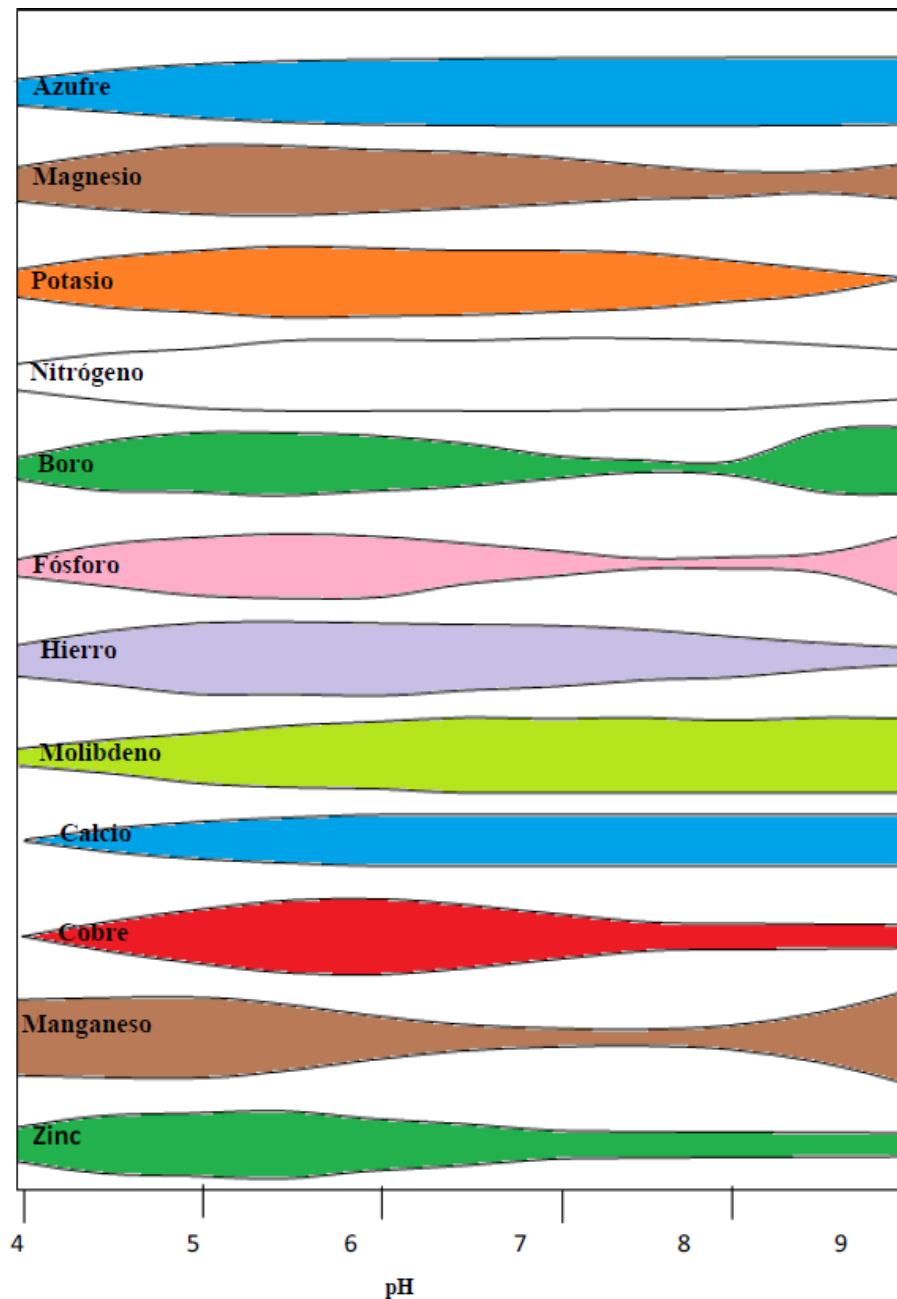


Figura 10 - Disponibilidad de nutrientes en función del pH [17].

2.1.7.1.4 Determinar la cantidad de nutrientes

Cuando no se tenga certezas sobre la cantidad de nutrientes para una solución hidropónica, se puede consultar y utilizar alguna de las técnicas que fueron propuestas por Mason en [23]:

- Se debe tener en cuenta la concentración para una solución de nutrientes hidropónicos, de acuerdo a la Tabla 4.

Elemento	Concentración en ppm
Nitrógeno (nitrato)	70 – 400
Fósforo	30 – 100
Potasio	100 – 400
Calcio	150 – 400
Magnesio	25 – 75
Hierro	0.5 – 5
Boro	0.1 – 1
Zinc	0.02 – 0.2
Cobre	0.1 – 0.5
Magnesio	0.5 – 2
Molibdeno	0.01 – 0.1

Tabla 4 - Concentración de nutrientes [17].

- b) Utilizando una metodología experimental, se puede intentar cultivar una especie y tratar de detectar cuáles son los síntomas que se reconocen en las plantas (hojas, tallos, raíces) y, en base a ellos, determinar cuáles son los nutrientes faltantes o que se hallan en cantidades insuficientes.
- c) Existe un software, *Nutron 2000*², que permite calcular la proporción de nutrientes en función de la época del año, el tipo de cultivo, el lugar y otras variables que puedan ser consideradas.

2.1.8 Condiciones ambientales

Los cultivos hidropónicos comerciales, en gran medida, se realizan en invernaderos o al aire libre. En menor escala, se realizan sistemas denominados *indoor*, donde las condiciones ambientales son controladas artificialmente. Las variables ambientales que más influyen en los cultivos son la luz, la humedad y la temperatura.

2.1.8.1 Influencia de la luz

La luz es una onda electromagnética cuya frecuencia se encuentra dentro del rango de percepción del ojo humano. Es común poder expresar el color de la radiación lumínica en valores de su longitud de onda, el cual está determinado por:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.5)$$

² *Nutron 2000+ Edition 3*: <http://www.suntec.co.nz/nutron.htm>

Donde C , es la velocidad de la luz (3×10^8 m) y f , la frecuencia en el SI. La longitud de onda se mide en nanómetros (nm, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Como puede apreciarse en la Figura 11, cada longitud de onda se corresponde a un determinado color del espectro visible. Las longitudes por sobre los 750nm, se denominan infrarrojo (IR), por contener una frecuencia menor a la del color rojo; y las longitudes por debajo de los 400nm, se denominan ultravioleta (UV), por tener una frecuencia por encima del violeta. Tanto la radiación IR como la UV no son visibles con el ojo humano, pero influyen en los procesos biológicos.

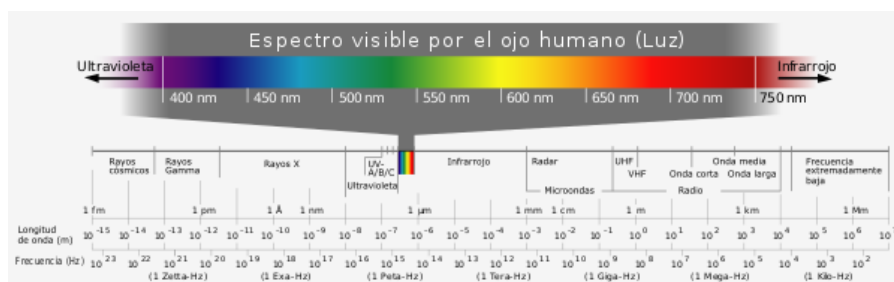


Figura 11 - Espectro visible [17].

Las plantas pueden llegar a necesitar determinadas longitudes de onda, dependiendo de la especie y del desarrollo que lleve la misma. Existen tres procesos fundamentales que intervienen en el desarrollo de las plantas, y se encuentran relacionados con la radiación que proviene del Sol u otra fuente artificial de fotones: fototropismo, fotoperiodismo y fotomorfogénesis.

2.1.8.1.1 Fototropismo

Este fenómeno, estudiado por Charles Darwin (1809-1882)³, consiste en la reacción de las plantas buscando la luz y se da desde la parte superior de la misma hacia la parte inferior.

El fitocromo es una proteína pigmento que responde a diferentes longitudes de onda de la luz. Una respuesta, es el fenómeno de reversibilidad con las longitudes de onda que corresponden al rojo y al rojo lejano. Otra es la fitocromorespuesta a la luz azul de longitudes de ondas que oscilan entre 400 y 500 nm. La forma en que la luz azul actúa,

³ **Charles Robert Darwin** (12/02/1809 - 19/04/1882) ha postulado que las especies de seres vivos han evolucionado con el tiempo. Publicó su obra "El origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de las razas preferidas en la lucha por la vida." en 1859.

se estudió en 1926 por el botánico holandés Frits Went (1903-1990). Esta radiación provoca que las auxinas se vayan desplazando hacia el lado opuesto del lugar donde se recibe la luz, haciendo que las células del tallo de ese sector crezcan más rápidamente, produciendo la curvatura que se observa en la Figura 12 [30]. El fototropismo puede ser positivo (como es el caso de los tallos de las plantas) o negativo (como el caso de las raíces o tubérculos, que no necesitan luz).

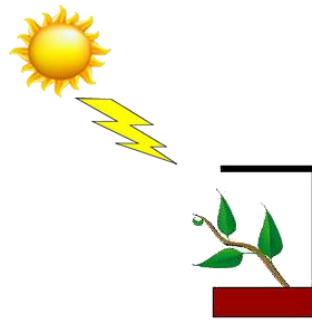


Figura 12 - Curvatura del tallo por fototropismo [17].

2.1.8.1.2 Fotoperiodismo

El fotoperiodismo es la respuesta a la variación de los ciclos de luz diurna. Este fenómeno ha sido investigado por W.W. Garner y el botánico norteamericano Harry A. Allard (1880-1963), en 1920, en su publicación “*effect of the relative length of day and night and others factors of the environment on growth and reproduction in plants*” [31], quienes han descubierto que las variedades de tabaco *Maryland Mammoth* y de soja *Biloxi*, no florecían si la cantidad de horas de luz era superior a un determinado valor. A esta clase de plantas, que muestran clara dependencia de la relación noche-día, se las denomina fotoperiódicas, esto es una respuesta al ciclo circadiano y varía según la especie, incluso hay plantas que no son consideradas fotoperiódicas y pueden ser cultivadas utilizando luz artificial continua.

Las plantas fotoperiódicas se clasifican en plantas de días cortos y plantas de días largos, dependiendo del balance luz-oscuridad que necesita para desarrollarse.

2.1.8.1.3 Fotomorfogénesis

Además de los procesos que fueron mencionados anteriormente, en los que intervienen la radiación lumínica, la luz forma parte de los procesos de control estructural

de la planta, la cual se denomina morfogénesis. Para esto, se tienen foto receptores específicos que absorben distintas longitudes de onda de luz.

2.1.8.2 Iluminación artificial

En los invernaderos, cultivos experimentales u ornamentales, se utiliza iluminación artificial. Para ello, se debe tener en cuenta distintos factores, como la longitud de onda que irradian los diferentes tipos de lámparas que se utilizarán, el consumo y la temperatura que éstas aportan al ambiente.

En la Figura 13, se puede apreciar los distintos tipos de lámparas, y la relación entre los lúmenes que aportan y la potencia que consumen.

Actualmente, se están desarrollando y comercializando en gran medida, paneles LED (*Light Emitting Diode*), tecnología de estado sólido, de gran ventaja debido a su bajo consumo, durabilidad y robustez.

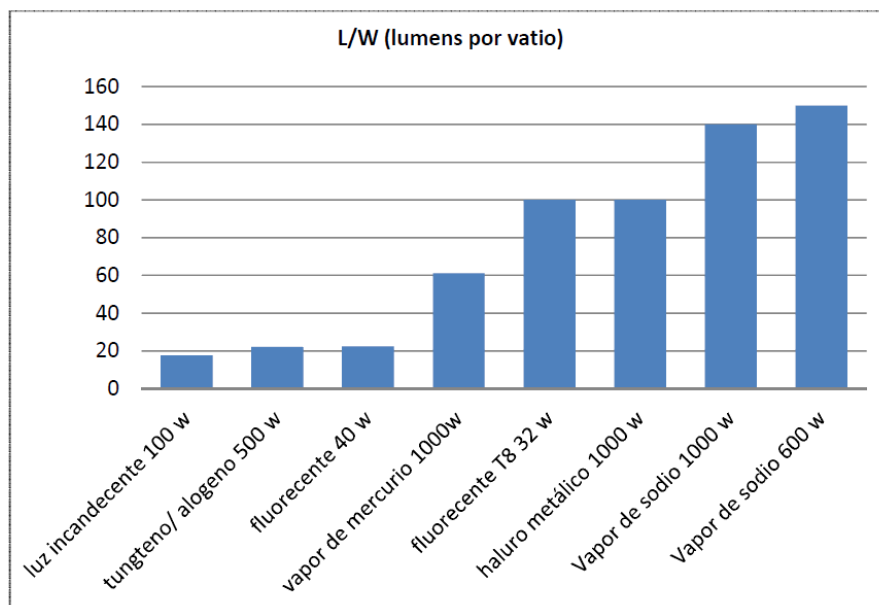


Figura 13 - Rendimiento de lámparas de acuerdo a la potencia [17].

Como cada tipo de led emite luz en una determinada longitud de onda, de acuerdo al material con el que se construye, y dado que algunos cultivos requieren diferentes longitudes de onda, se fabrican paneles específicos para cada tipo de cultivo con una combinación de led con distintas longitudes de onda. Cada fuente de luz brinda una

combinación distinta, por lo tanto un efecto diferente en cada planta. Esto se ilustra en la Tabla 5.

Cuando se utilizan sistemas de iluminación con lámparas de diferentes tecnologías, hay que tener en cuenta el espectro electromagnético de emisión y verificar si es adecuado para el tipo de cultivo [32].

Fuente de luz	Azul	Verde	Rojo	Rojo lejano	Proporción Rojo/Rojo lejano
Fluorescente blanco frio	21	52	24	2	10.7
Lámpara de sodio de alta presión	5	51	38	6	6
Lámpara incandescente	2	13	34	52	0.7
Lámpara de haluro metálico	18	49	25	8	3
Luz solar directa	23	26	26	25	1

Tabla 5 - Porcentaje de distribución de la luz [32].

Es común que los distintos fabricantes de lámparas o tubos de iluminación, utilicen la escala de medición de color en Kelvin (K), en honor al físico y matemático británico William Thomson, Lord Kelvin (1824 - 1907), esto surge de la definición de temperatura de color que es la radiación de color que emite un cuerpo negro que se somete a temperaturas elevadas. A medida que aumenta la temperatura en Kelvin, aumenta la frecuencia de la radiación lumínica. Esto se muestra en la Tabla 6.

Temperatura de color en K	Fuente de luz
1700	Luz de una cerilla
1850	Luz de vela
2700 – 3300	Lámpara de tungsteno
4000 – 4500	Lámpara de Mercurio
5000	Luz Fluorescente
5500 – 6000	Luz Solar
6200	Lámpara de Xenón
28000 – 30000	Relámpago

Tabla 6 - Temperatura de color [17].

Los colores del cuerpo negro, al aumentar la temperatura, varían desde el rojo a 1000 K, luego amarillo a 3000 K, azul-blanco a 6000 K y azul intenso a 60000 K. Por ejemplo, algunos cultivos de hojas verdes que se encuentran en su fase de crecimiento, necesitan una luz azul de 6500 K, en tanto que otras plantas en fase de floración, necesitan luz roja y amarilla de 2700 K.

2.1.9 Resumen

De acuerdo a lo visto a lo largo del presente capítulo, vamos a realizar un breve resumen respondiendo a dos interrogantes, para dejar bien claro la utilización y provecho del cultivo hidropónico.

El primero de ellos, es ¿quiénes pueden cultivar en hidroponía? La respuesta a esto es sencilla. Lo puede hacer cualquier persona que esté interesada en cultivar sus propios vegetales en forma limpia y sencilla. Es ideal para jóvenes o personas de avanzada edad. Los conocimientos que se necesitan para poder desarrollar esta técnica son muy elementales y pueden encontrarse en cualquier libro de biología. Como se ha mencionado, el cultivo en hidroponía es sencillo y puede llevarse a cabo en pequeños espacios. Es de una enorme utilidad para aquellas personas que quieran iniciarse de manera comercial, experimental o simplemente, como hobby. La solución de nutrientes puede prepararse de acuerdo con las instrucciones que se dan en [1]. Esta solución aporta todos los elementos que se necesitan para obtener el óptimo desarrollo y crecimiento de los cultivos en sistemas hidropónicos. El resto, puede aportarlo la persona que opere sobre el sistema con su criterio y dedicación.

El otro interrogante a responder es, específicamente ¿qué se puede cultivar? Como se vio en la Sección 2.1.4.2, no todas las plantas pueden cultivarse utilizando técnicas hidropónicas. A continuación, se muestran algunas de las plantas que pueden cultivarse utilizando esta técnica. Para facilitar la lectura, se han clasificado en verduras y plantas aromáticas.

- Verduras: acelgas, ajos, berenjenas, brócolis, calabazas, cebolla, rúcula, achicoria, coles, coliflores, tomates, *cherry*, pepinos, rábanos, tomates, lechuga y pimientos.
- Aromáticas: albahaca, ajeno, anís, cilantro, eneldo, hierbabuena, jengibre, lavanda, manzanilla, orégano, perejil, romero y tomillo.

2.2 Cámara de germinación hidropónica

La primera parte del proceso de cultivo hidropónico es la germinación de las semillas. Este proceso es llevado a cabo hasta que las plantas se desarrollen y alcancen un adecuado tamaño para poder ser llevadas y trasplantadas al sistema de cultivo

definitivo. Dependiendo del tipo de planta a cultivar, para que las semillas germinen con éxito, es necesario respetar ciertos parámetros de agua, temperatura, humedad y luz.

Las cámaras de germinación comerciales aproximadamente tienen un costo elevado, por sobre los U\$S10.000.-, por lo que se mostrará en detalle, la cámara de germinación realizada en [17].

2.2.1 Materiales

Para construir la cámara de germinación, se ha utilizado un contenedor de policloruro de vinilo (PVC), en la cual se han realizado los siguientes montajes:

1. En la parte superior: el hardware que hace de unidad de control, los sensores de humedad y temperatura exterior.
2. En la parte inferior: están los sensores de humedad y temperatura interior, un turboventilador, sistema de iluminación artificial con una lámpara de bajo consumo de 75w y una lámpara incandescente, la cual será utilizada como una fuente de calor para los días de baja temperatura (Figura 14).

Además, en la parte inferior se ha montado un sensor de nivel de nutrientes que, en caso de que el nivel descienda de un mínimo preestablecido, acciona una bomba de impulsión sumergida en un depósito de nutrientes ubicada al lado de la misma.

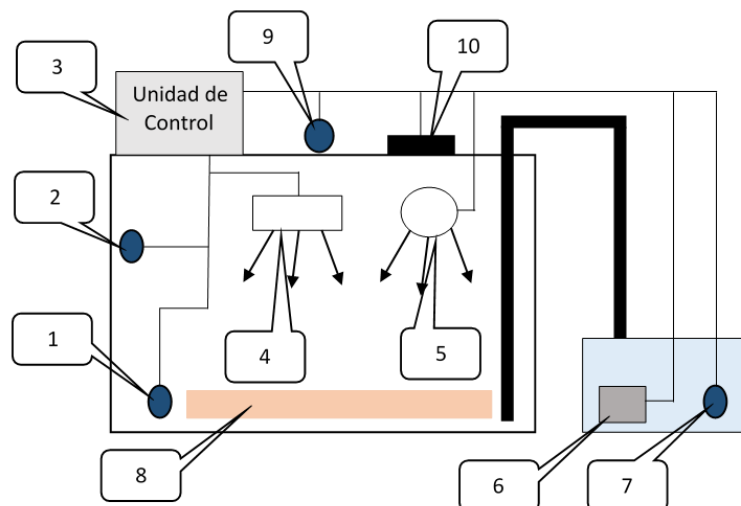


Figura 14 - Cámara de Germinación [17]. 1) Sensor de nivel de nutrientes; 2) Sensor Humedad y Temperatura; 3) Unidad de Control; 4) Lámpara Iluminación artificial; 5) Lámpara incandescente; 6) Bomba de impulsión de nutrientes; 7) Sensor nivel de nutrientes; 8) Espuma de germinación; 9) Sensor Humedad y Temperatura Ambiente; 10) Ventilador.

2.2.2 Selección de la especie

La especie de la planta sobre la cual se realizará el presente trabajo, es la misma que se ha utilizado en [17], la *lactuca sativa* variedad crespa, conocida comúnmente como lechuga. La elección de la misma se debe a que es ampliamente utilizada en cultivos hidropónicos [33]. En la Tabla 7 se muestra la clasificación científica de la especie seleccionada.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Sativa, variedad crespa</i>
Nombre común	Lechuga

Tabla 7 - Clasificación científica de la especie seleccionada [17].

Por otro lado, la especie seleccionada es considerada una planta de ciclo corto, es decir que en un año cumple todo su ciclo de vida. Es por ello que es posible obtener resultados en poco tiempo, en lo que se refiere a producción.

La ventaja que se obtiene con la utilización del método hidropónico, como se ha mencionado en la Sección 1.1.4, es la rapidez en el crecimiento y maduración de la planta, pudiéndose acortar el ciclo de vida en un 60% respecto a los de la misma planta en un entorno natural [16].

2.2.3 Sistema de raíz flotante

En la primera etapa del proceso de cultivos hidropónicos de la especie seleccionada se ha utilizado el sistema de raíz flotante. Consiste en una placa de polietileno expandido en el que se realizaron orificios cuadrado de 1cm de lado, con una separación de 5cm entre cada uno de ellos, como se puede apreciar en la Figura 15. En los orificios, se han insertado pequeños cubos de espuma fenólica en el cual, cada cubo, contiene un orificio de, aproximadamente, 0,5cm de profundidad donde se depositan las semillas. La espuma fenólica se puede adquirir en comercios especializados, en planchas pre moldeadas (Figura 16).

La placa de polietileno expandido, que contiene los cubos de espuma fenólica y las semillas insertadas en los respectivos orificios, ha sido depositada dentro del contenedor de PVC, el cual contiene la solución de nutrientes.

La concentración de nutrientes utilizada ha sido rebajada en un 50% durante los primeros días hasta que se produjo la germinación y desaparición de los cotiledones. En las primeras 24 a 48 horas, la luz artificial ha permanecido apagada, con el fin de evitar que alguna longitud de onda del rojo lejano active el fitocromo (Fr) e inhiba la germinación.

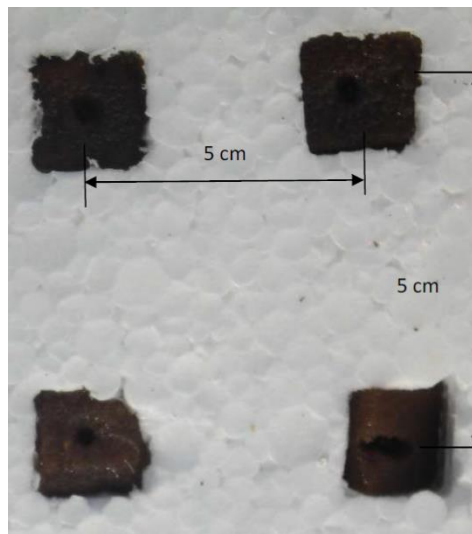


Figura 15 - Placa de polietileno expandido con soportes de espuma fenólica para el depósito de semillas [17].



Figura 16 - Espuma fenólica pre moldeada [17].

2.2.4 Unidad de Control

La unidad de control está constituida por una unidad de procesamiento Raspberry Pi en la que residen, actualmente, el programa de control difuso (diseñado con la herramienta FIS de MATLAB) y telemetría, una unidad de poder que permite el control de los dispositivos de potencia, los sensores, un reloj de tiempo real y las interfaces de comunicación con las computadoras para la captura de datos.

Para mayor información acerca del programa de control difuso, remítase a [17]. En la Sección 2.3, se verá con mayor detalle lo referido a la Raspberry Pi. En la Figura 17, se muestra el diagrama en bloques del sistema de control de la cámara.

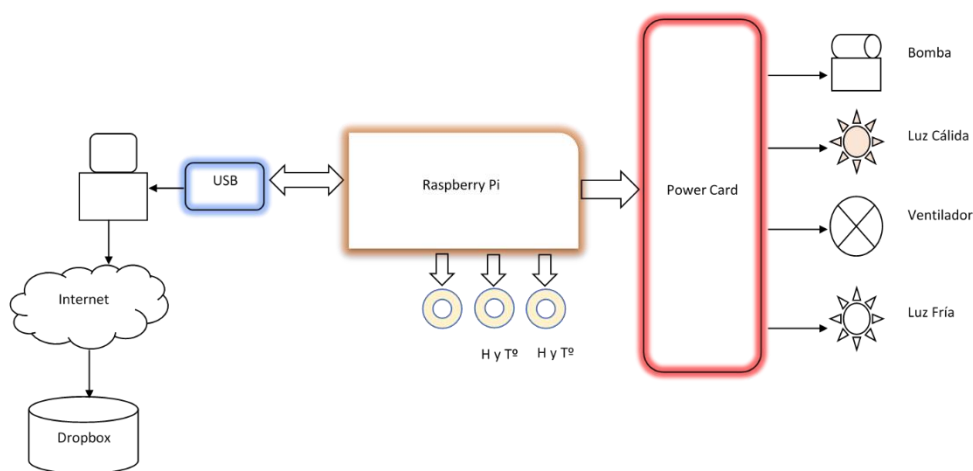


Figura 17 - Diagrama en bloques del sistema de control de la cámara de germinación [Fuente propia].

2.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi es una computadora de placa simple o SBC (*Single Board Computer*) de bajo costo, desarrollada por la Fundación Raspberry Pi en *Cambridge*, Inglaterra, con el propósito de estimular la enseñanza de informática en escuelas y colegios [34]. Es considerada una maravilla en miniatura, en cuyo interior reside un importante poder de cómputo y procesamiento en un tamaño similar al de una tarjeta de crédito [35].

2.3.1 Características y Modelos

En la actualidad, Raspberry Pi se encuentra disponible en dos modelos distintos, conocidos como Modelo A y Modelo B. Aunque poseen diferencias, ambos modelos

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

comparten un gran cantidad de similitudes, como se mencionará en la presente sección.

La Figura 18 muestra una Raspberry Pi Modelo B.

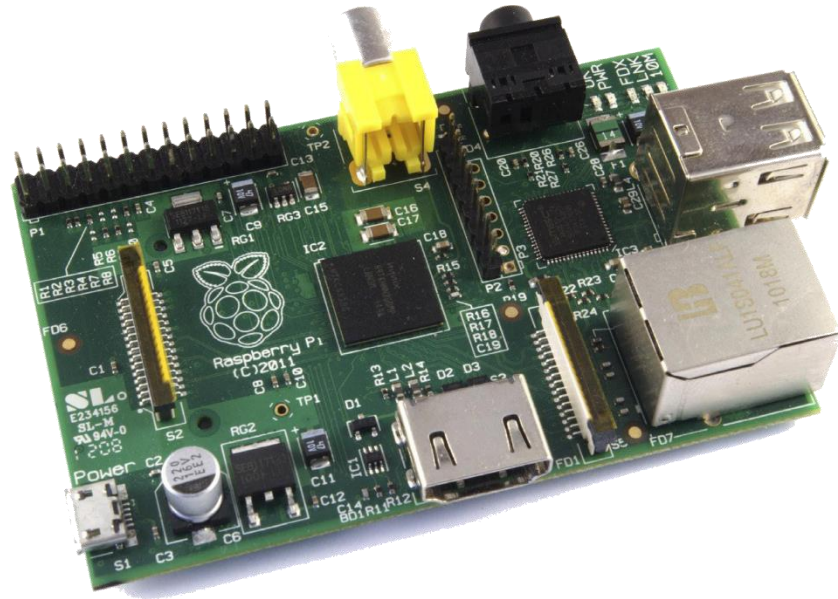


Figura 18 - Una placa Raspberry Pi [35].

En el medio de todas las placas Raspberry Pi se encuentra un semiconductor cuadrado, conocido como circuito integrado o chip. Este es el módulo *system-on-chip* (SoC) Broadcom BCM2835, el cual se encarga de brindarle a la Raspberry Pi sus capacidades de procesamiento de propósito general, renderización de gráficos y entrada/salida. Sobre este chip se encuentra otro semiconductor, el cual tiene como función proveer la memoria RAM⁴ a la Raspberry para el almacenamiento temporal de los datos mientras los programas se encuentran en ejecución. Cuando la Raspberry Pi pierda su energía o sea desconectada, cualquier información que se encuentre en la memoria RAM, se perderá.

En la parte superior e inferior del SoC, están las salidas de video. El conector plata (inferior) es un puerto HDMI⁵, que es del mismo tipo de conector que se encuentra en los reproductores de video y decodificadores de cable y satélite. A este puerto puede conectarse un televisor o monitor nuevo, proporcionando video en alta resolución y audio digital. El conector amarillo (superior) es el puerto de video compuesto y está diseñado para poder conectarse a televisores antiguos. La calidad de video es más baja que la disponible vía puerto HDMI y no transmite audio. En cambio, el audio es suministrado

⁴ RAM = *Random Access Memory* (memoria de acceso aleatorio)

⁵ HDMI = *High Definition Multimedia Interface* (interfaz multimedia de alta definición)

En la parte inferior izquierda, se encuentra la toma de alimentación de la Raspberry Pi. Esta es una toma micro-USB, la misma que se utiliza en la gran mayoría de los *smartphones* o *tablets* en la actualidad. Conectar un cable micro-USB a un adaptador adecuado de energía, automáticamente encenderá la Raspberry Pi. A diferencia de una PC de escritorio o notebook, la Raspberry no posee un botón de arranque y se enciende inmediatamente cuando el cable de alimentación le brinda corriente eléctrica.

En la parte inferior de la placa, del lado izquierdo casi debajo de la toma de alimentación, se encuentra una ranura para tarjetas SD o SDHC⁶ [37]. Esta tarjeta de memoria SD (*Secure Digital*) es la encargada de proporcionar el almacenamiento para tener instalado el sistema operativo, los programas, datos y otros archivos. Cabe aclarar que, a diferencia de la memoria RAM, la memoria SD conservará la información y datos, incluso cuando la Raspberry Pi sea desconectada de la energía.

En el lado derecho, se tienen distintos conectores dependiendo del modelo que se tenga de la Raspberry Pi, estos pueden ser el Modelo A o Modelo B. Por encima de éstos, se encuentran una serie de LEDs. Los dos primeros están etiquetados con ACT y PWR, y proporciona una notificación de actividad y de energía respectivamente, y se encuentran en todas las placas.

2.3.1.1 El Modelo A

Este modelo es el más económico de las Raspberry Pi. Este modelo, que se muestra en la Figura 20, está diseñado para ser accesible y maleable. Aparte de ser económico, si es comparado con el Modelo B, este modelo consume menos energía y es una buena elección para poder utilizarlo en proyectos que utilizan energía solar, eólica o de batería. Aunque el SoC BCM2835 que trae el Modelo A es tan potente como el del Modelo B, solamente viene con 256MB de memoria. Esto es una consideración que se debe tener al momento de tomar la decisión sobre cuál modelo comprar, ya que puede ocasionar que aplicaciones más complejas sean ejecutadas lentamente, por ejemplo aquellas que convierten a la Raspberry Pi en un servidor.

⁶ SDHC = *Secure Digital High Capacity* (Alta capacidad digital segura)

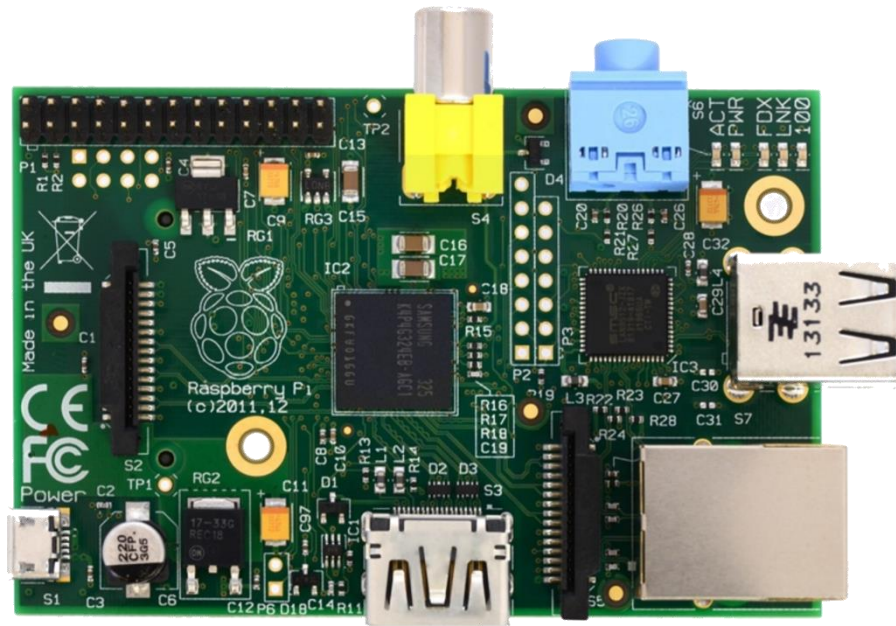


Figura 20 - Raspberry Pi Modelo A [35].

El Modelo A posee solamente un puerto USB (*Universal Serial Bus*) en el lado derecho de la placa. Es el mismo puerto que puede encontrarse en las computadoras de escritorio, *notebooks* y *netbook* comerciales, y permite a la Raspberry Pi poder conectarse a casi cualquier periférico compatible. De manera general, este puerto se utiliza para poder conectar teclado y así, poder interactuar con la placa Raspberry. Si se desea, además, utilizar un mouse, deberá adquirirse un concentrador (o *hub*) USB para poder agregar más puertos al Modelo A.

2.3.1.2 El Modelo B

La Raspberry Pi Modelo B, que se muestra en la Figura 18, tiene un costo más elevado que el Modelo A, pero posee algunas ventajas considerables. Internamente, posee el doble de memoria RAM (512MB), mientras que externamente posee puertos adicionales que no se encuentran disponibles en el Modelo A. Para la gran mayoría de los usuarios, el Modelo B es una excelente inversión; solo aquellos usuarios con requisitos particulares de espacio, consumo energético o peso, consideran adquirir el Modelo A para un uso más genérico.

En el Modelo B, se puede apreciar que tiene dos puertos USB en el lado derecho de la placa, lo cual permite conectar un teclado y un mouse o puede disponer de dos puertos

libres para poder conectar accesorios adicionales como ser discos externos o interfaces de hardware. Además se cuenta con un puerto Ethernet para poder conectar la Raspberry Pi a una red cableada, permitiendo así el acceso a Internet y a otros dispositivos en la red; también hace posible que otros dispositivos en la red puedan acceder a la Raspberry.

2.3.2 Historia

Los primeros pasos de la Raspberry fueron por el año 2006, basándose en el microcontrolador *Atmel ATmega644*. Los esquemas y diseño de los primeros circuitos se encuentran disponibles para su consulta y descarga [38].

Posteriormente, en el año 2009, es fundada la Fundación Raspberry Pi en el condado de Cambridgeshire, Inglaterra. El CEO⁷ de la fundación, y quien sigue al mando de la misma, Eben C. Upton (1978 –) se había puesto en contacto con profesores, académicos y entusiastas aficionados de la informática para poder crear un ordenador, con la clara intención de animar a los niños y jóvenes a aprender informática como lo había hecho él mismo, en 1981, utilizando el ordenador *Acorn BBC Micro* [39]. El primer prototipo que se creó, basado en ARM⁸, fue montado en un módulo cuyo tamaño era similar a una memoria USB. Poseía, en un extremo, un puerto USB y un puerto HDMI, del otro lado [40].

En el año 2011, se fabricaron alrededor de cincuenta placas en versión alfa, las cuales tenían las mismas características que el modelo B, pero debido a su gran tamaño no ayudaba a la integración de las interfaces de depuración [41].

En diciembre de ese mismo año, se lograron ensamblar y probar 25 placas beta del modelo B, cuyo diagrama de componentes de las placas que se comercializan en la actualidad, es el mismo que el utilizado en esas placas betas. Durante las pruebas realizadas a las placas, se detectó un error de diseño en los pines que realizaban el suministro de alimentación a la CPU, el cual fue solucionado en la versión final [42]. Durante la primera semana de diciembre, se han puesto a subasta placas por la plataforma EBay⁹ [43]. Debido al anuncio de puesta en venta de las placas, en febrero del año 2012,

⁷ CEO = *Chief Executive Officer* (Director Ejecutivo)

⁸ ARM es una arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer* – Grupo reducido de instrucciones para Computadoras) desarrollada por *ARM Holdings*. Se llamó *Advanced RISC Machine*, y anteriormente, *Acorn RISC Machine*.

⁹ EBay <https://www.ebay.com/>

la fundación ha sufrido el colapso de sus servidores web debido a la demanda de gente interesada en adquirir la placa.

El primer lote de placas, de aproximadamente unas 10.000 unidades, fueron fabricadas en Taiwán y China en lugar de Inglaterra. Esto se debió, principalmente a que los impuestos de importación se pagaban para los componentes individuales y no para productos terminados, y además, los fabricantes chinos ofrecieron un plazo de entrega de 4 semanas, cuando en Inglaterra el plazo era de 12. Con esto, la fundación se ahorró dinero que pudo destinar en más investigación y desarrollo [44] [45].

Las primeras placas que se comercializaron, fueron puestas a la venta el 29 de febrero de 2012, estas eran el Modelo B. Al mismo tiempo, se anunciaba que el Modelo A, que inicialmente tendría 128MB de RAM, iba a tener 256MB [46]. En su página web oficial [34], la fundación anunciaba “... *Seis años después del inicio del proyecto, nos encontramos en la recta final del lanzamiento de nuestro primer desarrollo, aunque esto solo signifique el comienzo de la historia de Raspberry Pi...*”. Al poco tiempo de lanzada al mercado, las dos tiendas que comercializaban la placa han tenido una sobrecarga en sus servidores después del lanzamiento. En la cuenta oficial de Raspberry Pi en Twitter, informaron que en los primeros seis meses, se vendieron aproximadamente unas 500.000 unidades [47].

En marzo de 2012, la fundación anunció que los envíos sufrirían retrasos debido al ensamblaje incorrecto de un puerto *Ethernet*. Al mismo tiempo, se esperaba que aumentara la fabricación de unidades, con vistas a futuro [48]. El 16 de abril de ese mismo año, los primeros compradores han ido informando de la recepción de su Raspberry Pi. Para el 22 de mayo, ya habían sido enviadas aproximadamente unas 20.000 unidades. En julio, se anuncia la fabricación de 4.000 unidades diarias [50]. En septiembre, se realizan dos anuncios importantes: el primero de ellos, es que se realizará una segunda revisión para el Modelo B y el otro, llevarán la producción de las placas al Reino Unido, a una fábrica de Sony en Gales donde se producirán unas 30.000 unidades al mes y se crearán 30 nuevos puestos de trabajo [49] [51].

En el año 2013 se lanza al mercado el Modelo A pero únicamente los proveedores pudieron comercializarlo ese día en Europa [52]. A partir del mes de diciembre del año 2015, ya fue posible adquirir unidades con mejores prestaciones, como ser la Raspberry Pi 2. En febrero del 2016, se comienza a comercializar un nuevo modelo, la Raspberry Pi 3.

2.3.3 Versiones y Características

Los esquemas de los modelos A y B fueron lanzados y comercializados en abril del 2012 por la Fundación. A continuación veremos los modelos y características de los mismos.

2.3.3.1 Raspberry Pi 1 Modelo A

Comenzó a desarrollarse en el año 2012, pero su comercialización se demoró hasta febrero del 2013. Como se aprecia en la Figura 20, no poseía puerto Ethernet, por lo que para poder conectarse a internet se requería un adaptador *Wi-Fi* vía USB. Tenía 26 conectores GPIO, salida de video vía HDMI y video RCA, conector Jack de 3.5 milímetros, solamente un puerto USB, micro-USB para la alimentación y un conector de cámara. Estaba equipado con un procesador *Broadcom BCM2835, Single-Core* a 700MHz, 256 MB de RAM y una placa gráfica *Broadcom VideoCore IV*. Su fuente de alimentación poseía 5 voltios y 2 amperios (similar al de las demás versiones). Su costo inicial fue de €40.

2.3.3.2 Raspberry Pi 1 Modelo A+

En noviembre del año 2014, sale a la venta la Raspberry Pi 1 Modelo A+. Comparado con el modelo A posee los 40 conectores GPIO, el viejo zócalo de tarjeta SD de ajuste por fricción fue reemplazado por una MicroSD. En cuanto al consumo de energía, se han reemplazado los reguladores lineales con los de conmutación, reduciéndolo entre 0,5W y 1W. El circuito de audio posee una fuente de alimentación dedicada de bajo ruido. En cuanto al tamaño, el Modelo A+ es, aproximadamente, 2cm más corto que el Modelo A. En la Figura 21, se muestra la placa Raspberry Pi 1 Modelo A+.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

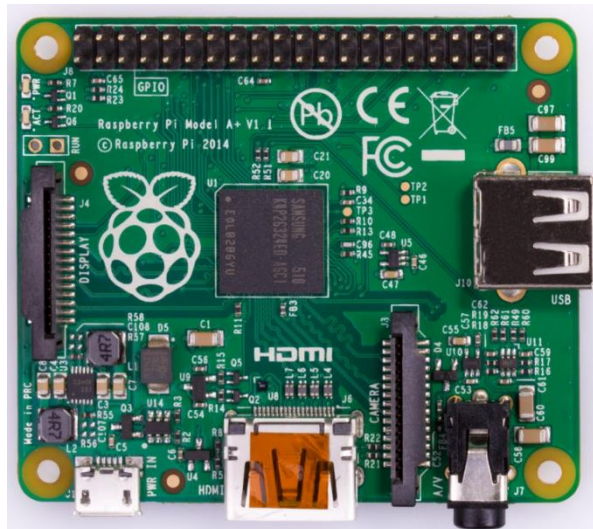


Figura 21 - Placa Raspberry Pi 1 Modelo A+.

2.3.3.3 Raspberry Pi 1 Modelo B

Fue la primera placa que salió al mercado, en abril del año 2012. Poseía diversas mejoras con respecto al otro modelo que se estaba fabricando en ese momento, el Modelo A. Incluía el doble de memoria RAM, es decir 512MB contra los 256MB del Modelo A. Además, tenía un puerto USB más y un conector Ethernet RJ-45. Se mantuvo, con respecto al Modelo A, en cuanto al tamaño y costo. Tampoco hubo modificaciones en el procesador ni en la parte gráfica. En la Figura 18, se muestra la Raspberry Pi Modelo B.

2.3.3.4 Raspberry Pi 1 Modelo B+

En julio del año 2014, se anuncia el lanzamiento comercial de una nueva versión de la placa que tendrá el nombre de Raspberry Pi 1 Modelo B+ [53] (Figura 22). Como mejora, con respecto a su antecesora, incluyó 4 puertos USB y pasó de utilizar memoria SD a una MicroSD.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

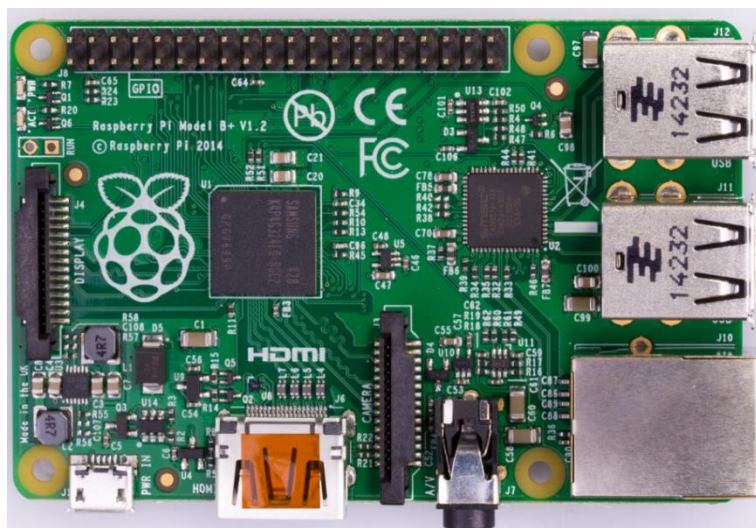


Figura 22 - Placa Raspberry Pi 1 Modelo B+ [53].

2.3.3.5 Raspberry Pi 2 Modelo B

Lanzada comercialmente en febrero del año 2015, es la primera que presenta cambios en la infraestructura con respecto a sus antecesoras [54]. Como primera mejora sustancial, podemos mencionar el cambio de procesador, cuya nueva arquitectura (pasa de tener un núcleo a cuatro) y velocidad (de 700 MHz a 900MHz), soporta sistemas para plataforma ARM el cual permite ejecutar *Windows 10* o *Snappy Ubuntu Core*. Como segunda mejora, que sorprende gratamente, es la salida micro HDMI que permite manejar vídeos en *Full HD* 1080p lo que la convierte es una excelente mini PC para utilizarla como centro de multimedia. También se puede mencionar que esta versión posee el doble de memoria RAM, pasando de tener 512MB a 1GB (tal vez un poco menos, por tener memoria compartida con la placa gráfica), mantiene los cuatro puertos USB y los 40 pines GPIO. Se elimina la conexión RCA. La Figura 23 muestra esta placa.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

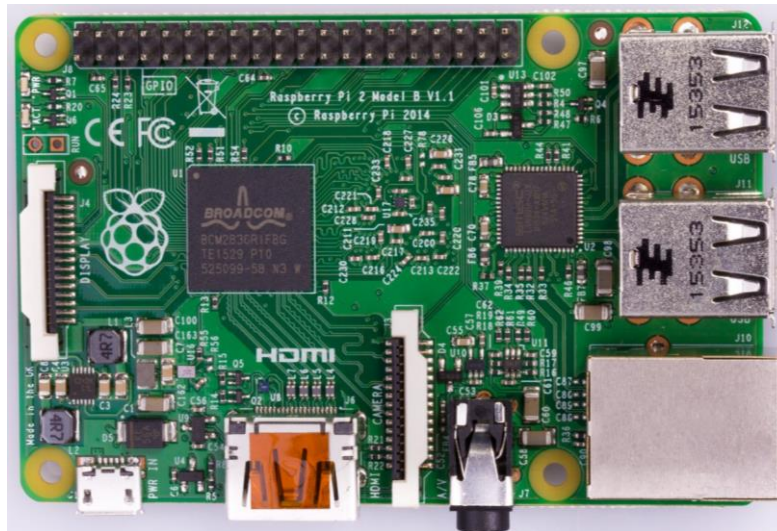


Figura 23 - Placa Raspberry Pi 2 Modelo B [54].

2.3.3.6 Raspberry Pi Zero

Además de los modelos vistos, la Fundación ha lanzado otra gama de placas denominadas Raspberry Pi Zero (Figura 24). Son los miembros más pequeños y baratos de la familia Raspberry Pi [55].

El primer modelo fue lanzado en noviembre del año 2015. Es similar al Modelo A+ sin cámara ni conectores LCD, aunque es más pequeño y consume menos energía. Entre sus componentes, se puede mencionar que posee un procesador *Broadcom BCM2835*, que funciona a 1GHz con un solo núcleo. Además, posee 512 MB de RAM y la placa gráfica *Broadcom VideoCore IV*. Debido a su pequeño tamaño (65mm x 30mm), se sustituye el puerto HDMI por un MiniHDMI manteniéndose, de esta manera, las mismas prestaciones. Tampoco cuenta con puerto USB estándar, sino que posee dos MicroUSB, uno sirve para alimentación eléctrica y el otro, para datos. Posee salida RCA, pero en lugar de tener clavijas son solamente dos conectores integrados en la placa. Utiliza memorias MicroSD como medio de almacenamiento.

Se entregó junto con la revista *MagPi* N° 40 de Raspberry Pi, que fue distribuida en el Reino Unido y los Estados Unidos. Ese día la *MagPi* se agotó en todas las revisterías internacionales debido al regalo gratuito.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

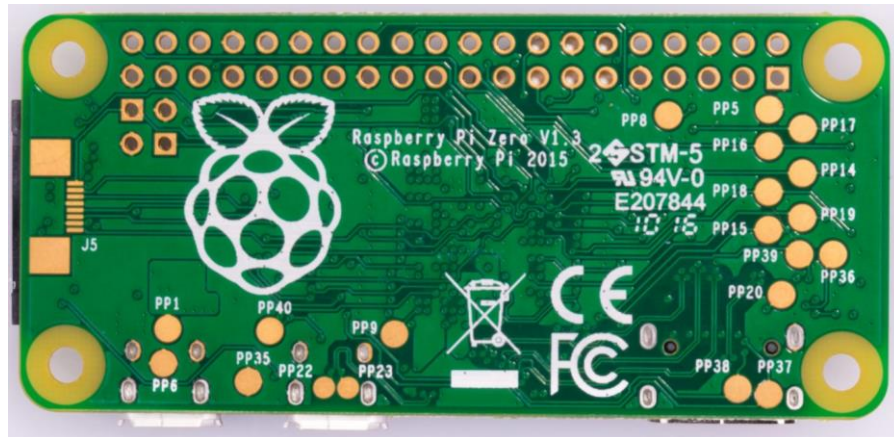


Figura 24 - Placa Raspberry Pi Zero [55].

2.3.3.7 Raspberry Pi 3 Modelo B

Lanzada al mercado en febrero del año 2016, vino para reemplazar al Raspberry Pi 2 Modelo B [56]. Sigue con la misma empresa proveedora de procesadores *Broadcom*, pero cambia notablemente las prestaciones, ya que incorpora un *Quad-Core ARMv8* de 1.2GHz siendo un procesador de 64bits. Mantiene la memoria RAM en 1GB y la mayor novedad, es la incorporación de Wi-Fi y Bluetooth (4.1 *Low Energy*), sin tener la necesidad de adaptadores.



Figura 25 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo B [56].

2.3.3.8 Raspberry Pi Zero W

Es la sucesora de la Raspberry Pi Zero. Lanzada comercialmente a fines de febrero del 2017, posee las mismas prestaciones que la Pi Zero original, pero trae consigo

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

conectividad adicional. Es decir, la *W* es por *Wireless*, ya que la única mejora incorporada a la placa es el Wi-Fi y el *Bluetooth*. La otra diferencia es el costo, ya que el mismo asciende a U\$S 10 [57] [58]. En la Figura 26, se aprecia la placa Raspberry Pi Zero W.

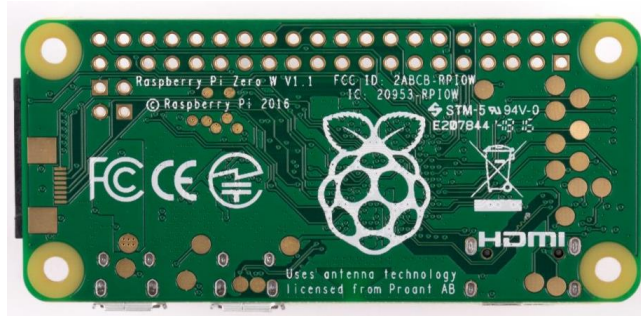


Figura 26 - Placa Raspberry Pi Zero W [57].

2.3.3.9 Raspberry Pi 3 Modelo B+

La Raspberry Pi 3 Modelo B+, la cual se aprecia en la Figura 27, aparece en el mercado en marzo del año 2018, para actualizar al modelo anterior, Raspberry Pi 3 Modelo B [59].

Entre las mejoras incorporadas cuenta con un nuevo procesador (pasa de tener 1.2GHz a 1.4GHz) y mejora la conectividad en distintos aspectos. En cuanto a la conectividad inalámbrica, incorpora doble banda a 2.4GHz y 5GHz, y el nuevo puerto Ethernet triplica la velocidad, pasando de 100Mbps/s que poseía la Raspberry Pi 3 Modelo B a 300Mbps/s. También cuenta con *Bluetooth 4.2 (Low Energy)* [60].



Figura 27 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo B+ [59].

2.3.3.10 Raspberry Pi 3 Modelo A+

Anunciada en noviembre de 2018, presentan menores prestaciones a un menor costo [61]. Cuenta con 512MB de RAM, un solo puerto USB y no trae puerto Ethernet RJ-45 para red por cable. Su forma y conectores se pueden apreciar en la Figura 28.



Figura 28 - Placa Raspberry Pi 3 Modelo A+ [61].

En la Tabla 8, se muestra de manera resumida, las características de cada una de las placas Raspberry Pi con sus respectivos modelos.

2.3.4 Raspbian

Las placas Raspberry Pi, debido a su arquitectura, que las asemeja a una miniPC potente, soportan distintos tipos de sistemas operativos, entre los cuales se pueden mencionar *Slackware*, *SUSE*, *Fedora*, *Ubuntu*, *Windows 10*, entre otros. Pero, sin embargo desde la Fundación Raspberry, se envían las placas con un sistema operativo preinstalado, denominado Raspbian.

La Fundación Raspberry utiliza, principalmente, sistemas operativos GNU/Linux. Raspbian es una distribución derivada del sistema operativo *Debian*, la cual está optimizada para el hardware de la Raspberry Pi, fue lanzado en el año 2012 y es la distribución que recomienda la Fundación para iniciarse [63]. Raspbian cumple con el objetivo del equipo, el cual es ofrecer un sistema operativo rápido para hacer funcionar a la Raspberry Pi. Además, no es casual que hablar de Raspbian nos traiga a colación la palabra *Debian*, una distribución del sistema operativo Linux, ya que es una versión per-

	Raspberry Pi 1 Modelo A	Raspberry Pi 1 Modelo A+	Raspberry Pi 1 Modelo B	Raspberry Pi 1 Modelo B+	Raspberry Pi 2 Modelo B	Raspberry Pi 3 Modelo B	Raspberry Pi 3 Modelo B+	Raspberry Pi 3 Modelo A+	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
SoC	Broadcom BCM2835				Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2837B0		Broadcom BCM2835	
CPU	ARM 1176JZF-S a 700 MHz				900MHz QUAD ARM Cortex-A7	1.2GHz QUAD ARM Cortex-A53	1.4GHz QUAD ARM Cortex-A53		ARM 1176JZF-S a 1GHz	
Instrucciones	RISC de 32 bits				RISC de 64 bits				RISC de 32 bits	
GPU	Broadcom VideoCore IV									
RAM	256MB		512MB		1 GB		512MB			
USB	1		2		4		1		1 MicroUSB	
A/V	RCA, Jack, HDMI	Jack, HDMI		RCA, Jack, HDMI		Jack, HDMI		Mini HDMI		
Almacenamiento	SD	MicroSD		SD	MicroSD					
Red	No			Ethernet 10/100			Ethernet 10/100, Wi-Fi, Bluetooth	Ethernet 10/100/300 (USB), Wi-Fi, Bluetooth	Dual Band Wi-Fi, Bluetooth	No
Alimentación	5v vía MicroUSB o puertos GPIO									

Tabla 8 - Características técnicas de las placas Raspberry Pi [62].

sonalizada de *Debian* que brinda un rendimiento más rápido y óptimo al dispositivo. La distribución de Raspbian y su imagen, se encuentran disponibles en la sección de descargas en la página oficial de la Raspberry Pi [34].



Figura 29 - Logo de Raspbian [64].

Si bien Raspbian puede obtenerse descargándose desde el sitio oficial de Raspberry Pi, no se encuentra afiliado a la Fundación. Fue creado por un pequeño y dedicado equipo de desarrolladores fanáticos de la placa Raspberry Pi, los objetivos educativos que persigue la Fundación Raspberry Pi y el Proyecto *Debian*.

El sistema operativo posee un conjunto de programas y utilidades básicas que hacen que se ejecute la Raspberry Pi. Sin embargo, Raspbian ofrece un poco más que un sistema operativo puro, ya que viene con aproximadamente más de 30.000 paquetes, software pre compilados en formato agradable que permite una fácil instalación en la Raspberry Pi. La compilación de los más de 30.000 paquetes de Raspbian ha sido completada en junio del año 2012. Sin embargo, Raspbian aún se encuentra en desarrollo, con mayor énfasis en lograr una mejor estabilidad y rendimiento de la mayor cantidad de paquetes posibles de *Debian* [64].

Técnicamente, Raspbian es un *port* no oficial de *Debian armhf* para el procesador utilizado en la Raspberry Pi, con soporte optimizado para la realización de cálculos en coma flotante por hardware, lo que permite brindar mayor rendimiento. Este *port* fue necesario al no contar con una versión *Debian armhf* para el procesador ARMv6 que viene con la Raspberry Pi [65].

En diciembre del año 2012, junto a la versión *2012-12-16-wheezy-raspbian* de Raspbian, se lanza la tienda de aplicaciones “*Pi Store*”. En el momento de su lanzamiento, incluía aplicaciones como *LibreOffice* o *Asterisk*, juegos como *Freeciv* u *OpenTTD*. En la tienda se puede poner a disposición de todos los usuarios de Raspbian, mediante supervisión y posterior lanzamiento, diversos contenidos gratuitos o pagos, desde código *Python*, archivos binarios, audio, imágenes o vídeo. Además, en ésta primera versión de la tienda, se pretendía incluir documentación acerca de la placa Raspberry Pi como ser

la revista *MagPi* y distintos tutoriales de proyectos. En la actualidad no se incluye la tienda en el sistema operativo por defecto, pero si puede instalarse ejecutando el siguiente comando [67]:

```
sudo apt-get update && apt-get install pistore
```

Al ser Raspbian una distribución GNU/Linux las posibilidades que se tiene son infinitas. Toda aplicación de código abierto puede recompilarse nuevamente en la propia Raspberry Pi para la arquitectura *armhf* para que pueda utilizarse en el dispositivo, en caso de que el desarrollador no proporcione una versión compilada para esta arquitectura [68].

En el año 2016 se anuncia el lanzamiento de un nuevo escritorio para el sistema Raspbian, denominado PIXEL [69], resultado de “*Pi Improved Xwindows Environment Lightweight*” cuyo significado es “Entorno Ligero Mejorado basado en Xwindows para Raspberry Pi”. La mayoría de los cambios introducidos en este nuevo escritorio, con respecto al anterior LXDE, se encuentran estrechamente relacionados con el aspecto visual del sistema operativo. Se hicieron ajustes en la pantalla de inicio mostrando la versión que se está utilizando; para el fondo de escritorio, se tiene una amplia galería de imágenes; los íconos son más representativos en la barra de tareas, menú y administrador de archivos; las ventanas también han sido rediseñadas con las esquinas redondeadas, barra de título más visible y los bordes más finos, lo que da un aspecto más atractivo y actualizado.

En la última actualización de Raspbian [70], que vio la luz en noviembre del año 2018, se han hecho 2 imágenes. En la denominada “*base*”, no contiene los paquetes de software opcionales. En cambio en la imagen denominada “*full*” sí contiene todos los paquetes opcionales. Además se han agregado y actualizado distintos programas, como ser el reproductor de medios VLC, el IDE de programación de *Python Thonny 3*, entre otros. Además, se volvieron a realizar retoques estéticos y visuales, para compatibilizar algunas configuraciones de versiones anteriores.

El proceso para llevar a cabo la instalación de Raspbian no es complicado. Como Raspberry Pi utiliza memoria SD, lo que se necesita es almacenar una imagen de Raspbian dentro de la memoria. Es la manera más práctica y segura de llevar el sistema operativo al hardware. La Fundación Raspberry Pi recomienda a los principiantes, utilizar NOOBS (*New Out Of the Box Software* – Nuevo Software Listo para Usar). NOOBS es un

instalador de sistema operativo que contiene las imágenes de Raspbian y *LibreELEC*. También es posible seleccionar en una lista de sistemas operativos alternativos que luego se descargan de Internet y se instalan. Además se tiene una versión liviana, *NOOBS Lite*, que contiene el mismo instalador de sistema operativo sin tener precargado Raspbian. Proporciona el mismo menú para seleccionar el sistema operativo, el cual permite descargar e instalar Raspbian u otro que se elija. El tamaño aproximado de la imagen de Raspbian es de unos 4GB. Se puede conseguir la memoria SD con NOOBS preinstalado o seguir las instrucciones que se brindan en [71] para realizar la instalación. Del mismo modo, si se desea instalar algún sistema operativo pero no utilizar NOOBS, se deben seguir las instrucciones que se encuentran en [72] para proseguir con la misma.

2.4 Internet de las Cosas

Al realizar la combinación de Internet con las tecnologías actuales, denominadas emergentes, tales como localización en tiempo real, comunicación de corto alcance, red de sensores integrados, permite transformar los objetos cotidianos como ser heladeras, lavarropas entre otros, en objetos inteligentes que puedan entender y reaccionar ante ciertos eventos de su entorno [73]. ¿Es posible imaginar que una heladera le avise acerca de las fechas de vencimiento de los productos que posee? ¿Qué sucedería si el cepillo de dientes lo alertara sobre alguna carie y solicitase un turno al dentista, sin su intervención? Estos objetos son los elementos fundamentales sobre los que se ha formulado, lo que hoy en día se conoce como, Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*). Es un tema sobre el cual se presta mayor atención en la actualidad, en ambientes informáticos y de alta tecnología. Para muchos es considerada como una nueva generación de intercomunicación, entre objetos de la vida real o cotidiana, el cual constituye una tendencia hacia donde el desarrollo de la tecnología de las telecomunicaciones se mueve de manera acelerada [74].

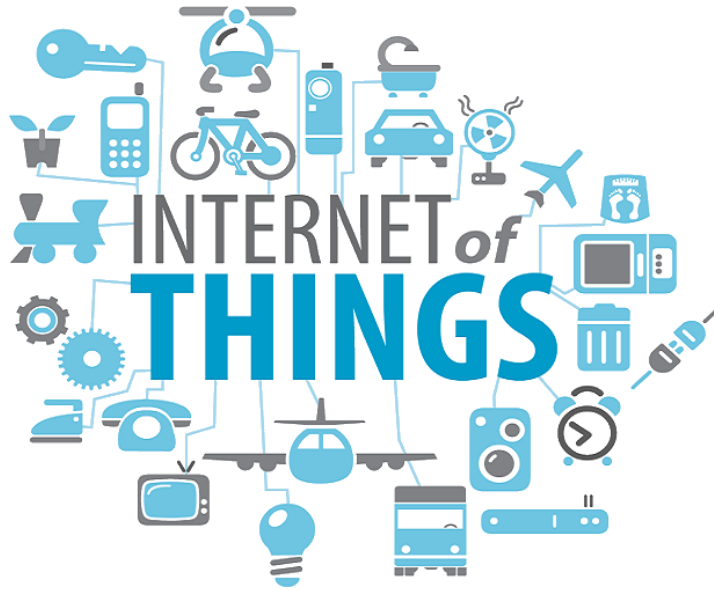


Figura 30 - Entendiendo el Internet de las Cosas [74].

IoT no es otra cosa que la interconexión de cosas, objetos cotidianos, elementos de uso diario a Internet, por medio de distintas tecnologías como los dispositivos con tecnología inalámbrica abierta como *Bluetooth*, Wi-Fi, la identificación de radiofrecuencia (RFID – *Radio Frequency IDentification*) y los servicios que brindan los sensores y actuadores que poseen los dispositivos inteligentes a los objetos [75]. Gracias a la utilización de las tecnologías inalámbricas abiertas bastará con incorporar un diminuto chip en cualquier objeto cotidiano hogareño, del trabajo o de la ciudad para procesar y transmitir información constantemente [76]. Aunque existen diversas maneras de describir lo que es la IoT [77], puede ser considerada como un es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que poseen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora. O de otra manera, una red global de artefactos u objetos que se encuentran interconectados unidireccionalmente, basado en los protocolos de comunicación estándar [78].

2.4.1 Origen

El término IoT, como tal, comenzó a utilizarse a finales de los años noventa. Más precisamente, fue utilizado por primera vez en el año 1999 por Kevin Ashton (1968 -), pionero de la tecnología británica, en el cual describe un sistema en el que los objetos en

el mundo físico podrían conectarse a Internet por medio de sensores. El IoT puede considerarse como un paradigma que sienta las bases y modelos para resolver el inconveniente de tener interconectados todos los objetos que nos rodean [74].

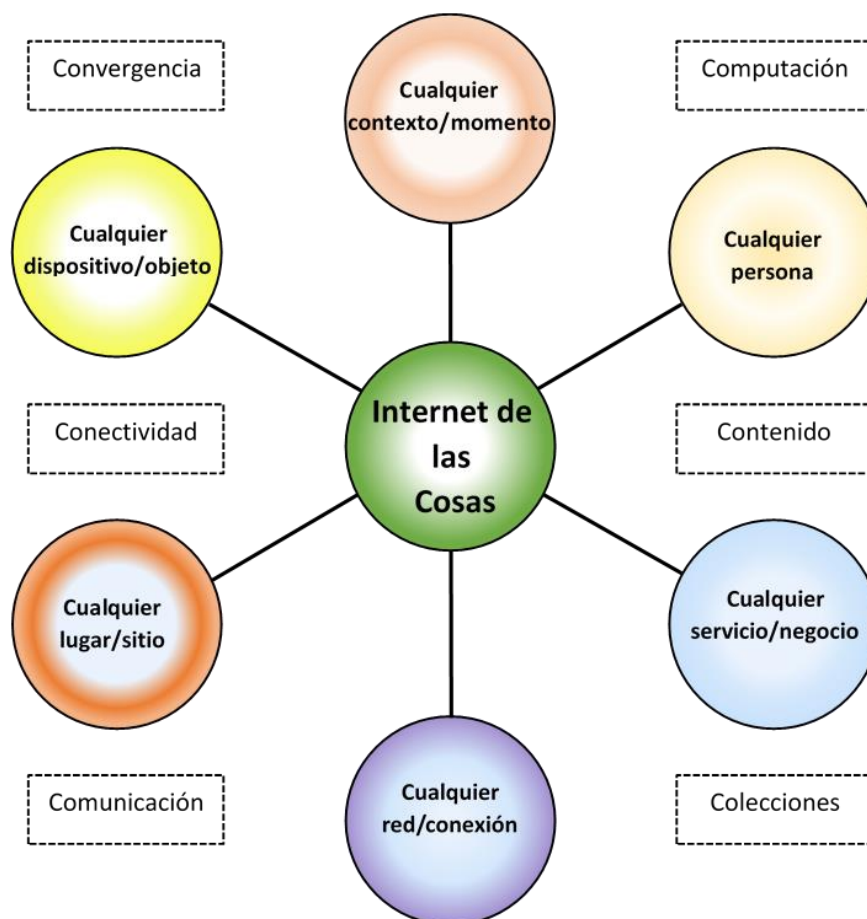


Figura 31 - Internet de las Cosas [Fuente propia].

La ventaja que tiene IoT es que utiliza la gran mayoría de los estándares existentes de Internet, para la transferencia de información, recolección y análisis de datos, así como también el desarrollo de aplicaciones que permitan la interacción y comunicación con los usuarios. La evolución que ha tenido Internet, ha permitido la interconexión e interrelación de las personas por si mismas a través de aplicaciones como correo electrónico, redes sociales, entre otros. En este momento, nos encontramos en la era de la interconexión con los objetos y cosas cotidianas, con el propósito de crear y promover un ambiente informado y confortable para perfeccionar la toma de decisiones y obtener una mejor calidad de vida.

Si bien el término IoT es relativamente nuevo, el concepto de interconexión de computadoras y redes para el monitoreo y control de dispositivos ha existido durante

décadas. Por ejemplo, a fines de la década del 70, había sistemas para monitorear remotamente medidores en la red eléctrica a través de las líneas telefónicas. En la década de 1990, los avances en tecnología inalámbrica han permitido soluciones empresariales e industriales conocida como “máquina a máquina” (*M2M – Machine to Machine*) para que el monitoreo y operación de los equipos sean generalizados. Sin embargo, estas primeras soluciones *M2M* se basaban en redes construidas para fines específicos y en estándares ya patentados o definidos de la industria, en lugar de utilizar redes basadas en el protocolo IP¹⁰ y estándares de Internet. Aunque el uso de IP para conectar dispositivos que no sean computadoras a Internet no es nuevo. El primer objeto conectado a Internet (una tostadora que podía encenderse y apagarse a través de la red) fue presentado en una conferencia de Internet en 1990. Años más tarde, otros objetos estaban habilitados para operar por Internet, como ser una máquina expendedora de bebidas en la Universidad de *Carnegie Mellon* en Estados Unidos o una cafetera en la Universidad de *Cambridge* en el Reino Unido. De estos comienzos, un sólido campo de investigación y desarrollo en “redes de objetos inteligentes” ha servido para crear las bases para lo que se conoce hoy en día como IoT [79].

2.4.2 Elementos de la IoT

Se pueden mencionar tres elementos básicos que interactúan entre sí:

a. Hardware

Forma parte del hardware los sensores, actuadores y dispositivos de comunicación que se encuentran alojados en los objetos. Estos sensores permiten interactuar con las computadoras a todos los objetos de uso diario a través de Internet y recopilar información relevante en el entorno donde se encuentran. Como se indica en [80], “...*Es probable que en un futuro no muy lejano asistamos al momento en que se genere más información a partir de estos sensores que desde el teclado de una computadora...*”. Esto podría producirse, principalmente, porque los sensores son cada vez más pequeños, lo que facilita su integración en cualquier dispositivo u objeto, bajo cualquier circunstancia.

¹⁰ IP *Internet Protocol* – Protocolo de Internet

b. Software

El software permite el intercambio de información entre las aplicaciones y el análisis de datos con las herramientas informáticas disponibles. Mediante la utilización de software, se puede producir respuestas inmediatas a fenómenos físicos sobre la información que recogen los sensores o en base a determinados patrones que siguen los objetos o personas. Se generan oportunidades para satisfacer los requerimientos de negocio, se supervisan actividades hechos por las personas, se desarrollan servicios en tiempo real.

Debido a estas nuevas aplicaciones que se desarrollan, surgen nuevos métodos de análisis de la información y las tareas realizadas de forma manual son sustituidas por mecanismos automáticos que operen en base a la información obtenida por las aplicaciones, prescindiendo de la intervención humana.

Los expertos indican que existen diversas oportunidades de negocio relacionado con IoT, no solamente el análisis de datos. Se están desarrollando software que almacene, recopile, integre y organice la información, la cual es obtenida por medio de los sensores, con otras fuentes de datos o se disparen alertas en aplicaciones u objetos que sean utilizados por las personas.

c. Herramientas

Las herramientas facilitan la visualización e interpretación de la información y deben ser diseñadas para que cualquier aplicación o dispositivo, pueda tener acceso a ella en cualquier parte del mundo.

Esto se debe a que la infraestructura de las empresas de telefonía móvil es limitada y el uso masivo que están teniendo los *smartphones* está saturando la capacidad de las redes. Si, además, sumamos los millones de dispositivos que se conectan a Internet alrededor del mundo, la tecnología 3G o LTE no son suficientes y se ven saturadas las redes móviles. Ante esto, se han pensado una serie de medidas para poder solventarlo. Los gobiernos comienzan a realizar inversiones para compartir el espectro. Actualmente, la tendencia es instalar los llamados *wifi hotspots* de conexión a Internet. Estas conexiones se ubican en lugares públicos donde se permite conectar una *notebook* o teléfono celular.

2.4.3 Beneficios

IoT surge de la problemática por la gestión de la cadena de suministros, que buscaba resolver el tema de los requerimientos de información de cada uno de los objetos que se gestionaban. El principal objetivo era brindar información a cada objeto o dispositivo para luego poder localizarlo, enviarle información o instrucciones para operar, controlar y monitorear su estado y otras variables de información.

La coincidencia de distintas tendencias tecnológicas y de mercado, posibilita la interconexión de dispositivos pequeños de forma económica y sencilla [79].

- Conectividad ubicua: conectividad generalizada de redes de bajo costo y gran velocidad, especialmente a través de tecnología y servicios inalámbricos con y sin licencia, lo cual hace que casi todo sea “conectable”.
- Uso generalizado de redes basadas en IP: IP se convirtió en el estándar global preponderante utilizado en las redes, proporcionando una plataforma bien definida y ampliamente utilizada de software y herramientas que pueden ser incorporados en una amplia variedad de dispositivos de una manera económica y fácil.
- Economía de la informática: el impulso dado por inversiones de la industria en investigación, desarrollo y manufactura, la ley de *Moore* continua brindando mayor poder de cómputo a precios mucho más bajos y con un menor consumo de energía.
- Miniaturización: los avances en la fabricación de dispositivos permite la incorporación de tecnología informática y comunicaciones de vanguardia en pequeños objetos. Esto, en conjunto con una mayor economía de la computación, ha impulsado el desarrollo de sensores económicos y pequeños, que posibilitan la implementación de muchas aplicaciones IoT.
- Avances en el análisis de datos: nuevos algoritmos y el crecimiento acelerado del poder computacional, el almacenamiento de datos y servicios en la nube permiten la agregación, correlación y análisis de grandes volúmenes de datos; estas grandes cantidades de datos ofrecen nuevas oportunidades para extraer información y conocimiento.

- Incremento de la computación en la nube: la computación en la nube, que aprovecha y utiliza los recursos informáticos conectados a la red para poder procesar, administrar y almacenar datos, permite que pequeños dispositivos distribuidos interactúen entre sí con potentes capacidades de control y análisis de *back-end*.

Además, se pueden mencionar otros beneficios que traen consigo el IoT [81]:

- Seguimiento: los dispositivos mantienen un seguimiento, tanto de la calidad como de la viabilidad, de las cosas en el hogar. Conocer la fecha de vencimiento de los productos antes de consumirlos mejora la seguridad y calidad de vida. Además, uno se puede enterar de los artículos que estén quedando pocos en el hogar, antes de quedarse sin ellos.
- Tiempo: la cantidad de tiempo que se ahorraría en el monitoreo y los viajes realizados de otra manera, por otras rutas, serían enormes.
- Dinero: se podría considerar al aspecto financiero como la mejor ventaja. La implementación de esta tecnología permitirá reemplazar a las personas que se encuentran a cargo de monitorear y mantener los suministros.

2.4.4 Desventajas

A medida que IoT facilita un conjunto de ventajas, también se crean un significativo conjunto de desafíos, o desventajas, que se deben prestar particular atención [81] [82]. Estos son:

- Seguridad: IoT genera un gran ecosistema de dispositivos conectados, comunicándose a través de redes. El sistema posee poco control a pesar de las medidas de seguridad. Esto deja a los usuarios expuestos a distintos tipos de ataque. Existe la posibilidad de que el software pueda ser *hackeado* y la información sensible sea mal utilizada.
- Privacidad: la sofisticación de IoT proporciona datos personales con un gran detalle sin tener la participación activa del usuario, dueño de estos datos.

- **Compatibilidad:** En la actualidad, no existe un estándar para etiquetar y monitorear con sensores. Se requiere un concepto más generalizado, como el USB o *Bluetooth*, que no debería ser tan complicado de lograr uno.
- **Complejidad:** el diseño, desarrollo, puesta en funcionamiento y mantenimiento de las tecnologías para el sistema IoT es bastante complejo, tanto que existen varias oportunidades para que “fallen”. Por ejemplo, una persona y su cónyuge pueden recibir mensajes, en sus respectivos teléfonos, de que hace falta comprar leche y ambos terminan comprando; eso deja el doble de la cantidad que se requiere.
- **Cumplimiento:** IoT, como cualquier otra tecnología dentro del ámbito de los negocios, debe cumplir con las regulaciones. La complejidad de esto, hace que el tema del cumplimiento parezca increíblemente desafiante, cuando muchos consideran que el cumplimiento de estándar para software es una batalla.

2.4.5 Riesgos

Los objetos y dispositivos IoT pueden presentar una gran variedad de potenciales riesgos de seguridad y privacidad, que podrían ser utilizados en perjuicio de los consumidores [74]. Por mencionar algunos, riesgos de seguridad sería permitir el acceso y utilización indebida de información personal no autorizada; explotar vulnerabilidades de seguridad creando, de ésta manera, riesgos para la seguridad física de personas u objetos.

Además de los riesgos de seguridad, también se pueden identificar riesgos para la privacidad, como la recolección de información personal, la geolocalización, datos de cuentas financieras, etc., lo que permitirá que una entidad no autorizada pueda obtener esta información sensible. Si bien, estos riesgos existen con las redes informáticas y la tecnología tradicional, se acrecienta mucho en el IoT debido, en gran medida, a la cantidad de dispositivos que se encuentran conectados a la red, recolectando y transmitiendo información.

Aunque IoT puede generar numerosos beneficios en distintos aspectos, como ser el financiero, de salud, calidad de vida, etc., también puede presentar nuevos riesgos. Cualquier introducción de nueva tecnología, proceso o método de negocios puede

incrementar el riesgo, pero IoT posee el potencial para incrementarlo significativamente. Los escenarios de los riesgos difieren entre las empresas que fabrican y comercializan sistemas integrados y las empresas que son usuarios de estos dispositivos.

ISACA¹¹ indica que, para poder evaluar los riesgos de manera integral, se deben tener en cuenta numerosas áreas de riesgo técnico, operativo y comercial para poder equilibrar los beneficios [83]. Si bien el riesgo específico depende del uso, estas podrían considerarse algunas de las áreas a tener en cuenta por los profesionales para poder controlar/mitigar los riesgos en IoT [83]:

Riesgo del Negocio o Comercial:

- Salud y Seguridad.
- Privacidad del usuario.
- Costos inesperados.
- Cumplimiento de la normativa.

Riesgo Operacional:

- Acceso indebido a distintas funcionalidades.
- Utilización y acceso desde “las sombras”.
- Rendimiento.

Riesgo Técnico:

- Vulnerabilidades, actualizaciones y gestión de los dispositivos.

2.4.6 Aplicaciones

IoT posee muchas potenciales aplicaciones, entre las que se pueden mencionar como ejemplo: en la industria, la educación, la agricultura, la biología, los animales, la medicina, la industria automotriz, la salud, monitoreo de infraestructura como puentes y edificios, entre otros.

Entre las áreas de mayor potencial de aplicaciones que se pueden mencionar es el monitoreo, seguimiento y control de aspectos cotidianos de la vida, esto es verificar el contenido de la heladera para ver si hay leche o algún producto que esté próximo a

¹¹ ISACA: Acrónimo de *Information Systems Audit and Control Association* – Asociación de Control y Auditoría de Sistemas de Información

vencer; monitoreo de pacientes; monitoreo y expansión de enfermedades y plagas; monitoreo, seguimiento y control del estado de una flota de camiones; entre otras.

Existen varios dominios de aplicaciones que se verán afectados por el uso de IoT. Estas aplicaciones pueden clasificarse según la disponibilidad de red, cobertura, escala, heterogeneidad, participación del usuario e impacto [84]. Según [85], las aplicaciones se clasifican en cuatro dominios de aplicación: (a) Hogar y Personal; (b) Empresarial; (c) Utilidades; y (d) Móvil. Sin embargo, el número de aplicaciones y servicios que pueden proporcionar es prácticamente ilimitado y puede adaptarse a muchos campos y actividades de la vida humana. A continuación se mencionará una breve lista de aplicaciones y servicios que se basan en IoT:

- a) Edificios inteligentes: mejoras en la eficiencia (gestión y ahorro de energía) y de seguridad (alarmas y sensores). Aplicaciones domóticas que incluyen actuadores y sensores inteligentes para controlar electrodomésticos. Apagado automático de los electrodomésticos cuando no estén en uso. Detectores de humo y alarmas. Aplicaciones de control de acceso. Cerraduras inteligentes, entre otros.
- b) Ciudades inteligentes: Optimización del transporte público y privado. Sensores de estacionamiento. Gestión inteligente de semáforos en función al caudal de vehículos. Monitoreo de accidentes y coordinar acciones de emergencias. Administración eficiente del agua para riego de parques y jardines. Contenedores de basura inteligentes. Gobernanza inteligente. Sistemas de votación, entre otros. En la Figura 32 se muestra una ilustración ejemplo de los avances en cuanto a ciudades inteligentes [86].



Figura 32 - Ejemplos de aplicaciones IoT: Ciudades inteligentes [86].

- c) Educación: Servicios de acceso a bibliotecas virtuales y portales educativos. Vinculación de aulas virtuales y físicas para el aprendizaje. Aprendizaje de idiomas extranjeros. Gestión de asistencia, entre otros.
- d) Electrónica de consumo: Teléfonos, televisores, heladeras, lavarropas, lavavajillas y secadores inteligentes. Sensores para el collar de la mascota, sea perro o gato.
- e) Salud: monitoreo de enfermedades crónicas. Seguimiento de actividades, deporte y monitoreo de actividades de *fitness*. Mejora en la calidad de atención y calidad de vida de los pacientes. Monitoreo en los hábitos alimenticios, entre otros.
- f) Agricultura y medio ambiente: Medición y control de la contaminación del medio ambiente (CO₂, el ruido, elementos contaminantes presentes en el aire). Predecir cambios climáticos basándose en el monitoreo de sensores inteligentes. Sensores en *pallets* de productos, entre otros.
- g) Servicios de energía: Datos precisos sobre el consumo de energía. Análisis y predicción de comportamientos de consumo y patrones. Pronosticar tendencias y futuras necesidades de energía, entre otros.
- h) Fabricación: Sensores de flujo y gas. Sensores inteligentes de humedad, temperatura, movimiento, fuerza, carga, niveles y fugas. Control inteligente de robots. Control y optimización en los procesos de fabricación. Reconocimiento de patrones. Aprendizaje automático, entre otros.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 3

Selección de herramienta

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 3: Selección de herramienta

En la actualidad, el mundo se encuentra viajando hacia una profunda integración digital. Lo que se conoce como “Internet de las Cosas” promete un futuro de ciudades conectadas, hogares automáticos, productos inteligentes y procesos ilimitados.

En este capítulo mencionaremos las distintas plataformas y herramientas disponibles en el mercado para la creación de software IoT. Luego de hacer un exhaustivo análisis sobre cada una de las herramientas encontradas, mencionando sus ventajas y desventajas, se seleccionará para la realización del presente trabajo, la que mejor se adecue a nuestras necesidades.

3.1 Grandes Plataformas

En el siguiente apartado, se mencionarán las distintas plataformas comerciales que se encuentran disponibles para la realización de software IoT. Dentro del mismo, también se incluirán las distintas empresas que comercializan soluciones IoT, las cuales poseen sus propios desarrollos e implementaciones.

3.1.1 ORBCOMM

ORBCOMM [87] es un líder mundial en IoT industriales que brinda soluciones que conectan a las distintas empresas con sus activos para tener una mayor visibilidad y eficacia operativa. También es considerado como el proveedor líder en el mundo en el sector “Máquina a Máquina” (M2M – *Machine-to-Machine*), el cual opera la única red satelital 100% comercial y dedicada pura y exclusivamente a M2M. Ofrece una amplia variedad de soluciones de monitoreo y control de activos que incluyen conectividad celular y satelital integrados, hardware y aplicaciones, y se cuenta con el respaldo de soporte al cliente extremo a extremo, desde la instalación a la implementación y servicio de postventa.

Posee una variada base de clientes que incluyen fabricantes de equipos originales (OEM en inglés, *Original Equipment Manufacturer*), usuarios finales y socios en las

industrias de transporte, la cadena de suministro, almacenamiento e inventarios, equipos pesados, marítimos, recursos naturales y agencias gubernamentales.

ORBCOMM Inc. fue fundada en el año 1993 por *Orbital Sciences Corporation*, empresa estadounidense especializada en la fabricación y lanzamiento de satélites, en Dulles, Virginia. Como se menciona en su sitio web, en los últimos 15 años ORBCOMM ha establecido una sólida posición de liderazgo, innovación y experiencia en la industria M2M global. A lo largo de su historia, la empresa ha adquirido otras empresas y soluciones para poder expandirse junto con la cartera de clientes. A continuación se mencionan algunas de las adquisiciones, que son consideradas claves, realizadas por ORBCOMM:

- *Sistemas StarTrak* (2011): la compra de *StarTrak* y sus marcas *ReeferTrak®* y *GenTrak™* es considerada un importante hito en la evolución de ORBCOMM como empresa innovadora, basada en servicios de comunicaciones M2M vía satélite. *StarTrak*, un proveedor líder en servicios de seguimiento, monitoreo y control para el transporte refrigerado, ofrecía a sus clientes la capacidad de supervisar de manera proactiva, gestionar y controlar sus activos de transporte refrigerado.
- *LMS PAR* (2012): La compra de *PAR Logistics Management Systems* (PAR LMS), líder en soluciones avanzadas para el seguimiento de los activos de transporte y de carga, extiende las ofertas de modo dual, terrestre y satélite de ORBCOMM, impulsando el crecimiento de las ventas en segmentos de negocio atractivos.
- *MobileNet* (2013): Con la compra de *MobileNet*, se aborda directamente las oportunidades en la industria de maquinaria pesada a través de empresas OEM, concesionarios y propietarios de flotas. Esto le permite a ORBCOMM ofrecer a la industria una completa solución de gestión de flotas, reduciendo los costos y el tiempo de lanzamiento al mercado.
- *GlobalTrak* (2013): La compra de *GlobalTrak* le permitió a ORBCOMM ampliar sus servicios M2M integrados en mercados industriales y geográficos nuevos. La combinación de la tecnología de seguimiento de contenedores y vehículos de *GlobalTrak* con las capacidades de ORBCOMM genera un nuevo abanico de ofertas de productos a través de una red de distribución global.

- Seguimiento de activos SENS (2013): La compra del Sistema de Notificaciones con Sensores (SENS) de *Comtech* facilitó la estrategia de operador multi-red de ORBCOMM y fortaleció su posición como el proveedor líder de comunicaciones celulares y satelital para el sector M2M.
- *Euroscan* (2014): Con la compra de *Euroscan*, ORBCOMM agrega sistemas integrales que son implementados en todo el mundo para controlar y garantizar el transporte seguro de productos alimenticios y farmacéuticos, monitoreando y asegurando el cumplimiento de la temperatura a través de toda la cadena de suministro.
- *InSync Software* (2015): Con la incorporación de *InSync Software*, ORBCOMM agrega grandes capacidades de aplicación y permite a sus clientes implementar soluciones M2M e IoT ágilmente por medio de los mercados claves de la empresa. Con esto, los clientes se ven beneficiados en menores costos de desarrollo, menores tiempos de comercialización y mejora del retorno de la inversión.
- *SkyWave Mobile Communications* (2015): La compra de *SkyWave* ha mejorado la estrategia de ORBCOMM de brindar el abanico de opciones y capacidades más completo en el sector M2M. Con esto, posee uno de los mayores equipos de ingeniería combinados de la industria M2M.
- *WAM Technologies* (2015): En el año 2015, ORBCOMM adquiere *WAM Technologies LLC*, una filial de *Mark-It-Services, Inc.* Esto amplía y mejora las soluciones de control de la cadena de frío, que incluyen remolques, vagones, grupos electrógenos y, a partir de esto, contenedores marítimos.
- *Skygistics* (2016): Con la compra de *Skygistics (PTY) Ltd.* y sus sucursales en Australia y Sudáfrica, se ha aumentado la distribución de sus productos en los mercados de IoT de rápido crecimiento, entre los que se encuentran incluidos Sudáfrica y otros países africanos. Proporciona distintas opciones de conectividad satelital y celular, además de soluciones telemáticas que se relacionan con la gestión de activos móviles y a distancia.
- *inthinc* (2017): Con una vasta cantidad de soluciones telemáticas, *inthinc, Inc.* brinda un excelente inicio a ORBCOMM en el mercado de la gestión de flotas de vehículos.

- *Blue Tree Systems* (2017): La compra de *Blue Tree* incorpora soluciones para cabinas de camiones y flota de vehículos refrigerados a la gran cartera de transportes de ORBCOMM.

3.1.1.1 Soluciones

Como se ha mencionado, ORBCOMM es un proveedor de conectividad de múltiples redes, dispositivos y potentes aplicaciones para distintas industrias, entre ellas el transporte y distribución, maquinarias pesadas, petróleo y gas, entre otras.

Desde potentes aplicaciones de creación de informes web hasta la habilitación de soluciones y aplicaciones “llave en mano” en la plataforma IoT, las distintas soluciones que presenta ORBCOMM posee las herramientas necesarias para los desarrolladores, integradores de sistemas y empresas para poder monitorear y controlar los activos fijos y móviles de forma remota alrededor del mundo. Entre el abanico de soluciones que presenta ORBCOMM, nos encontramos con las siguientes:

- **Aplicaciones Web:** estas aplicaciones de creación de informes proporciona la información que los gestores de flotas necesitan para conocer el estado y ubicación de los activos, reducir costos y proteger la carga que trasladan.
- **Gestión de suscriptores:** *ORBCOMMconnect* es una plataforma de alto rendimiento que brinda servicios para la gestión de suscriptores diseñada para la gestión e integración de activos IoT y M2M a través de distintas redes y tecnologías. *ORBCOMMconnect* se considera como un componente clave del kit integral de herramientas IoT.
- **Continuidad Empresarial:** se ofrece una amplia gama de *routers*, aplicaciones y conectividad de conmutación inalámbrica, con el objetivo de que las conexiones siempre se encuentren disponibles y que las empresas mantengan las máquinas y procesos conectados, sucursales sincronizadas y las transacciones fluyendo sin inconvenientes.

De las soluciones mencionadas anteriormente, salvo la “Gestión de Suscriptores”, que se menciona como una herramienta importante dentro del paquete de soluciones IoT, las demás se encuentran orientadas a salvaguardar y proteger los activos empresariales, monitoreo de las cargas y las flotas, por lo que son descartadas para la implementación que aquí se desea realizar. Para mayor información acerca de estos productos y

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

soluciones, puede visitar [88]. A continuación, veremos con mayor detalle el Kit de herramientas IoT.

3.1.1.2 Kit de Herramientas IoT

Como se ha ido mencionando, ORBCOMM posee una amplia gama de herramientas que permitirán el desarrollo rápido y económico de soluciones IoT, las cuales se orientan a mejorar la rentabilidad del negocio. Este kit permitirá habilitar soluciones que mejorarán la utilización de los activos, reducir costos y ayudar en la gestión de los riesgos para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad.

Los componentes que integran el kit pueden adquirirse juntos o por separado, brindando a las empresas o usuarios la capacidad de poder crear su propia solución IoT específica con la ventaja que todos poseen soporte técnico, nucleados en un único contacto. En la Figura 33, se muestra los distintos componentes que posee el Kit de herramientas IoT.

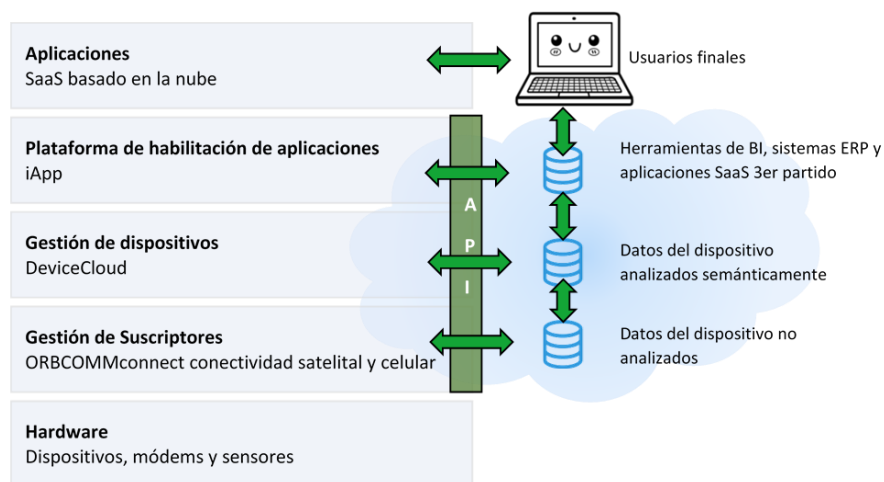


Figura 33 - Kit de herramientas IoT de ORBCOMM [88].

A continuación se verá en detalle cada una de las herramientas que forman parte del kit. La herramienta “Gestión de Suscriptores” ha sido mencionada en el apartado anterior, por lo que en esta sección se omitirá mayores detalles de la misma.

3.1.1.2.1 Aplicaciones Web

Las aplicaciones basadas en web de ORBCOMM para el seguimiento de activos, ofrece los conocimientos que los clientes requieren y necesitan para poder tomar decisiones razonables en relación a sus activos, flota y carga.

Dentro de esta categoría, encontramos distintas herramientas y características de los sistemas, a saber:

- Transporte vial
 - *FleetManager*
 - *CargoWatch*®
- Transporte intermodal
 - *ReeferConnect*
 - *VesselConnect*
 - *CargoWatch Secure*
- Equipos pesados
 - *FleetEdge*
- *RFID*¹²/*RTLS*¹³
 - *Software RFID*
 - *AssetWatch*TM

3.1.1.2.2 iApp

Las actuales soluciones disponibles para realizar el seguimiento de los activos de una empresa, aprovechan las modernas aplicaciones IoT, *RFID* y sensores para realizar el monitoreo de los activos, incrementar los ingresos y gestionar mejor los riesgos. Sin embargo, el aprendizaje requiere tiempo y esfuerzo, existen grandes flujos de datos, las opciones de tecnologías disponibles son infinitas y la integración entre las partes resultan bastante complejas.

La plataforma de habilitación de aplicaciones *iApp*, la cual está basada en la nube, permite el desarrollo y gestión de aplicaciones IoT, basadas en sensores y *RFID*, así como el desarrollo de distintas soluciones que proporcionan a la empresa, una visibilidad de la

¹² *RFID* (*Radio Frequency Identification* - Identificación por Radio Frecuencia)

¹³ *RTLS* (*Real Time Location System* - Sistema de Localización en Tiempo Real)

cadena de suministro punto a punto. Con esto, las empresas aprovecharán la escala, infraestructura y experiencia que le brinda ORBCOMM para el desarrollo rápido y eficaz de las soluciones.

iApp se encarga de reducir tiempo, costos y complejidad para implementar soluciones IoT empresariales al brindar una gran variedad de componentes y plantillas útiles para la industria. Combinando las capacidades de seguimiento e identificación, rastreo vía GPS¹⁴ y sistemas locales de información y monitoreo de activos, *iApp* permite el desarrollo de soluciones escalables y de gran rentabilidad; además utiliza conectividad multimodal, que incluye Wi-Fi, redes celulares, satélites y RFID activa o pasiva, entre otros.

iApp ofrece desarrollo y soporte de aplicaciones móviles para distintas plataformas, entre las que se mencionan *iOS*, *Android*, *Windows Mobile* y *HTML5*.

iApp se ha ganado la confianza de algunas de las empresas más grandes del mundo, gracias a su capacidad de desarrollo de soluciones en las distintas áreas:

- Gestión de inventarios y almacenes.
- Cadena de frío y productos farmacéuticos.
- Seguimiento de activos en interiores/exteriores.
- Energía.

3.1.1.2.3 Gestión de dispositivos: *DeviceCloud*

DeviceCloud permite gestionar distintas redes y dispositivos por medio de una sola interfaz, llevando la conectividad y mensajería específica de cada dispositivo hacia una única interfaz y API¹⁵ de mensajería común para todos los dispositivos con que se cuenta. *DeviceCloud* incluye funciones de configuración, actualizaciones de firmware, normalización de datos e importantes funciones de mensajería, como ser alertas y análisis.

Al contar con una única interfaz para la gestión de dispositivos, el usuario podrá agregar, cambiar y actualizar dispositivos (sean estos de ORBCOMM o de terceros) sin

¹⁴ GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamiento Global)

¹⁵ API (*Application Programming Interface*): Interfaz de Programación de Aplicaciones. Se trata de un conjunto de subrutinas, procedimientos y funciones que ofrece cierta biblioteca para poder ser utilizada por otra aplicación o software como una capa de abstracción.

tener la necesidad de actualizar la aplicación. Con esto, el usuario puede hablar un solo idioma con sus dispositivos IoT o M2M.

3.1.1.2.4 Hardware

Las soluciones que brinda ORBCOMM en cuanto al hardware M2M de modo dual, celulares y satelital son robustas, confiables, flexibles y diseñadas para la industria que se tiene en mente. El hardware de seguimiento de ORBCOMM incluye dispositivos M2M, sensores, módems, chipsets, antenas y mucho más. Para mayor detalle acerca del hardware que comercializa ORBCOMM, visite [89].

3.1.1.3 Costos de implementación

En el sitio web, cuando se ingresa a investigar y revisar las distintas soluciones y equipamientos disponibles, se puede visualizar una burbuja de chat que se activa para poder resolver la inquietud y, en todo caso, derivar con un asesor de ventas.

El responsable de ventas de América del Sur, el señor Mauro Micheletti, se puso en contacto para brindar el soporte y apoyo de acuerdo a lo que se solicitaba como solución propuesta. Indaga acerca de la conectividad que se tendrá disponible en la cámara hidropónica, si se necesitan enviar los datos por satélite o si se tiene cobertura celular en la zona donde está la cámara de germinación.

Al comentarle acerca de la ubicación geográfica donde se encuentra la cámara, el señor Micheletti comenta que el fuerte de ORBCOMM es la conectividad satelital, con lo cual queda bastante alejado de la implementación que aquí se desea realizar. No obstante, ofrece contactar a una empresa especializada en IoT, la cual desarrolla equipamientos con conectividad celular que puede servir para este trabajo, no brindando mayores detalles acerca de los costos de implementación de los servicios de ORBCOMM.

3.1.2 Amazon Web Services (AWS)

En la actualidad existen millones de dispositivos alrededor del mundo que son utilizados en los hogares, hospitales, automóviles, entre otros lugares. Con el crecimiento masivo de estos dispositivos, se necesitan cada vez más soluciones que nos permitan

conectarlos y poder obtener, almacenar y procesar los datos que brindan estos dispositivos.

Amazon Web Services (en adelante AWS) posee, dentro de su gama de servicios disponibles, soluciones comerciales, industriales y para consumidores que utilicen IoT. AWS IoT [90] ofrece amplia y profunda funcionalidad en la nube, de modo que se pueden crear soluciones IoT para cualquier fin en una gran variedad de dispositivos. Dado que AWS IoT también se integra con los servicios de inteligencia artificial, los dispositivos pueden hacerse más inteligentes, incluso sin tener conexión a Internet. Debido que el servicio se encuentra disponible en la nube de Amazon, AWS IoT puede escalarse con facilidad a medida que los dispositivos aumentan y los requisitos empresariales evolucionan. Además, también ofrece funciones de seguridad completas que permite la creación de políticas preventivas de seguridad y responder con celeridad a potenciales problemas.

Entre los porqués utilizar AWS IoT se pueden mencionar:

- Servicios amplios y sólidos: AWS ostenta servicios amplios y sólidos, en las ubicaciones de borde como en la nube. El software de dispositivo permite recolectar y analizar datos locales. AWS IoT es el único proveedor, en la nube, que combina la administración y análisis de datos completos en servicios diseñado específicamente para datos sin filtrar.
- Seguridad de múltiples capas: AWS IoT brinda servicios para todas las capas de seguridad. Incluyen, también, mecanismos preventivos como el cifrado y control de acceso a los datos del equipo. Además, ofrece un servicio para monitorizar constantemente y auditar las configuraciones de seguridad.
- Integración de inteligencia artificial (IA) superior: AWS se encuentra combinando IA e IoT para hacer que los dispositivos sean más inteligentes. Se pueden crear modelos en la nube y replicarlos en dispositivos que funcionan al doble de velocidad con respecto a otros servicios disponibles en el mercado.
- Escalabilidad garantizada: AWS IoT está diseñado y montado en una infraestructura escalable y segura, y puede llegar a escalar a millones de dispositivos y mensajes diferentes. Además, AWS IoT se integra con

distintos servicios como AWS Lambda¹⁶, Amazon S3¹⁷ y Amazon SageMaker¹⁸ para poder crear soluciones completas.

3.1.2.1 Soluciones de AWS IoT

Dentro de las distintas soluciones que ofrece el utilizar AWS IoT, a continuación se verán algunos ámbitos en donde se encuentran, en la actualidad, implementadas y expandiéndose continuamente.

3.1.2.1.1 *IoT Industrial*

Los clientes que utilizan AWS IoT están planteando aplicaciones de uso industrial basadas en IoT para realizar un mantenimiento predictivo y así poder garantizar el nivel de calidad, como también vigilar de manera remota las operaciones.

IoT Industrial [91] trata de acortar la brecha entre el equipamiento industrial heredado y la infraestructura y nuevas tecnologías, como ser el aprendizaje automático, la nube y dispositivos móviles, entre otros. Los servicios de AWS IoT permiten a las empresas industriales poder razonar sobre sus datos operativos y mejorar el rendimiento, productividad y eficiencia de los procesos industriales.

Dentro de los distintos casos de uso de IoT Industrial, podemos mencionar:

- Calidad predictiva: el análisis de calidad predictiva extrae información de fuentes de datos industriales (por ej. equipos de fabricación, condiciones ambientales, observaciones de los idóneos) con el fin de optimizar la calidad de la producción de la fábrica. Con esto, los fabricantes industriales pueden generar modelos de calidad predictiva que faciliten la creación de mejores productos. A mayor calidad de los productos, mejora la satisfacción del cliente y se reduce el retiro de los productos del mercado.
- Monitoreo de activos: el monitoreo de los activos captura el estado de las maquinarias y equipos para determinar su rendimiento. Con AWS IoT, se

¹⁶ AWS Lambda: <https://aws.amazon.com/es/lambda/>

¹⁷ Amazon S3: <https://aws.amazon.com/es/s3/>

¹⁸ Amazon SageMaker: <https://aws.amazon.com/es/sagemaker/>

pueden obtener todos los datos como ser temperatura, vibración y los códigos de error que indican si el equipo funciona correctamente.

- **Mantenimiento predictivo:** el análisis del mantenimiento predictivo toma el estado de los equipos para poder identificar posibles fallas antes de que se produzcan y afecten la producción; esto aumenta la vida útil del equipo, la seguridad de los trabajadores y optimiza la cadena de suministros.

Entre los porqués utilizar AWS IoT para aplicaciones industriales, podemos mencionar:

- **Tomar decisiones inteligentes:** AWS IoT ayuda a recopilar datos de la planta a través de una puerta de enlace local, permite estructurar y etiquetar esos datos, y generar indicadores de rendimiento y métricas en tiempo real para tomar mejores decisiones basadas en datos. También permite agregar aprendizaje automático a los entornos industriales.
- **Control de todos sus dispositivos:** AWS IoT brinda la capacidad de poder conectar rápidamente grandes y diversas cantidades de dispositivos; también lo ayuda a poder incorporar nuevos tipos de dispositivos. Con esto se puede mantener un inventario completo de dispositivos con información de estado, como número de serie, fecha de fabricación o temperatura actual, entre otros.
- **Minimizar el tiempo de inactividad de producción:** Cuando se caen las líneas de producción, se pierden los acuerdos de nivel de servicio e ingresos. Con AWS IoT, los dispositivos pueden recabar datos, comunicarse entre sí y adoptar medidas locales, incluso con conectividad intermitente en la nube.
- **Mantener seguros los datos y dispositivos:** AWS IoT ayuda a tener seguro los dispositivos y los datos del dispositivo mediante autenticación y autorización de dispositivo, cifrado de datos y control de acceso a los datos del dispositivo.

3.1.2.1.2 Hogares conectados

Un hogar conectado reúne servicios y dispositivos para una experiencia integra y autónoma que permite mejorar la vida del consumidor. Hogar conectado incluye todo, desde luces controladas por voz, robot para los quehaceres domésticos, cámaras de

seguridad habilitadas para realizar aprendizaje automático, entre otros. Debido al bajo costo y a las distintas opciones de conectividad, estos dispositivos domésticos inteligentes, sensores y herramientas se pueden interconectar para poder crear experiencias inteligentes, en tiempo real para los consumidores [92].

IoT potencia el hogar conectado brindando nuevas características y capacidades a los distintos dispositivos inteligentes, como la interconectividad, seguridad, comunicación fuera de línea, mantenimiento predictivo, análisis de la información para el consumidor y aprendizaje automático. Cada una de estas capacidades juega un papel fundamental en diferentes tipos de usos, como la automatización del hogar, la seguridad y monitoreo del hogar o las redes domésticas.

Dentro de los distintos casos de uso de Hogares Conectados mediante IoT, podemos mencionar:

- Automatización del hogar: la automatización del hogar incluye una gran variedad de dispositivos IoT conectados que se pueden encontrar en el hogar, como ser lavarropas, horno, heladera, televisor, entre otros. AWS IoT ayuda a mejorar la experiencia del cliente permitiendo que un dispositivo se conecte y realice una acción rápida, fácil y confiable.
- Seguridad y Monitoreo del hogar: los productos disponibles en el segmento de seguridad y monitoreo del hogar incluyen cerraduras de puertas conectadas, timbres de video, cámaras de seguridad y sistemas de monitoreo como detectores de fugas de agua, administración de energía y termostatos conectados. Los dispositivos pueden, con AWS IoT, utilizar el aprendizaje automático para detectar amenazas de forma automática, tomar medidas y enviar alertas a los dueños de casa.
- Gestión de la red doméstica: los proveedores de internet buscan constantemente nuevas formas de poder ayudar a los clientes a descubrir, solucionar problemas con su servicio de conectividad, incluyendo la conectividad Wi-Fi. Los decodificadores que operan con AWS IoT pueden registrar los diagnósticos de red de forma automática y reportarlos al centro de servicio al cliente o darle la posibilidad al cliente de monitorear y solucionar los inconvenientes de la red por medio de una aplicación móvil.

Entre los porqués utilizar AWS IoT para las soluciones de hogares conectados, se pueden mencionar:

- Incorpora conectividad para microcontroladores: *Amazon FreeRTOS* [93], sistema operativo IoT para microcontroladores, extiende el *kernel FreeRTOS* con librerías para seguridad, conectividad y capacidad de actualización. Funciona con dispositivos de baja potencia que pueden encontrarse en todos los hogares, como llave de luz, cerradura de puerta o sensores.
- Aprendizaje automático en el borde: *AWS Greengrass ML Inference* le proporciona la capacidad de entrenar modelos ML (en inglés *Machine Learning*) en la nube y poder implementarlos en el dispositivo para inferencia, donde el modelo puede ejecutarse sin tener conexión directa a la nube, sin asumir costos ni retardos de envío de datos ida y vuelta hasta la nube.
- Comunicación confiable receptiva: AWS IoT Core permite conectar con facilidad dispositivos a la nube comunicándose a través de MQTT¹⁹ [94], un protocolo liviano diseñado para tolerar conexiones intermitentes y reducir los requisitos de ancho de banda de la red.
- Administración y obtención de información: Con *AWS IoT Device Management* se pueden agregar, organizar y monitorear los dispositivos, creando un índice de flota en tiempo real de todos los dispositivos conectados. Con *AWS IoT Analytics* se pueden obtener información sobre la utilización del dispositivo, rendimiento o predecir el mantenimiento por medio de aprendizaje automático.
- Conectividad y comunicación segura: AWS IoT brinda seguridad de dispositivo de extremo a extremo mediante administración de claves, autenticación de certificados y cifrado de datos. *AWS IoT Device Defender* ayuda a proteger los dispositivos auditando las políticas de seguridad que se encuentran asociadas a dichos dispositivos.

3.1.2.1.3 IoT de borde

La creación y desarrollo de una solución IoT, que sea exitosa depende, en gran medida, de los millones de dispositivos que se encuentran en el borde, en nuestros hogares

¹⁹ MQTT (*Message Queue Telemetry Transport* – Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes)

y oficinas, fábricas, campos agrícolas, aviones , automóviles o barcos, entre otros [95]. Con los servicios que brinda AWS IoT se pueden aprovechar los datos generados por estos dispositivos periféricos de IoT permitiendo actuar y tomar decisiones de manera inteligente.

AWS posee una gran variedad de servicios para estos dispositivos de borde. *AWS IoT Greengrass* extiende AWS a los dispositivos de borde para que actúen de manera local sobre los datos que generan, mientras utilizan la nube para la administración, análisis y almacenamiento. *Amazon FreeRTOS* [93] hace que los dispositivos de borde pequeños y de baja potencia sean fáciles de programar, implementar, proteger, conectar y administrar. *AWS IoT Device Tester* es una herramienta disponible de automatización de pruebas para los dispositivos IoT y puede determinar si el dispositivo de borde ejecutará *Amazon FreeRTOS* o *IoT Greengrass* y así, poder interactuar con los servicios disponibles de AWS IoT.

Dentro de los distintos casos de uso IoT de borde, podemos mencionar:

- Administración de flotas: con AWS IoT se pueden administrar millones de dispositivos y billones de mensajes. AWS IoT asegura la conexión de microcontroladores y dispositivos basados en microprocesadores, captura el estado del dispositivo y brinda actualizaciones por vía aérea.
- Computación de borde: la informática perimetral acerca a la computación hasta el punto en que se generan los datos. Con los servicios disponibles de AWS IoT, es posible habilitar dispositivos para tomar acciones, agregar datos y poder filtrarlos localmente.
- Aprendizaje automático: los dispositivos que corren el software AWS IoT están capacitados para realizar inferencias de aprendizaje automático de modo local, con el objeto de poder identificar anomalías, enviar alertas y responder en tiempo real, entre otras cosas.

Entre los porqués utilizar AWS IoT para las soluciones de borde, se pueden mencionar:

- Acelera el desarrollo: los servicios de AWS IoT reducen, considerablemente, la carga de desarrollo al brindar hardware calificado, una amplia biblioteca de seguridad y conectividad pre integradas y conectores de software, habilitando la seguridad de borde en la nube.

- Ejecuta inferencias de ML de manera más rápida: desarrolle modelos de aprendizaje automático en la nube y luego, puede implementarlos de modo local en los dispositivos de borde. Puede utilizarse *Amazon SageMaker* para la implementación de modelos de ML que se ejecutan dos veces más rápido que con ajuste manual.
- Opera de modo local: se pueden habilitar dispositivos para responder a eventos casi en tiempo real a través de la implementación de funciones de *AWS Lambda* para utilizar los recursos locales como cámara, GPU o puertos serie.
- Desarrollar de modo rentable: reduzca considerablemente los costos de desarrollo con microcontroladores de bajo costo, software sin licencia y aplicaciones desarrolladas con infraestructura sin servicio o arquitectura de micro servicios. Para poder reducir el almacenamiento en la nube y costos de conectividad celular, los datos se filtran en el borde y se transmiten solo cuando es necesario o vía *Bluetooth LE*.

3.1.2.2 Servicios de AWS IoT

AWS IoT brinda servicios de software de dispositivos, servicios de control y servicios de datos, tal como se muestra en la Figura 34. El software del dispositivo permite conectar dispositivos, recopilar datos y tomar medidas inteligentes a nivel local de forma segura, incluso sin contar conexión a internet. Los servicios de control permiten controlar, administrar y asegurar flotas de dispositivos. Los servicios de datos ayudan a extraer valor de los datos de IoT.

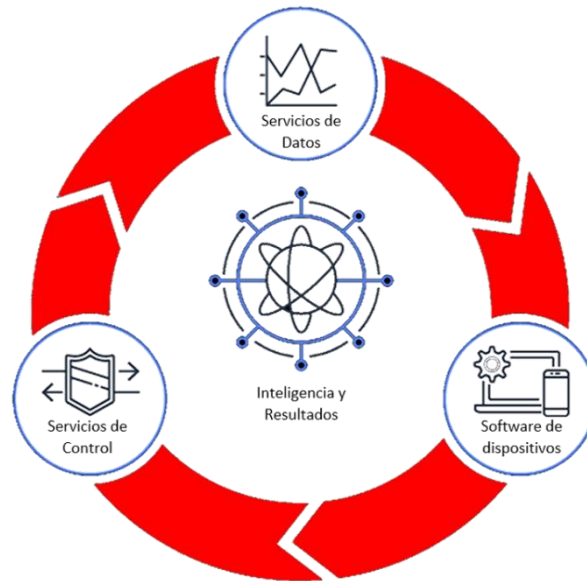


Figura 34 - Servicios de AWS IoT [90].

3.1.2.2.1 Servicios de Software

Para poder conectar los dispositivos y utilizarlos en las ubicaciones de borde, dentro de los servicios de software de los dispositivos se pueden mencionar a los siguientes softwares:

- *Amazon FreeRTOS*: como se ha mencionado, es un sistema operativo para microcontroladores. Facilita la programación, conexión, implementación y administración de los distintos dispositivos de borde pequeños de poca potencia. Para mayor información, remitirse a [93].
- *AWS IoT Greengrass*: amplía AWS a los dispositivos de borde de forma simple, actuando a nivel local en función de los datos generados, y utilizando la nube para tareas de administración, análisis y almacenamiento prolongado. Para indagar más acerca del software, puede consultar en [96].

3.1.2.2.2 Servicios de Control

Los servicios de control ofrecidos por AWS sirven para proteger, controlar y administrar todos los dispositivos en la nube. Entre los distintos servicios de control disponibles, podemos encontrar:

- *AWS IoT Core*: servicio en la nube, el cual permite a los dispositivos conectados poder interactuar de un modo fácil y seguro con aplicaciones en la nube y otros dispositivos. Para mayor información, remitirse a [97].
- *AWS IoT Device Defender*: servicio administrado que ayuda a proteger la flota de dispositivos que se posea; además, monitoriza y audita constantemente las configuraciones de IoT, con el objeto de garantizar el cumplimiento de las prácticas de seguridad recomendadas. Más información la encontrará en [98].
- *AWS IoT Device Management*: servicio que facilita la incorporación, organización, monitorización y administración de forma remota de los dispositivos IoT de una manera segura. Con *AWS IoT Device Management*, se registran los dispositivos conectados y se administran fácilmente los permisos para que permanezcan seguros. Información detallada sobre esto, la encontrará en [99].
- *AWS IoT Things Graph*: servicio que facilita la conexión visual entre distintos dispositivos y servicios en la nube para crear aplicaciones IoT. Para un mayor detalle, dirigirse a [100].

3.1.2.2.3 Servicios de Datos

Los servicios de datos ofrecidos por AWS ofrecen trabajar de una manera más rápida con los datos IoT para poder extraer valor a partir de ellos. Entre los distintos servicios de datos disponibles, se pueden mencionar:

- *AWS IoT Analytics*: servicio administrado totalmente que facilita la instrumentación y ejecución de análisis de grandes volúmenes de datos IoT, sin tener la necesidad de preocuparse por el costo y complejidad en la creación de una plataforma de análisis IoT. Para mayor información, dirigirse a [101].
- *AWS IoT Events*: servicio administrado que facilita las tareas de detección y respuesta en función con eventos que provienen de aplicaciones y sensores compatibles con IoT. Para obtener más precisiones sobre este servicio, remítase a [102].
- *AWS IoT SiteWise*: servicio que facilita la recopilación y organización a escala de los datos que provienen de los equipamientos industriales, para

luego utilizar estos datos para analizar el rendimiento de los equipos y procesos. Para mayor detalle sobre el servicio, dirigirse a [103].

- *AWS IoT 1-Click*: servicio que permite a los dispositivos poder activar funciones de *AWS Lambda* que pueden ejecutar una acción. Para mayor información sobre este servicio, puede consultarse en [104].

3.1.2.3 Costos

AWS ofrece un sistema de pago por uso, en el precio de los más de 150 servicios disponibles en la nube. Con AWS solamente se paga por los servicios individuales que se necesita, por el tiempo que se utiliza sin tener la necesidad de contratos a largo plazo ni complejas licencias.

Con AWS solamente se paga por lo que se utiliza, ayudando a la organización y/o empresa a conservar su agilidad y capacidad de respuesta. Esto permite adaptarse con facilidad a las cambiantes necesidades de la empresa y mercado, sin comprometerse a dedicar grandes presupuestos y mejorando la capacidad de respuesta ante los cambios.

Para determinados servicios, como *Amazon EC2* y *Amazon RDS*, es posible invertir con capacidades reservadas. Con estas instancias reservadas, es posible ahorrarse hasta un 75% si se compara con la capacidad bajo demanda equivalente. Además, con AWS es posible obtener descuentos por volumen de información, datos y mensajes. En [105] se encuentra información detallada del costo de cada uno de los servicios disponibles.

Si bien, en AWS hay una opción de uso gratis, dependiendo de la utilización que se haga de los servicios, es factible poder utilizar esta opción para la realización del trabajo. Al hablar de varios de miles de mensajes que se pueden intercambiar por mes, es posible que no se llegue a esa cantidad en el presente trabajo. Por lo que sería una opción a evaluar a futuro la contratación de los servicios; pero descartándola para la realización del presente.

3.1.3 Google Cloud IoT

El “gigante” Google pone a disposición una plataforma para servicios inteligentes de Internet de las Cosas, denominada *Google Cloud IoT* [106], formando parte de la *Google Cloud Platform* (GCP – Plataforma de Google Cloud). Es un amplio conjunto de

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

herramientas disponibles que se utilizan para conectar, procesar, almacenar y analizar los datos, tanto en el borde como en la nube. La plataforma está compuesta por servicios en la nube totalmente escalables y gestionados, software integrado con funciones de aprendizaje automático.

Con la utilización de la plataforma, se consigue información en tiempo real sobre los dispositivos que se encuentran esparcidos por todo el mundo, ya sea que se encuentren en el borde o en la nube. Los datos de los dispositivos son capturados por *Cloud IoT Core*²⁰ y luego publicados en *Cloud Pub/Sub*²¹ para un análisis en tiempo real. También es posible realizar un análisis ad hoc utilizando Google *BigQuery*²² de manera sencilla o ejecutar analíticas avanzadas y aplicar aprendizaje automático utilizando *Cloud Machine Learning Engine*²³.

Debido a la arquitectura de la plataforma, es posible tener acceso a todos los servicios disponibles y también, poder utilizar otros servicios que sean necesarios para el funcionamiento de la organización. En la Figura 35 se muestra la arquitectura de Google Cloud IoT.

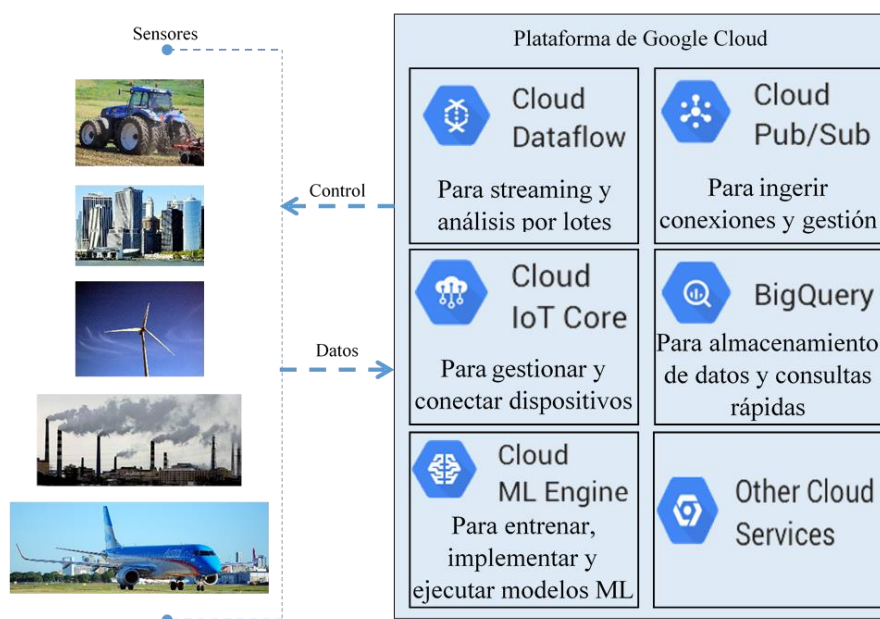


Figura 35 - Arquitectura de referencia de Google Cloud [106].

²⁰ *Cloud IoT Core*: <https://cloud.google.com/iot-core/>

²¹ *Cloud Pub/Sub*: <https://cloud.google.com/pubsub/>

²² *Google BigQuery*: <https://cloud.google.com/bigquery/>

²³ *Cloud Machine Learning*: <https://cloud.google.com/ml-engine/>

Con Google Cloud IoT, se puede mejorar la eficiencia operativa teniendo información acerca de la eficiencia con la que funcionan los dispositivos, gestionar los recursos mundiales y actualizar el firmware de los mismos a través de la plataforma.

Google Cloud IoT admite una gran variedad de sistemas operativos integrados, aunque funciona mejor con sistemas operativos basados en *Debian Linux*, teniendo éste compatibilidad inmediata con dispositivos de los principales fabricantes, como ser *Intel* o *Microchip*.

Además, en [107], se dispone de una amplia documentación para poder comenzar a desarrollar soluciones o ver las distintas herramientas y tecnologías disponibles dentro de la GCP.

3.1.3.1 Aplicaciones

Dentro de las aplicaciones en los cuales se puede utilizar esta plataforma, encontramos las siguientes:

- Mantenimiento predictivo: es posible predecir de manera automática cuando se deben realizar los mantenimientos a los equipos, optimizar su rendimiento en tiempo real, detectar anomalías y supervisar el estado y ubicación de los dispositivos.
- Seguimiento de recursos en forma instantánea: Monitorea los valiosos recursos en tiempo real, ejecutando analíticas complejas y procesos de ML en los datos almacenados. Además, muestra el estado general del negocio para aportar métricas útiles.
- Ciudades y edificios inteligentes: genera una completa solución que involucre miles de millones de sensores y dispositivos perimetrales para dotar de inteligencia y automatización a los hogares, edificios o ciudades.
- Gestión y logística de la cadena de suministro: Es posible gestionar la flota, supervisar y controlar el inventario e integridad de las cargas.

El director ejecutivo y cofundador de *Oden Technologies*, Willem Sundblad indica lo siguiente, acerca de la utilización de los servicios de Google en su empresa y la evolución de la misma al ver los resultados [108]: “...*Hemos podido conectar nuestra gran flota de maquinaria industrial a Google Cloud. Eso nos ha permitido desarrollar*

con rapidez una plataforma inteligente en la que podemos consultar la información sobre el uso y la producción de las máquinas en tiempo real y de forma eficiente.”

3.1.3.2 Costos

GCP posee un sistema de precios similar al que tiene la plataforma AWS, que incluye ajustes según el volumen de datos y mensajes, y descuentos por el uso continuo de la plataforma, que puede rondar los 35% de acuerdo a la carga de trabajo informático. En [109] se indica que la carga de trabajo de almacenamiento es, aproximadamente, un 21% más económico en comparación con AWS.

Algunas características que tiene GCP en cuanto a las políticas de precios, son:

- No se paga nada por adelantado.
- Se paga únicamente lo que se utiliza.
- No se paga para cancelar el servicio.

En GCP, al igual que AWS, se paga por los servicios individuales que sean necesarios, por el tiempo que se utilizará sin tener contratos a largo plazo ni licencias complejas. Esto permite a la organización y/o empresa a adaptarse con mayor facilidad y celeridad a las cambiantes necesidades de la misma y del mercado, sin destinar grandes presupuestos para ello.

Al igual que AWS, GCP posee una opción de uso gratuito, dependiendo de la utilización que se haga de cada uno de los servicios disponibles, es factible utilizar esta opción para la realización del trabajo. Sin embargo, al hablar de miles de millones de mensajes a intercambiar por mes y de miles de gigabytes de almacenamiento al mes, es probable que no se llegue a utilizar esa cantidad en el presente trabajo. Por lo que se considera una opción a evaluar a futuro la contratación de los servicios de GCP; pero descartándola para el presente trabajo.

3.1.4 Otras plataformas

Además de las mencionadas anteriormente, se disponen de otras plataformas con un claro enfoque hacia la conectividad de objetos y dispositivos. Totalmente

configurables y poseen licencias gratuitas de uso bajo ciertas restricciones. A continuación, se mencionaran las mismas.

3.1.4.1 *aREST Framework*

aRest Framework [110] se encuentra centrado en brindar soporte a distintas placas como Arduino, ESP8266 (módulo Wi-Fi para Arduino) y Raspberry Pi. Es considerada una solución completa para la creación de aplicaciones con servicios *RESTful*. Posee soporte para comunicaciones Wi-Fi, *Ethernet*, *Bluetooth* y *Serial*. Además, incluye librerías para Arduino (cliente) y también para el lado del servidor, para poder controlar las comunicaciones.

El *framework* es de código abierto y de uso gratuito. Se puede descargar desde el repositorio de códigos *GitHub*²⁴, por lo cual puede montarse en un servidor local. El pago que se realiza es por la utilización de los servidores. En la tabla 9 se muestran los precios que posee la utilización de los servidores *aREST*.

La gran ventaja que posee es que es una plataforma muy fácil de utilizar. Dentro del sitio oficial de Arduino, se pueden descargar las librerías de su repositorio y comenzar a utilizarlo.

Como desventaja se puede mencionar que la documentación disponible es escasa y solo admite el protocolo REST (*REpresentational State Transfer* – Transferencia de Estado Representacional), por lo que cualquier usuario que quiere desarrollar se encuentra restringido a utilizar la API REST que se ofrece.

²⁴ Código aREST: <https://github.com/marcoschwartz/aREST> (Consultado el 23-09-2018)

	Gratis	<i>Developer</i>	<i>Growth</i>	<i>Enterprise</i>
Máximo número de mensajes	1000 por mes	1000000 por mes	5000000 por mes	20000000 por mes
Numero de dispositivos activos por día	5 por día	100 por día	1000 por día	10000 por día
Precio por mes (expresado en dólares)	Gratis	\$19 / mes	\$99 / mes	\$ 399 / mes

Tabla 9 - Precios de aREST Framework [110].

3.1.4.2 *Thinger.io*

Es una plataforma de origen española de código abierto. La podremos obtener desde su sitio oficial [111] o desde *GitHub*²⁵ para poder instalarla en una PC local. Una de las opciones que más atrae (además de ser una empresa de habla hispana) es que la programación es muy sencilla. Se disponen de librerías en el repositorio oficial de Arduino, además de encontrar distintas librerías y ejemplos en el sitio oficial y en el repositorio de *GitHub*. Para poder realizar proyectos IoT con esta plataforma, además de Arduino, se puede utilizar hardware compatible como lo son ESP8266, Raspberry Pi o Intel Edison²⁶(aunque en la actualidad, esta placa se encuentra descontinuada).

Otro punto a favor, es que ofrece cuentas gratuitas a *Makers* para poder construir y desarrollar sus proyectos IoT en pocos minutos, utilizando la infraestructura en la nube. Esta cuenta es de por vida en la cual es posible desarrollar y crear prototipos. Cuando estén listos para escalar, se puede implementar un servidor *Premium* con grandes capacidades en pocos minutos.

Thinger.io posee una consola de administración muy robusta donde se pueden gestionar y geo localizar los dispositivos conectados. También posee una documentación bastante extensa y de libre acceso.

Entre otras características que posee *Thinger.io* podemos mencionar:

- Independiente del hardware: es posible integrar cualquier tipo de dispositivo, sin tener en cuenta el procesador, la red o fabricante; desde

²⁵ *Thinger.io*: <https://github.com/thinger-io> (Consultado el 23-09-2018)

²⁶ *Intel Edison*: <https://software.intel.com/es-es/get-started-edison-windows> (Consultado el 23-09-2018)

placas Arduino, Raspberry Pi, dispositivos *SigFox*²⁷, soluciones LoRa²⁸ sobre puertas de enlace, por mencionar algunos.

- Comunicaciones bidireccionales más eficientes: permite recuperar datos en tiempo real desde miles de dispositivos, así como también enviar datos con una baja latencia. Ideal para proyectos autónomos inteligentes o sistemas de control remoto.
- Almacenamiento de datos en el dispositivo: con solamente un par de clics se pueden almacenar datos IoT de manera escalable, eficiente y accesible, lo que también permite la agregación de los mismos en tiempo real.
- Muestreo de datos en tiempo real: utilizando los paneles que posee *Thingier.io*, es posible crear interfaces de visualización de los datos fáciles de utilizar y poder compartirlas con los clientes en pocos minutos.
- Integrable con terceros: por medio de la API abierta, permite recuperar datos y compartirlo con distintas plataformas de Internet de terceros o software personalizados.

En cuanto a los costos de implementación, a la ya mencionada cuenta gratuita para *Makers*, *Thingier.io* pone a disposición de los clientes que elijan entre 4 opciones para los proveedores del servicio en la nube. Ellos son *DigitalOcean*, *Amazon Web Services*, *Google Cloud* y *Microsoft Azure*. De ellos, el único que posee información de los costos mensuales es *DigitalOcean*, cuyos costos son los siguientes [112]:

- *Maker*: € 29 / mensual. (Aplicable cuando se desea escalar el prototipo creado)
- *Grow*: € 99 / mensual.
- *Startup*: € 249 / mensual.
- *Business*: € 499 / mensual.

3.1.4.3 Eclipse IoT

Es una plataforma de código abierto que permite el desarrollo de aplicaciones para Internet de las Cosas utilizando lenguaje Java [113]. Brinda un conjunto de tecnologías *open source* que permite conectar y gestionar distintos dispositivos en un entorno IoT.

²⁷ *SigFox*: <https://www.sigfox.com/en> (Consultado el 25-09-2018)

²⁸ *LoRa*: <https://lorawan.es/> (Consultado el 25-09-2018)

Brinda soporte a varios estándares fundamentales para cualquier solución de IoT, entre los que podemos mencionar a MQTT (protocolo de conexión *machine-to-machine*), CoAP²⁹ (protocolo para conexión a Internet de distintos dispositivos), *Lightweight M2M* o LWM2M³⁰ (protocolo de comunicación entre cliente y servidor para la transmisión de datos o administración de sensores), entre otros.

Eclipse IoT brinda servicios de *gateway* o puerta de enlace al IoT para facilitar a los desarrolladores a manejar dispositivos y aplicaciones basadas en IoT. Dentro de la plataforma, los programadores cuentan con el *framework* Kura³¹ que, basado en Java y OSGI³², implementan distintos servicios como ser:

- Administración de conectividad en la nube.
- Configuración de redes Wi-Fi.
- Configuración, administración y aplicación remota de dispositivos.

Kura no es el único *framework* que permite el desarrollo utilizando Eclipse IoT. También existen otras alternativas interesantes, entre las cuales se encuentran:

- Eclipse OM2M³³: La implementación del proyecto Eclipse OM2M es de código abierto de los estándares *oneM2M* y *SmartM2M*. Se considera como una plataforma de servicios M2M para el desarrollo de servicios independientes de la red, con el objetivo de agilizar y facilitar el despliegue de aplicaciones verticales y dispositivos heterogéneos.
- Eclipse *neoSCADA*³⁴: No es una solución lista para utilizar. Más bien es un conjunto de herramientas que se combinan de muchas maneras. Proporciona bibliotecas de desarrollo, tanto *front-end* como *back-end*; aplicaciones de interfaz, herramientas de configuración masiva. Es una solución escalable, compatible y personalizable a las necesidades del desarrollador.

²⁹ CoAP (*Constrained Application Protocol* – Protocolo de Aplicación Restringida): <https://coap.technology/> (Consultado el 28-04-2019)

³⁰ LwM2M (*Lightweight M2M* – M2M Liger): <https://www.omaspecworks.org/what-is-oma-specworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/> (Consultado el 30-04-2019)

³¹ Framework Kura: <https://www.eclipse.org/kura/> (Consultado el 30-04-2019)

³² OSGI (*Open Services Gateway Initiative* – Iniciativa de Puerta de Enlace de Servicios Abiertos): <https://www.osgi.org/> (Consultado el 30-04-2019)

³³ Eclipse OM2M: <https://www.eclipse.org/om2m/> (Consultado el 01-05-2018)

³⁴ Eclipse *neoSCADA*: <https://www.eclipse.org/eclipsescada/> (Consultado el 01-05-2018)

Los mencionados anteriormente, son algunos de los proyectos que se pueden utilizar para el desarrollo con Eclipse IoT. Para mayor información y verificar otros proyectos puede visitar [114].

3.1.4.4 *Particle*

Es una plataforma orientada a proyectos IoT [115]. Ofrece *gateways* fiables y seguras, permite gestionar dispositivos en tiempo real e integrar con otros servicios en la web. Además, cuenta con hardware propio, los cuales se pueden adquirir desde su tienda oficial.

Como punto negativo, se menciona que solamente permite su uso con los dispositivos fabricados por ellos mismos. Hay distintos kit de desarrollo que ofrecen que van desde los U\$S89.- en adelante.

El hardware para conectividad IoT integrado de *Particle* con *Device Cloud* permite pasar del prototipo a la producción de una manera más rápida. En cuanto al costo de la utilización de la plataforma, se dividen en tres tipos de desarrollos que se pueden realizar:

- Desarrollo Wi-Fi: *Hardware* a partir de los U\$S27 por dispositivo + *Device Cloud* gratuito hasta 100 dispositivos.
- Desarrollo para móviles: *Hardware* a partir de los U\$S 53 por dispositivo + *Device Cloud* a U\$S 2.99 por dispositivo por mes (los primeros 100 dispositivos).
- Desarrollo en malla: *Hardware* a partir de los U\$S 15 por dispositivo y actualmente, *Device Cloud* únicamente disponible para prototipos.

3.2 Herramientas

En este apartado, se mencionaran cuáles son las herramientas software disponibles en el mercado para el desarrollo de aplicaciones IoT. El foco se centrará en las que permiten desarrollar aplicaciones IoT y que puedan instalarse en el hardware que se posee para el presente trabajo, mencionando características más destacadas, ventajas y desventajas de cada una de ellas.

3.2.1 IoTIFY

La primera herramienta que evaluaremos es IoTIFY [116]. Una solución que permite realizar prototipos de una manera rápida para el desarrollo posterior de aplicaciones IoT. Basado en la virtualización de módulos disponibles para IoT, como también los sensores y actuadores, permitiendo a los usuarios la puesta en marcha de aplicaciones de una manera más directa mediante *SaaS*³⁵. Todos los módulos disponibles poseen conexión a Internet, por lo que pueden ser conectados a través del proveedor de *cloud* o *dashboard* IoT elegido por el cliente.

Cada proyecto IoT posee un simulador de dispositivo inteligente. A medida que avanza el proyecto, se vuelve complejo de mantener el simulador y así, se quita valiosos recursos y se sigue enfocado en el desarrollo central de la aplicación. IoTIFY hace más fácil la vida a los desarrolladores y testadores al proporcionar simulación como servicio. Es posible utilizar esta plataforma para la definición de un dispositivo de manera virtual y definir el punto final de conexión, mientras de fondo se ejecuta y escala la simulación, en caso de ser necesario.

Los sistemas IoT se encuentran diseñados para el rendimiento, incluso un cambio ínfimo de arquitectura podría afectar el rendimiento de todo el sistema. Con IoTIFY se redefinen las pruebas de rendimiento midiendo el retardo de extremo a extremo entre los corredores MQTT, API y otros parámetros del sistema, mientras se valida su funcionamiento.

3.2.1.1 Simulador IoT

Lo interesante de IoTIFY es poder simular cualquier hardware libre sin tenerlo físicamente, es decir, generar proyectos y poder elegir libremente si se utilizará Arduino, Raspberry Pi o cualquier otra alternativa (siempre que sea libre) y luego, tras varias corridas y ver cuál se adapta mejor, poder adquirir recién la placa que se necesite. Se puede simular miles de puntos finales de IoT en la nube y medir el rendimiento del sistema bajo carga. Por ejemplo, es posible simular una flota de vehículos conectados de una manera sencilla.

³⁵ SaaS: *Software as a Service* – Software como un Servicio.

Utilizando lenguaje JavaScript, se pueden desarrollar modelos de dispositivos IoT junto con las potentes plantillas que se encuentran disponibles en IoTIFY. Puede generar gráficos en tiempo real a través de los protocolos MQTT, HTTP o CoAP por medio de cualquier proveedor de nube.

Puede simular condiciones de red subyacentes y ver el efecto en el retardo de la red en el rendimiento global del sistema. Además, puede desarrollar la aplicación IoT en la nube sin tener que aguardar que llegue el hardware.

Como se ha mencionado, IoTIFY brinda simulación inteligente del sistema IoT en la nube, lo que hace que se facilite el desarrollo de una aplicación IoT basada en la nube a gran escala. Su entorno de desarrollo ayuda a crear prototipos rápidamente, escalar y administrar aplicaciones IoT con mayor facilidad y flexibilidad. En la Figura 36 se muestra el lugar de IoTIFY en el ecosistema del desarrollo IoT. Con IoTIFY, convierta rápidamente una idea en prototipo, para luego escalar a un único punto final de IoT a cientos de miles, utilizando la herramienta de simulación de red.

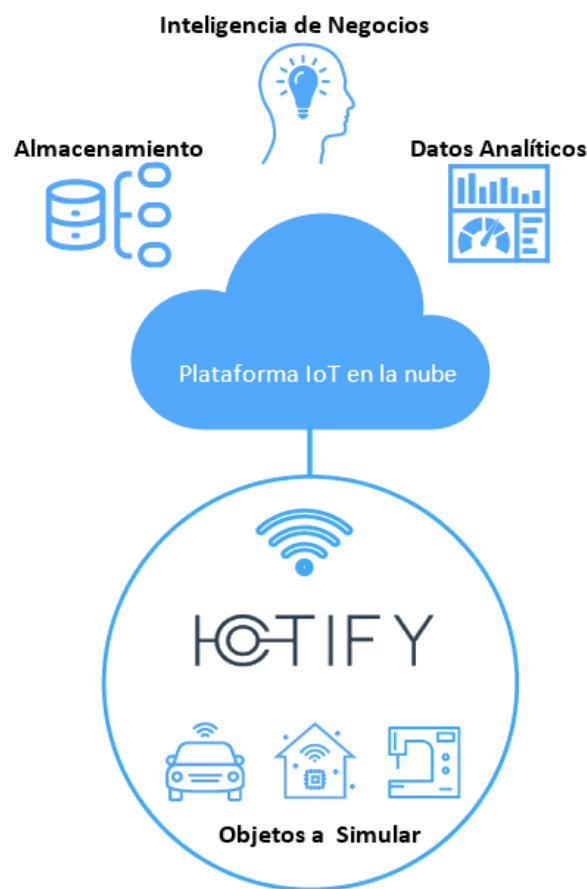


Figura 36 - IoTIFY en el desarrollo IoT [118].

3.2.1.2 Laboratorio virtual

El laboratorio virtual [117] es un producto integral en sí mismo, compuesto por una gran audiencia de aficionados, profesores y estudiantes de IoT. Se ha dispuesto que el laboratorio virtual se encuentre alojado en un sitio separado, con un equipo técnico dedicado y costos accesibles para los estudiantes. Dicho laboratorio puede encontrarse en <https://vlab.iotify.io/>, en el cual es necesario tener un usuario y contraseña para poder comenzar a utilizar y realizar pruebas.

Se pueden mencionar algunas ventajas del uso del laboratorio virtual, como ser:

- Reducción de costos: se pueden reducir costos, disminuyendo considerablemente los gastos en equipamiento de hardware mediante el uso de la virtualización de los mismos para el diseño y pruebas IoT.
- Escalabilidad: Parta de la idea de cero a uno y, a continuación, escale fácilmente de uno a un millón, aprovechando el poder de la nube impulsada por *Docker*³⁶ para elementos virtuales de hardware.
- Automatización de las pruebas: se pueden automatizar los tediosos flujos de trabajo, como ser las pruebas de regresión, escalabilidad y actualización/degradación de software, mejorando así la calidad del producto aplicando principios de desarrollo basados en pruebas.
- Comercialización inmediata: Aplicando principios ágiles a su desarrollo, puede desacoplar las dependencias de hardware del desarrollo del software y mejorar así, las canalizaciones de los proyectos.

Además, en la web del laboratorio, se pueden encontrar varios proyectos destacados que pueden utilizarse de ejemplo y adaptarlo a las necesidades reales del cliente. También, en la sección de ayuda de la herramienta [118], se encuentran disponibles los paso a paso de estos proyectos destacados, como así también una pequeña introducción de lo que es el laboratorio virtual.

Como se ha mencionado anteriormente, para utilizar ambos servicios que provee IoTIFY (simulador de red y laboratorio virtual) hay que registrarse en la plataforma para poder comenzar a trabajar. No se menciona en la página, al momento de querer registrarse, los costos que se manejan para la utilización de la plataforma, ya sea para el

³⁶ Docker: <https://www.docker.com/>

simulador o el laboratorio. Tampoco se hace mención si es que hay alguna promoción al respecto de utilizar ambos servicios para el desarrollo.

3.2.2 WebIOPi

WebIOPi [119] es una interfaz web basada en *Python*, que permite que todos los puertos GPIO de las Raspberry Pi sean controlados por medio de un navegador. Con esto es posible controlar o monitorizar dispositivos o componentes electrónicos que sean conectados a nuestra placa Raspberry, por ejemplo sensores de temperatura y humedad, motor, relé, etc. ¿Qué se quiere decir con esto? Únicamente hay que ingresar a una página web realizada a medida y controlar los dispositivos que se tengan conectados, lo cual puede realizarse por medio de un teléfono celular, Tablet, computadora o cualquier otro dispositivo donde se pueda abrir una página web.

En su lanzamiento oficial (agosto 2012), el desarrollador Eric Ptak anunciaba que WebIOPi traería consigo funciones como el control de los puertos GPIO directamente desde el navegador, personalizaciones a través de elementos *HTML*, *JavaScript* y *CSS*, y la integración con servidores de *Python* y *PHP*. Es por ello que WebIOPi posee la capacidad de poder controlar directamente los GPIO de la Raspberry Pi por medio de una interfaz web, como también es compatible con una gran variedad de sensores y otros dispositivos utilizando I²C³⁷, bus SPI³⁸ o interfaces seriales [120].

A principios del año 2015, *Weaved*³⁹ incorporó WebIOPi a su paquete de servicios. Brindaba servicios de conexión para distintos proveedores de dispositivos IoT. También había lanzado distintos kit de dispositivos inteligentes en sociedad con *Gemtek*⁴⁰, empresa de origen China. En noviembre del mismo año [121], la empresa *myDevices*⁴¹ anuncia la incorporación del creador de WebIOPi, Eric Ptak, como experto residente en IoT. Desde entonces, algunas soluciones implementadas por dicha empresa, utilizan WebIOPi para su desarrollo y posterior puesta en funcionamiento.

³⁷ I²C: *Inter Integrated Circuit* – Circuito Inter Integrado.

³⁸ SPI: *Serial Peripheral Interface* – Interfaz de periférico en serie.

³⁹ *Weaved Inc.* es una *startup* que funcionaba en *Silicon Valley*. En el año 2018, ha cancelado todos los soportes y para poder seguir operando con los servicios de *Weaved*, hay que remitirse a <https://remote.it/>.

⁴⁰ *Gemtek Technologies Co., Ltd.*: <https://www.gemteks.com/en>

⁴¹ *myDevices*: <https://mydevices.com/>

Entre las distintas características distintivas que posee WebIOPi, podemos mencionar las siguientes:

- Está escrito en *Python*, con la facilidad de cargar y ejecutar cualquier script personalizado.
- Soporte unificado para interfaces seriales, SPI e I²C con un amplio conjunto de funciones que permite controlar más de 30 dispositivos, incluyendo conversores analógicos, sensores y expansores I/O.
- Librerías JavaScript/HTML cliente para la realización de la interfaz web del usuario.
- Clientes *Python/Java*, para realizar aplicaciones Android o sistemas *Pi-to-Pi*.
- Compatible con CoAP, ofreciendo el considerado mejor protocolo de IoT en Raspberry Pi.
- Incluye aplicaciones web simples que pueden servir de ejemplo, como para depurar GPIO, dispositivos e interfaces seriales.
- Fácil instalación, siguiendo unos breves pasos ya podremos comenzar a realizar proyectos IoT o conectar distintos dispositivos. En [119] y [122] se muestran distintas maneras de instalar WebIOPi.

Como se ha mencionado anteriormente, WebIOPi ha sido diseñado, desarrollado y probado bajo el sistema operativo Raspbian, por lo tanto solamente se ejecuta en placas Raspberry Pi [123]. Necesita tener instalado Python en su versión 2.7 o 3.2, como requisito previo, para poder instalarlo y configurar el script. Además, con la instrucción `apt-get` se descargarán todas las dependencias que le sean requeridas. En caso que no se utilice Raspbian como sistema operativo, el compilador GCC⁴² y el entorno de desarrollo Python deben ser instalados de manera manual.

3.2.3 Node-RED

Node-RED [124] es una herramienta de programación basada en flujos que sirve para conectar distintos dispositivos de hardware, API y servicios en línea de una manera más simple. También puede considerarse como un editor basado en tecnología web para

⁴² GCC: *GNU Compiler Collection* – Colección de compiladores GNU

la generación de aplicaciones IoT, de código abierto creado por el equipo de desarrollo de *IBM Emerging Technology*⁴³ y ahora forma parte de la Fundación JS⁴⁴.

Su interfaz es muy amigable y, mediante la función “*drag & drop*” (arrastrar y soltar), permite agregar en el área de trabajo nodos que representan las APIs web, servicios en línea o dispositivos de hardware [125]. Los nodos pueden ser de dos tipos:

- Nodos de inyección: son los que producen un mensaje sin tener la necesidad de una entrada y envían el mensaje al siguiente nodo conectado a él.
- Nodos de función: estos poseen una entrada y se realiza algún trabajo o procesamiento en él, para luego enviarlo al siguiente nodo conectado.

Con una gran variedad de nodos disponibles en el repositorio [126] para diseñar aplicaciones IoT, Node-RED hace que la conexión de hardware, API y servicios sea más fácil que nunca. La unión entre los nodos, representados por medio de una línea continua, muestra el flujo de datos que son transferidos de un nodo al otro [127]. En la Figura 37 se muestra un ejemplo de nodos conectados. También se pueden desarrollar funciones en JavaScript, incorporando de esta manera, nodos que tengan funcionalidades específicas, necesarias para la resolución de problemas concretos, a la paleta de nodos.

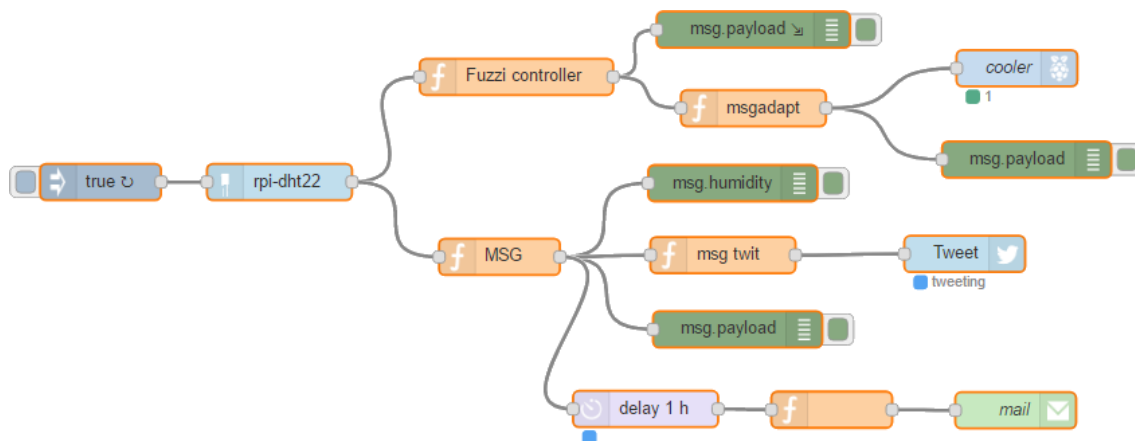


Figura 37 - Nodos conectados utilizando Node-RED [36].

El motor en tiempo real está basado en Node.js, el cual es un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma de código abierto para poder ejecutar código JavaScript, realizado con el motor V8 de Chrome. Dado que dicho entorno trabaja con arquitecturas que se basan en eventos no bloqueantes que son ejecutados del lado del servidor, hace

⁴³ IBM Emerging Technologies: <https://emerging-technology.co.uk/>

⁴⁴ OpenJS Foundation: <https://openjsf.org/>

que se consuma pocos recursos de hardware, haciéndolo ideal para poder ejecutarse en placas Arduino o Raspberry Pi [128].

Algunas de las características distintivas que posee Node-RED, se pueden mencionar las siguientes:

- Edición de flujos basada en un navegador: proporciona un editor de flujo que se basa en un navegador web, lo que facilita la conexión de los flujos utilizando una amplia gama de nodos disponibles. Estos flujos pueden implementarse en tiempo de ejecución con tan solo un clic. Además, como se mencionó anteriormente, las funciones de JavaScript se pueden generar dentro del mismo editor, utilizando un editor enriquecido. Una gran biblioteca incorporada permite generar y guardar funciones, plantillas y flujos para poder reutilizarlos posteriormente.
- Construido sobre Node.js: el tiempo de ejecución liviano que posee, está basado en Node.js, el cual aprovecha su modelo sin bloqueos. Esto lo hace ideal para poder ejecutarse en el borde de la red en hardware de bajo costo. Con más de 200000 módulos en el repositorio de paquetes de Node-RED, se facilita extender el rango de nodos para agregar nuevas capacidades y funcionalidades.
- Desarrollo social: los flujos que se crean en Node-RED son almacenados utilizando *JSON*⁴⁵, que puede importarse y exportarse con facilidad para compartirlo con otros. Una biblioteca de flujos en línea le permite poder compartir sus flujos y nodos con el mundo.

Como se ha indicado anteriormente, Node-RED es una herramienta de programación basada en flujos. Esta forma de programación, creada por J. Paul Morrison en los años '70, es una manera de poder describir el comportamiento de una aplicación como una red de “caja negra” o nodos, tal y como se lo conoce en Node-RED. Cada nodo posee un propósito bien claro; reciben datos, realiza alguna acción con esos datos y luego los pasa. La red es la responsable del flujo de datos entre los distintos nodos.

Esta nueva manera de programar se presta mucho mejor a una representación visual y lo hace accesible a una gran variedad de usuarios. Si se puede dividir el problema en

⁴⁵ *JSON (JavaScript Object Notation)*: formato de texto sencillo para el intercambio de datos.

pasos discretos, se observa el flujo y se tiene una idea de lo que se está haciendo, sin tener la necesidad de entender líneas de código dentro de cada nodo.

Dicho de otra manera, Node-RED podría considerarse como un motor de flujos con un gran enfoque hacia lo que es IoT, el cual permite definir y representar gráficamente flujos de servicios, por medio de distintos protocolos estándares como REST, MQTT, *WebSocket*, AMQP⁴⁶, entre otros; además de ofrecer integración completa con distintas APIs de terceros como ser *Facebook*, *Twitter*, *Gmail*, *Yahoo!*, etc.

Node-RED vio la luz a principio del año 2013 de la mano de Nick O’Leary y Dave Conway-Jones, quienes formaban parte del *IBM Emerging Technology*. Lo que empezó como una simple prueba de concepto para poder visualizar y manipular mapeos entre tópicos MQTT, se ha convertido en una herramienta más general que podía extenderse en cualquier dirección. En septiembre del 2013, han decidido hacerlo de código abierto y es abierto desde entonces, convirtiéndose en uno de los proyectos fundadores de la Fundación JS en octubre del 2016.

Ahora bien, ¿por qué el nombre de Node-RED? Según los desarrolladores, se trataba de un juego de palabras que sonaba como “Código Rojo”, y así fue nombrado los primeros días. La parte de ‘*Node*’ refleja tanto el modelo de programación por flujos o nodos como el tiempo de ejecución de Node.js. Nunca se llegó a una conclusión específica del significado de la parte ‘*RED*’. “Desarrollador de Eventos Rápido (*Rapid Event Developer*)” fue una sugerencia, pero no se han sentido en la obligación de aclararlo ni de formalizarlo. Simplemente, Node-RED.

3.2.3.1 Instalación

Node-RED es multiplataforma, es decir que puede instalarse en software libre como propietario. Puede sentirse a gusto de elegir donde desea ejecutar Node-RED, ya sea una computadora local, un dispositivo como Raspberry Pi o en la nube, y seguir los pasos en la guía disponible en su web [129].

En cualquiera de las plataformas que se desee instalar y ejecutar, primeramente se debe contar con *npm*⁴⁷, el cual es el sistema gestor de paquetes por defecto para Node.js. Hay un apartado mencionando en detalle la instalación bajo entornos de Windows,

⁴⁶ AMQP: *Advanced Message Queuing Protocol* – Protocolo de Cola de Mensajes Avanzados.

⁴⁷ NPM: *Node Package Manager* – Administrador de Paquetes de Node.

aunque los mayores ejemplos y pasos se encuentran sobre entornos libre, tipo Linux. De hecho para la placa Raspberry Pi, si se utilizará el sistema operativo Raspbian, se necesita como mínimo que sea la versión *Jessie*. Actualmente la versión *Buster* es la soportada. Puede instalarse todo de cero o actualizar una instalación existente, ya que Node-RED ya viene preinstalado de fábrica dentro del sistema Raspbian, solo que posee el inicio automático junto con el sistema operativo desactivado.

Una vez instalado (o corrido el script de instalación), puede configurarse para su ejecución como servicio, esto quiere decir que puede ejecutarse en segundo plano y habilitarse para iniciar automáticamente al arrancar. Los siguientes comandos se ejecutan para trabajar con el servicio:

- *node-red-start*: este comando inicia el servicio Node-RED y muestra su salida de registro. Al presionar *Ctrl-C* o cerrar la ventana de la terminal, el servicio no se detiene; sigue ejecutándose en segundo plano.
- *node-red-stop*: detiene el servicio Node-RED.
- *node-red-restart*: Detiene y vuelve a iniciar el servicio Node-RED.
- *node-red-log*: muestra la salida del registro del servicio.

También es posible iniciar el servicio de Node-RED por medio del escritorio de Raspbian, siguiendo la secuencia “Menú”-> “Programación”->”Node-RED”.

Si quiere que Node-RED se ejecute cuando se inicia o reinicia la placa Raspberry Pi, se debe habilitar el servicio. Para ello, debe ejecutar el siguiente comando:

```
sudo systemctl enable nodered.service
```

En cambio, si no desea que se ejecute al inicio, simplemente debe ejecutar el siguiente comando en la terminal:

```
sudo systemctl disable nodered.service
```

Cuando Node-RED se encuentra en ejecución, ahora se puede acceder al editor a través de un navegador. Si se utiliza un navegador dentro de la Raspberry Pi, en la barra de direcciones hay que colocar <http://localhost:1880>, aunque se recomienda que se utilice un navegador por fuera de la placa Raspberry y apuntar a Node-RED que se ejecuta en la misma placa. Para poder acceder desde otra máquina, debe conocerse el nombre de host o la dirección IP de la Raspberry. En la Figura 38, se muestra en ejecución Node-RED

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

accedido desde otra PC. Se pueden distinguir claramente que el editor se divide en tres secciones.

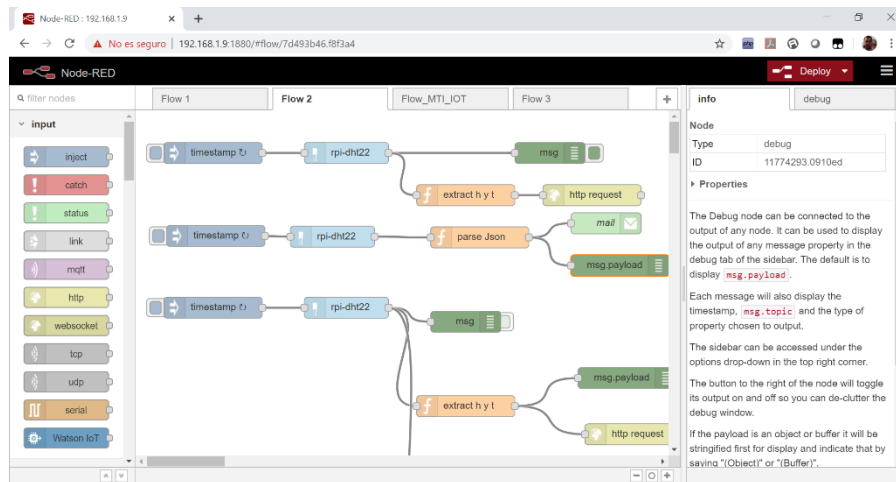


Figura 38 - Editor de Node-RED [Fuente propia].

A la izquierda, se tiene el panel de nodos. Ahí figuran los nodos por defecto que trae preinstalado el Node-RED. Si no se encuentra algún nodo, en [126] se puede buscar al que sea necesario y se instala por medio del gestor *npm*. Al centro, se encuentra el área de trabajo. El lugar donde se arrastran los nodos y se van interconectando entre ellos. Haciendo doble clic en algún nodo, es posible configurarlo o escribir alguna funcionalidad específica. Del lado derecho del editor teniendo algún nodo seleccionado, nos brinda información acerca de las variables involucradas para poder trabajar con ese nodo, en la pestaña “Info”. En la pestaña “Debug” se muestra la información de la depuración de la hoja de trabajo, incluyendo a todos los nodos que forman parte de él. También se tiene un botón rojo en la parte superior derecha, “Deploy” el cuál se encarga de verificar el estado de todos los nodos y hojas de trabajo y procede a ejecutarlas.

3.2.4 Windows 10 IoT Core

A mediados del año 2015, finalmente ve la luz *Windows 10 IoT Core* para las placas Raspberry Pi, en lo que es el plan que poseía Microsoft para poder conquistar otros dispositivos y ser utilizado. Esta edición de *Windows 10* [130] para pequeños dispositivos de IoT comenzaba su andadura y muchos usuarios creían que sus placas iban a convertirse en pequeñas PC de escritorio. Pero esto no será posible, ya que no se tendrá el escritorio

de Windows 10 que se conoce, sino que es una plataforma de desarrollo para distintos tipos de proyectos como ser robótica, domótica e IoT.

Windows 10 IoT Core es una versión más limitada que el Windows 10 tradicional, ya que no cuenta con muchas de las opciones porque, simplemente, no las necesita. Es una edición para arquitecturas de 32 y 64 bits, concretamente las placas tipo ARMv7. Como se mencionó anteriormente, no se cuenta con un entorno de escritorio: no tiene menú de inicio, Cortana⁴⁸ y no se pueden ejecutar aplicaciones o juegos de *Windows 10*.

En [131] se encuentran las distintas placas sobre las cuales puede instalarse *Windows 10 IoT Core*. Los usuarios de estas placas tienen que tener claro que, *Windows 10 IoT Core* no es una plataforma que permitirá abrir un navegador, escuchar música o abrir y editar documentos. Es una plataforma creada por y para desarrolladores. La idea es invitar a los distintos desarrolladores a crear e inventar distintas soluciones que se adapten a IoT y no solamente se centren en el segmento de las PCs tradicionales.

3.2.4.1 Instalación

La instalación es sencilla, pero no tiene nada que ver con una instalación tradicional de Windows 10 en una PC o notebook. Para llevar a cabo la instalación será necesario tener a mano la placa con la cual se trabajará (en este caso, la placa Raspberry Pi) con su fuente de alimentación, una tarjeta de memoria MicroSD de, como mínimo, 8GB, un cable HDMI para el monitor y una PC con Windows 10 instalado que posea lector de tarjetas MicroSD, además de tener instalado el Panel de *Windows IoT Core* [132].

Con todos estos elementos listos, lo que resta por hacer es lo siguiente:

- Una vez descargado e instalado el Panel; abrirlo y hacer clic en “*Configurar un nuevo dispositivo*” y luego insertar la tarjeta SD en el equipo.
- Completar todos los campos, como se indica en la Figura 39.
- Aceptar los términos de licencia y luego, hacer clic en “*Descargar e instalar*”. Se comienza a descargar e instalar una imagen de Windows 10 IoT Core en la memoria MicroSD.

⁴⁸ Cortana es un asistente virtual creado por Microsoft para Windows 10, Windows 10 Mobile, Windows Phone 8.1, entre otros.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

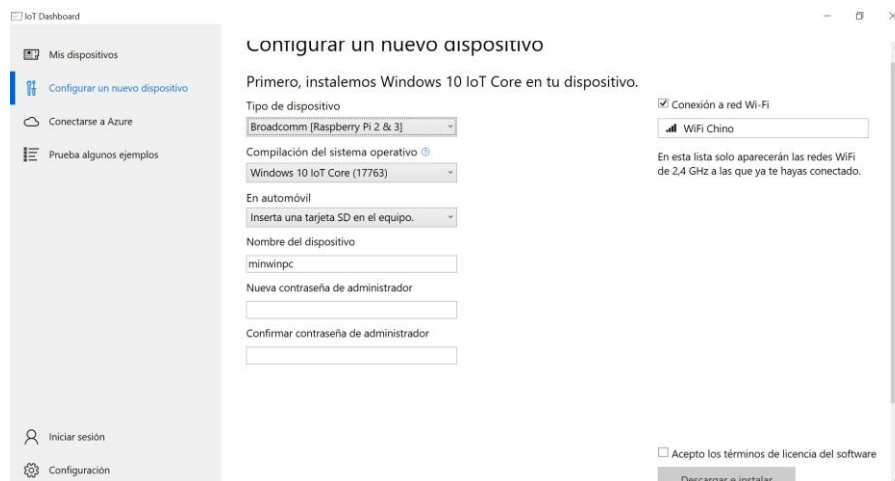


Figura 39 - Panel de Windows 10 IoT Core [Fuente propia].

Se recomienda, una vez finalizada la instalación de la imagen en la memoria MicroSD, colocarla en la placa Raspberry Pi y conectarla a un monitor externo vía HDMI para visualizar el arranque de la aplicación de manera predeterminada.

3.2.5 OpenHAB

OpenHAB [133] es una herramienta de código abierto que permite integrar con facilidad distintos sistemas y tecnologías IoT en una solución única. Permite crear reglas automáticas y ofrece una interfaz unificada respecto a los distintos dispositivos; además proporciona un protocolo de comunicación para estos dispositivos y sus tecnologías [134].

Está escrita en lenguaje Java, por lo que se considera multiplataforma, es decir puede ejecutarse en Windows, Linux, OSX, entre otros. Brinda distintas interfaces de usuarios que se basan en HTML capaz de ejecutarse en cualquier dispositivo, así como también aplicaciones para Android e iOS. Posee un diseño *responsive*, es decir que adapta la disposición de los elementos al tamaño de la pantalla. Además, es posible interactuar con distintos sistemas mediante el servicio REST API, el cual permite el acceso en lectura a los distintos elementos, como así también a las actualizaciones de estado o envío de comando hacia los dispositivos [135].

OpenHAB posee dos canales distintos para la comunicación interna: un bus de eventos asíncronos y un repositorio de estados, que puede consultarse en cualquier momento. El bus de eventos es el servicio base que posee OpenHAB y todos los paquetes

que no requieran un comportamiento que se base en eventos deben utilizarlo para informar a otros sobre los eventos y para ser actualizado por eventos externos. Todos los *bindings* de protocolo, que proporcionan el vínculo con los dispositivos reales, deben poder comunicarse a través del bus de eventos. Esto permite la conexión de dispositivos que utilicen diferentes tecnologías. En la Figura 40 se muestra un ejemplo de cómo serían estos canales de comunicación.

En resumen, OpenHAB podría considerarse una aplicación que integra los dispositivos existentes, actuando como mediador entre los distintos protocolos para lograr una correcta comunicación entre los dispositivos.

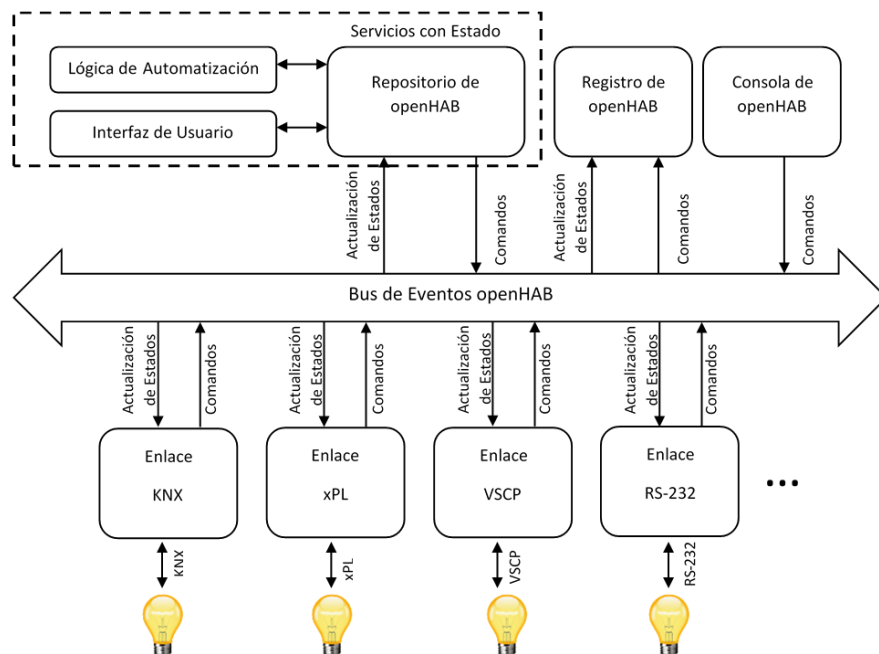


Figura 40 - Canales de comunicación de OpenHAB [135].

3.3 Conclusiones

La plataforma o herramienta IoT será la que se encargue de la gestión de la información. Su función principal será la de recibir datos de los distintos dispositivos IoT, almacenarlos en algún motor de base de datos seleccionado (si la solución así lo requiera), compartir esos datos con la aplicación que verán los usuarios y enviar las precisas instrucciones a los distintos actuadores, según los datos que reciba.

Las plataformas IoT que se mencionan al principio, no serán tenidas en cuenta en lo inmediato, debido a que están diseñadas y desarrolladas para grandes volúmenes de

datos e información; incluso, hay una que su fuerte es la conexión satelital, para poder utilizarse en lugares donde el acceso a la red de celulares o banda ancha se escasea o nulo.

De todas las herramientas vistas a lo largo del presente capítulo, todas tienen potencial para poder desarrollar el sistema que aquí se propone. Sin embargo, se ha seleccionado la herramienta Node-RED. Esta elección se debe, principalmente, a que viene preinstalado en la distribución de Raspbian para la Raspberry Pi y que, además, ya se tiene un poco de experiencia con respecto a las otras herramientas [36] [125].

Como se ha mencionado anteriormente, su entorno gráfico es amigable, facilita la comprensión visual de los distintos flujos que se desarrollarán durante el proyecto. Basta solamente con arrastrar y soltar los nodos e interconectarlos. Para finalizar, es una herramienta ligera y puede accederse desde cualquier navegador, por lo que la elección del equipo donde se instale no adquiere importancia.

Capítulo 4

Desarrollo e implementación

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 4: Desarrollo e implementación

Luego de realizar una introducción a los temas que se abordan en este trabajo (Capítulo 2) y de hacer un relevamiento de las herramientas disponibles en el mercado para la realización del mismo (Capítulo 3), en este capítulo se describe el desarrollo de la solución propuesta.

Para la magnitud que tiene el presente desarrollo y los costos que se tienen a la hora de adquirir algunas de las herramientas antes vistas, se optó por realizar el modelo utilizando Node-RED [124], ya que se trata de una herramienta multiplataforma que viene por defecto preinstalado en el sistema operativo Raspbian, con la salvedad ya hecha de que posee el inicio automático junto con el sistema operativo, desactivado. Para ver como se activa el inicio automático, dirigirse a la Sección 3.2.3.1.

Como lo que se pretende realizar es el monitoreo de una cámara hidropónica mediante el uso del correo electrónico y de una cuenta de Twitter, primeramente se realizará la creación de dichas cuentas. Se utilizará una cuenta de Gmail para el correo electrónico y con la misma cuenta, se creará la de Twitter.

4.1 Preparación del Entorno de Desarrollo

4.1.1 Creación de las cuentas de correo electrónico y Twitter

Para crear la cuenta de correo electrónico, hay que dirigirse a la página principal de Gmail⁴⁹ y hacer *click* a la opción de “Crear una cuenta” (si ya se posee una, debemos seleccionar “Iniciar sesión”). Una vez seleccionado para crear la cuenta, aparece un formulario donde se tendrá que indicar el nombre y apellido que identificará al correo, la dirección escogida y la clave, repitiéndola como confirmación, según puede verse en la Figura 41.

⁴⁹ Página Principal de Gmail: <https://www.google.com/intl/es/gmail/about/#>

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

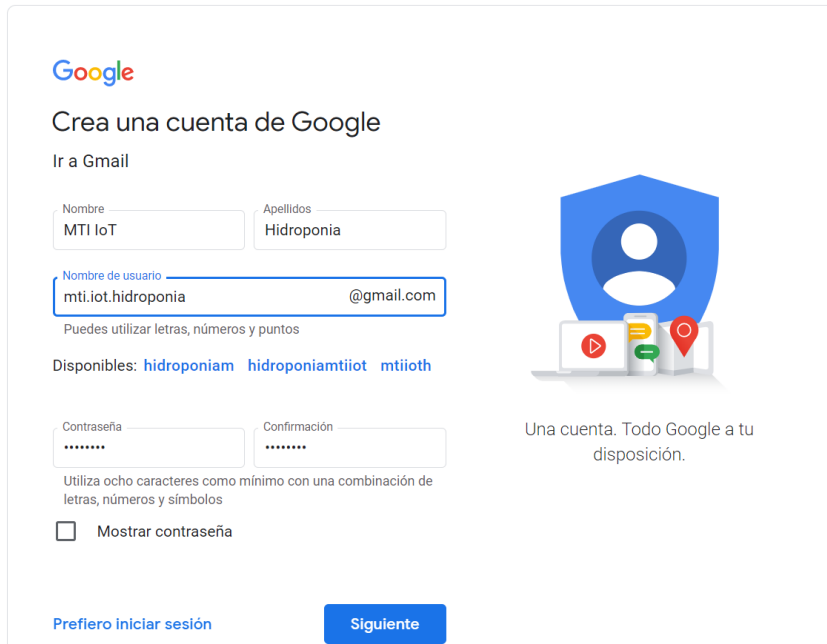
The image shows the Google account creation interface. At the top, the Google logo is followed by the text 'Crea una cuenta de Google' and 'Ir a Gmail'. Below this, there are input fields for 'Nombre' (First Name) with the value 'MTI IoT' and 'Apellidos' (Last Name) with the value 'Hidroponia'. A 'Nombre de usuario' (Username) field contains 'mti.iot.hidroponia' followed by '@gmail.com'. A note states 'Puedes utilizar letras, números y puntos'. Below the username field, suggested usernames are listed: 'Disponibles: hidroponiam hidroponiamtiot mtiioth'. There are fields for 'Contraseña' (Password) and 'Confirmación' (Confirmation), both masked with dots. A note says 'Utiliza ocho caracteres como mínimo con una combinación de letras, números y símbolos'. A checkbox labeled 'Mostrar contraseña' is present. At the bottom left, there is a link 'Prefiero iniciar sesión' and a blue button labeled 'Siguiente'. On the right side, there is a graphic of a blue shield with a white person icon, and a text box that says 'Una cuenta. Todo Google a tu disposición.'

Figura 41 - Creación de la cuenta de correo [Fuente Propia].

Cabe mencionar que, al crear una cuenta de correo en Gmail, se tiene acceso a todas las herramientas que Google tiene disponible para una cuenta básica.

Para crear la cuenta de Twitter⁵⁰, hay que dirigirse hacia su página principal donde se tiene el formulario de inicio de sesión. En la misma pantalla, se encuentra un botón que permite poder crear una cuenta nueva, como se muestra en la Figura 42.

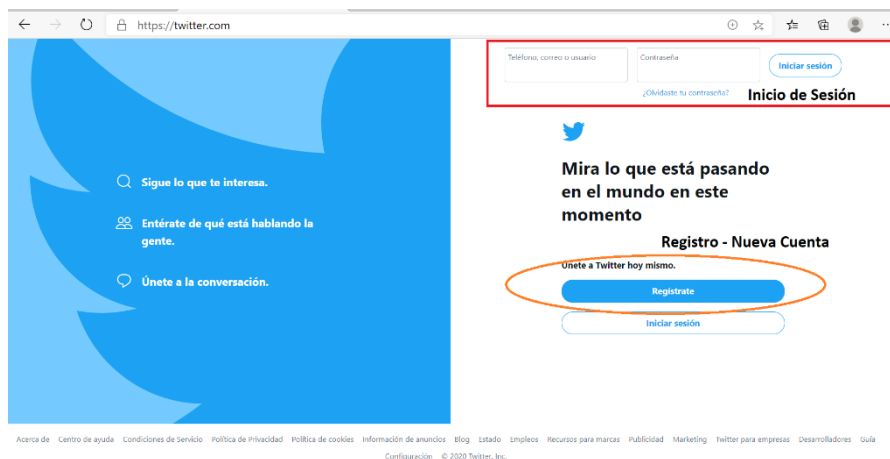
The image shows the Twitter homepage. On the left, there is a large blue bird logo. On the right, there is a login and registration section. At the top of this section, there are input fields for 'Teléfono, correo o usuario' and 'Contraseña', followed by a blue button labeled 'Iniciar sesión'. Below these fields, there is a link '¿Olvidaste tu contraseña?' and the text 'Inicio de Sesión'. Below this, there is a section titled 'Mira lo que está pasando en el mundo en este momento'. Below that, there is a section titled 'Registro - Nueva Cuenta' with the text 'Únete a Twitter hoy mismo.' and a blue button labeled 'Regístrate', which is circled in orange. Below the 'Regístrate' button is a link 'Iniciar sesión'. At the bottom of the page, there is a footer with various links and the text 'Configuración © 2020 Twitter, Inc.'

Figura 42 - Pantalla principal de Twitter [Fuente Propia].

⁵⁰ Página Principal de Twitter: <https://twitter.com/>

Al seleccionar el botón de “Registrarse”, se abre una ventana tipo “modal” en el cual se puede escoger entre crear la cuenta con un número telefónico o crear la cuenta utilizando un correo electrónico. Se procederá a la creación de la cuenta utilizando el correo electrónico creado previamente.

En el formulario de creación de la cuenta, los datos solicitados son el nombre, el correo electrónico y una fecha de nacimiento, para corroborar que sea mayor de edad; como se indica en la Figura 43.

El formulario de creación de cuenta en Twitter se muestra en un modal con un fondo blanco y una sombra. En la parte superior derecha hay un botón azul con el texto "Siguiendo". El título principal es "Crea tu cuenta". Hay tres campos de entrada de texto: "Nombre" con el valor "MTI IoT Hidroponia", "Correo electrónico" con el valor "mti.iot.hidroponia@gmail.com", y un campo para "Usar teléfono" que está deshabilitado. Debajo de estos campos, se solicita la "Fecha de nacimiento" con la advertencia: "Esta información no será pública. Confirma tu propia edad, incluso si esta cuenta es para una empresa, una mascota u otra cosa." La fecha de nacimiento se selecciona mediante tres desplegables: "Mes" (abril), "Día" (8) y "Año" (2000).

Figura 43 - Formulario de creación de cuenta en Twitter [Fuente Propia].

En la siguiente pantalla, nos pide confirmar los datos previamente cargados y con el botón de “Registrarse” activo. Luego de dar *click* en dicho botón, la siguiente pantalla es para confirmar la dirección de correo electrónico ingresada previamente (Figura 44), donde se envía un código de verificación que tiene que ser ingresado (Figura 45).

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.



Figura 44 - Pantalla de confirmación de e-mail en Twitter [Fuente Propia].

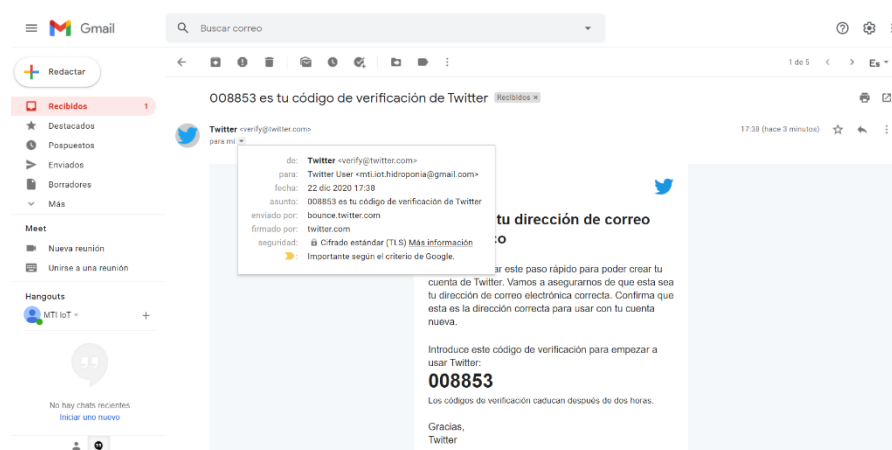


Figura 45 - E-mail enviado desde Twitter para comprobación [Fuente Propia].

Luego de confirmada la cuenta de correo, se solicita una contraseña para poder establecer la conexión en la cuenta de Twitter. La misma debe ser de 8 caracteres o más. A continuación, se solicita una foto de perfil y una pequeña biografía (esta es opcional) para así concluir con la creación de la cuenta de Twitter, como puede verse en la Figura 46.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

4.1.2 Instalación de Raspbian y configuración de Node-RED

Luego de creada la cuenta de correo electrónico y la de Twitter, se procederá a la instalación del sistema operativo para la placa SBC Raspberry Pi 3 Modelo B (Capítulo 2, Sección 2.3.3) y configurar el entorno de desarrollo elegido, Node-RED.

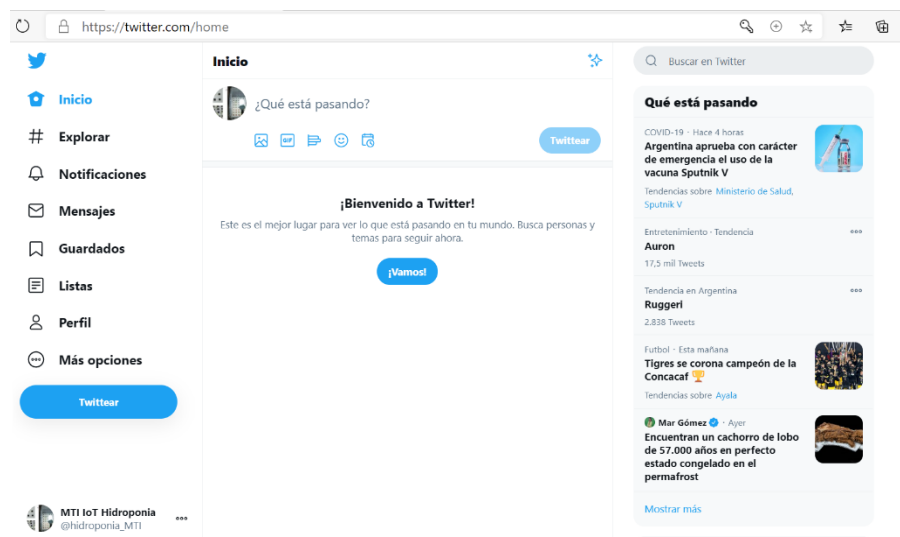


Figura 46 - Pantalla principal de Twitter [Fuente Propia].

Primeramente, hay que dirigirse hacia el sitio oficial de la placa Raspberry Pi [34], en la sección “*Software*” y seleccionar la imagen que se desea descargar del sistema operativo. Entre las opciones disponibles, existen tres imágenes para poder descargar. En la Figura 47 se aprecian las distintas imágenes y una breve reseña de su contenido. La opción a) es la versión más completa y la de mayor tamaño, ya que posee, además de los archivos del sistema operativo y el escritorio, programas instalados en la misma; es la versión que se descargará para este trabajo. La opción b) posee únicamente los archivos del sistema operativo y el escritorio; y la opción c) es la versión más “liviana” ya que solamente son los archivos del sistema operativo lo que se instalará.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

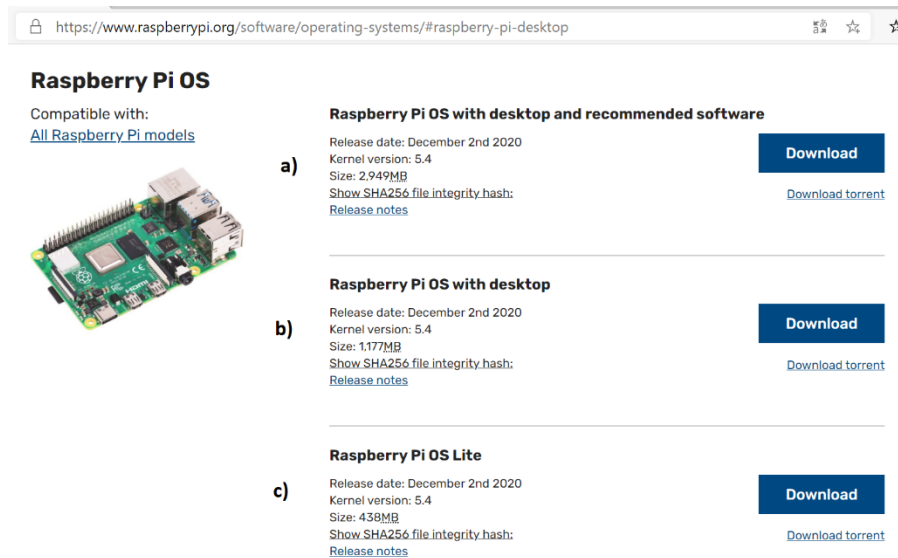


Figura 47 - Imágenes para descargar el SO para Raspberry Pi [Fuente Propia].

Una vez descargada la imagen (un archivo comprimido con extensión .ZIP), procedemos a descomprimir la misma, lo que resulta en un archivo con extensión .IMG con un tamaño de 8GB como mínimo. Para poder instalar el SO, se debe tener una tarjeta MicroSD de 8GB de tamaño, la cual se inserta en el lector de memoria de una PC de escritorio y por medio del programa *Win32DiskImager*⁵¹, se selecciona la unidad de disco que identifica a la tarjeta MicroSD y luego se elige la imagen a instalar en dicha tarjeta; a continuación se presiona el botón “Write” para proceder a la instalación, como puede apreciarse en la Figura 48.

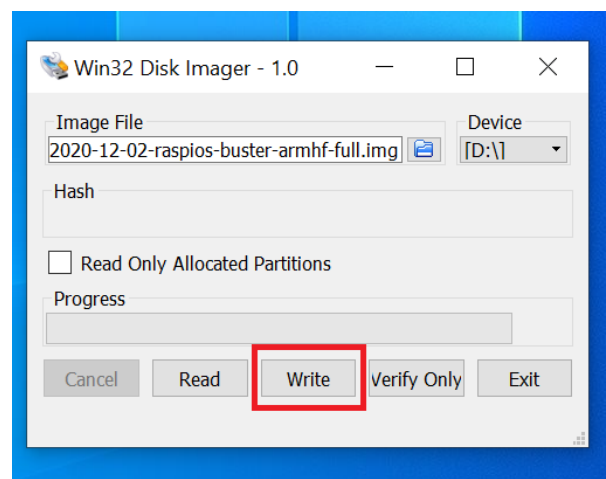


Figura 48 - Instalación del SO mediante el uso de *Win32DiskImager* [Fuente Propia].

⁵¹ *Win32 Disk Imager*: Software que permite crear imágenes ISO de arranque || *Win32 Disk Imager*: <https://win32diskimager.download/>

La instalación de la imagen se realizó utilizando una notebook *Acer Spin SP513-51* con *Windows 10 Home x64*, por lo que se siguieron las instrucciones y recomendaciones brindadas en [136]. Una vez completada la instalación, se retira la tarjeta MicroSD de la notebook y se coloca en la ranura que posee la Raspberry Pi para su primer inicio. Se conecta la placa Raspberry Pi a la energía eléctrica mediante el cable micro-USB al adaptador de energía y la placa se enciende.

4.1.3 Configuración Inicial del Sistema Operativo

Luego de encendida la placa Raspberry Pi, se procede a conectar la misma con un teclado, mouse USB y un monitor HDMI para poder visualizar el menú, el escritorio y las distintas opciones para poder configurarla y dejar listo para su uso. Al ser la primera vez que se inicia, no posee clave para el ingreso.

Lo primero que se visualiza es una barra de tareas en la parte superior, con un acceso rápido a las aplicaciones, navegador web y terminal en el lado derecho; del lado izquierdo se visualiza la hora, el volumen, la conexión a la red Wi-Fi y Bluetooth; y permite abrir las configuraciones de administración de una de las aplicaciones que posee por defecto instalado el sistema operativo, VNC⁵² (*Virtual Network Computing*); además de un ícono de la Papelera en el escritorio. Esta primera visualización del entorno gráfico se puede ver en la Figura 49.

Presionando en la fresa que se encuentra en la esquina superior izquierda, se despliega el menú con el acceso a todos los programas y herramientas que ya vienen instalado en el sistema, el cual se encuentra dividido por tipo de programa. Luego está la ayuda del sistema operativo, el cual nos redirige al sitio web con la ayuda en inglés (aunque es posible cambiar el idioma visible, Español aún no disponible); un menú de preferencias, el cual nos permitirá configurar diversos parámetros de la placa y del sistema operativo; una opción para ejecutar comandos y la opción para apagar o reiniciar el sistema. Esto puede apreciarse en la Figura 50.

⁵² *RealVNC*: Software de acceso remoto para equipos de escritorio y dispositivos móviles | *RealVNC*: <https://www.realvnc.com/es/>

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

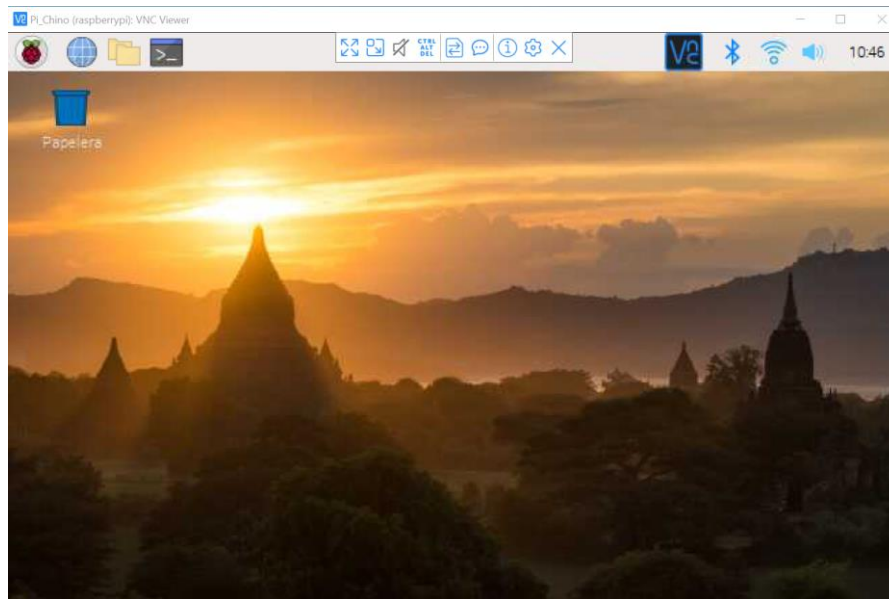


Figura 49 - Escritorio del SO Raspbian [Fuente Propia].

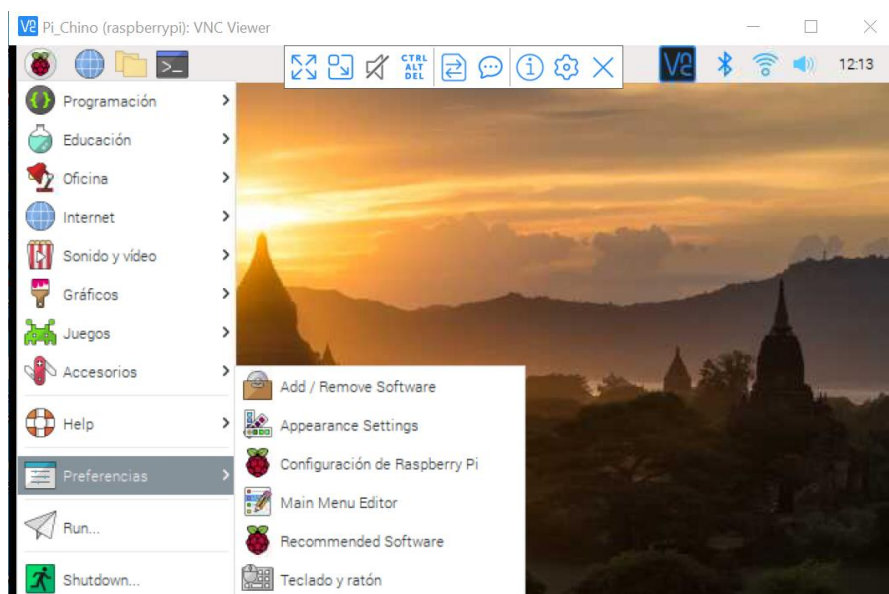


Figura 50 - Menú desplegado del SO Raspbian [Fuente Propia].

De la lista de opciones que aparece al desplegar el menú “Preferencias”, el que interesa es el que dice “Configuración de Raspberry Pi”, lo seleccionamos y se despliegue en pantalla una ventana con cinco pestañas: Sistema, *Display*, Interfaces, Rendimiento y Localización. A continuación se mencionará brevemente que parámetros se pueden modificar en cada pestaña, haciendo mayor hincapié en “Sistema” e “Interfaces”.

En la pestaña “Sistema” se tiene para configurar el nombre del equipo (por defecto, *raspberrypi*) para ser detectado en la red, establecer la clave del usuario “pi”, si se quiere

que inicie en modo gráfico (mediante el escritorio) o en modo consola, si se desea iniciar por defecto con el usuario “pi”, si se desea esperar a la conexión de la red para poder terminar de arrancar el sistema operativo. Prestar atención a si se cambia la clave, ya que la misma también sirve para conectarse con el software de escritorio remoto VNC. En la Figura 51 se muestran estas opciones.

En la pestaña “*Display*” se configura la resolución de la pantalla, si la pantalla se mostrará con borde y si se habilita la pantalla blanca ante cierta inactividad.

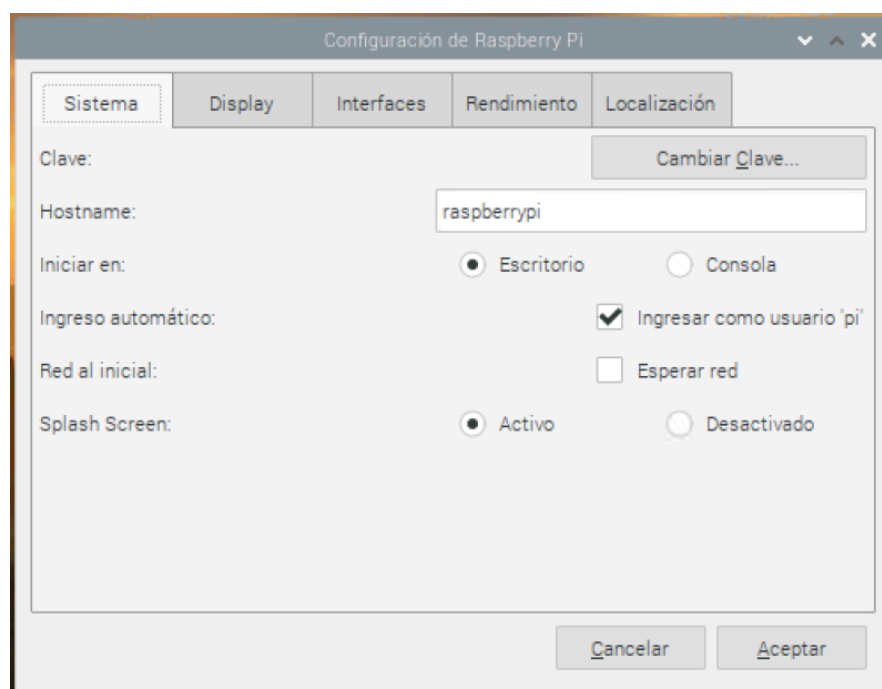


Figura 51 - Pestaña “Sistema” de la configuración de Raspberry Pi [Fuente Propia].

En la pestaña “Interfaces” tenemos los distintos medios que pueden ser conectados a la placa Raspberry Pi y el acceso a la misma. Como se van incorporando accesorios por medio de los conectores y, también, se tiene aplicaciones que permiten el acceso al SO, por medio de esto se brinda el acceso. En la Figura 52 se muestran las opciones de protocolos y aplicaciones que se tienen para habilitar en la placa. En nuestro caso, por defecto viene deshabilitado el acceso a los puertos GPIO de manera remota por lo que se debe habilitarlo. Lo mismo pasa con la conexión SSH y VNC, para poder tener acceso vía remota a nuestra placa Raspberry Pi.

En la pestaña “Rendimiento” se puede establecer cuanta memoria se le otorga a la GPU y qué configuración se le dará al dispositivo de almacenamiento, es decir de sólo lectura o lectura y escritura.

Y por último, en la pestaña “Localización” está la configuración regional del teclado, zona horaria y país de la conexión Wi-Fi. Una vez finalizada las configuraciones, se debe dejar listo Node-RED para que se inicie el servicio con el inicio del SO. Simplemente se debe ejecutar en la Terminal el siguiente comando:

```
sudo systemctl enable nodered.service
```

Una vez hecho esto, ya tenemos configurada la placa Raspberry Pi y garantizada la ejecución del servicio del Node-RED para poder comenzar con el desarrollo propuesto.

4.2 Configuración del entorno para desarrollar el modelo propuesto

Como se había mencionado en la Sección 3.2.3, Node-RED es una potente herramienta de programación basada en flujos para la interconexión de distintos dispositivos de hardware; además, posee una interfaz amigable e intuitiva, cuenta con la funcionalidad de arrastrar y soltar (*drag & drop*) y es la herramienta que se escogió para poder realizar el armado del diagrama de flujos propuesto para el presente trabajo.

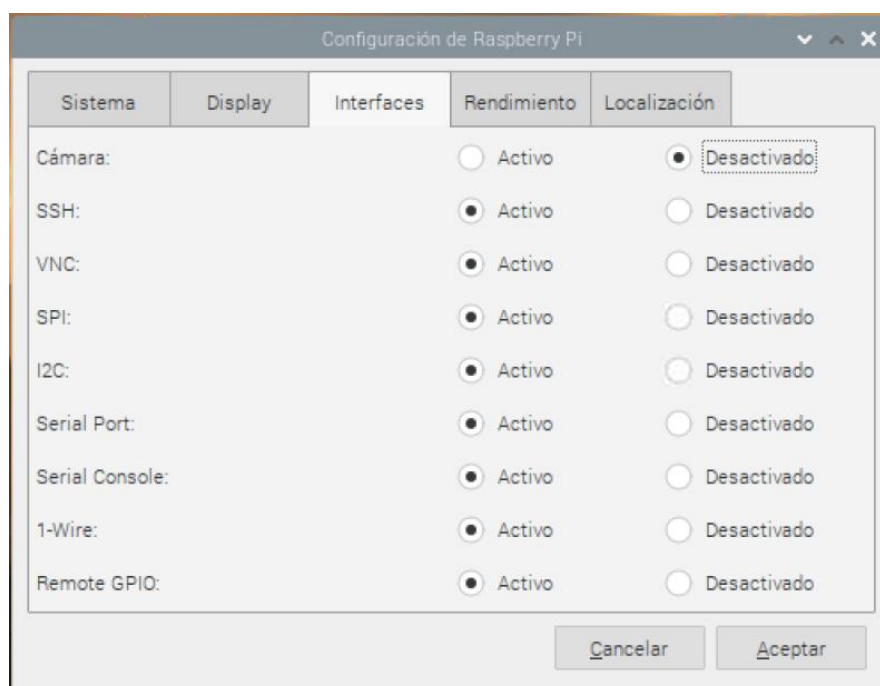


Figura 52 - Pestaña “Interfaces” de la configuración de Raspberry Pi [Fuente Propia].

4.2.1 Prueba de conexión del modelo utilizando el correo electrónico

Como primera medida, lo que se hace es interconectar la cuenta de correo electrónico con la aplicación desarrollada con Node-RED. Para ello, primeramente se

accede a la aplicación a través del navegador web y desde el panel de nodos en la parte izquierda de la aplicación, hay que ubicar los nodos correspondientes al ingreso y salida de correos electrónicos, en el apartado “*Social*”. En caso de no encontrarse los nodos solicitados, como se indicó anteriormente, en [126] se puede buscar el nodo correspondiente y proceder a instalarlo mediante el uso del gestor *npm*.

Una vez colocado los nodos de entrada y salida, se procede a la configuración de cada uno de ellos. En el nodo de entrada, como se aprecia en la Figura 53a, es posible configurar cada cuanto tiempo el nodo accederá a la cuenta de mail para verificar si se recibió alguna nueva petición, por defecto viene configurado para revisar la casilla cada 30 segundos; el protocolo se puede escoger entre IMAP⁵³ y POP3⁵⁴, esto es configurable si vamos a acceder a otro servidor de correos propio, pero como se utilizarán los propios servidores de Google usaremos el protocolo IMAP cuya dirección del servidor por defecto viene establecida con la dirección IMAP del mismo; podemos marcar si vamos a utilizar SSL⁵⁵ o no en los correos, si se deja marcada la opción de utilizar SSL, el puerto es el 993 sino el puerto sugerido es el 143; luego se configuran el nombre de usuario o *UserID* y la contraseña del correo electrónico para poder acceder al mismo; luego especificamos de qué bandeja se van a obtener los correos, el valor por defecto es de la bandeja de entradas o *INBOX*; luego se puede configurar qué hacer con los correos que se reciben, para ello hay 3 posibilidades: a) No hacer nada, b) Marcar como leído y c) Eliminar el correo; por defecto está seleccionada la opción “Marcar como leído”; luego es posible especificar cuál es el criterio que deben tener los mensajes para poder ser recuperados y leídos por la aplicación. Entre las distintas opciones que ofrece el nodo de entrada, se deja el indicado por defecto que es “no visto” (*Unseen*). Por último, se puede colocar un nombre identificador al nodo.

⁵³ IMAP (*Internet Message Access Protocol* – Protocolo de Acceso a Mensajes de Internet)

⁵⁴ POP3 (*Post Office Protocol* – Protocolo de Oficina de Correo o “Protocolo de Oficina Postal”)

⁵⁵ SSL (*Secure Sockets Layers* – Capa de Puertos Seguros)

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

The image displays two side-by-side screenshots of a web-based configuration interface titled 'Edit email node'. Both screenshots show a 'Properties' section with various settings for an email node.

a. Nodo de Entrada (Left Screenshot):

- Get mail:** automatically (dropdown), every 30 seconds.
- Protocol:** IMAP (dropdown).
- Use SSL?** ☒.
- Server:** imap.gmail.com.
- Port:** 993.
- Userid:** mti.iot.hidroponia.
- Password:** [masked with asterisks].
- Folder:** INBOX.
- Disposition:** Mark Read (dropdown).
- Criteria:** Unseen (dropdown).
- Name:** IN_MAIL.
- Enabled:** ☒.

b. Nodo de Salida (Right Screenshot):

- To:** email@address.com.
- Server:** smtp.gmail.com.
- Port:** 465.
- Use secure connection:** ☒.
- Userid:** mti.iot.hidroponia.
- Password:** [masked with asterisks].
- Use TLS?** ☒.
- Name:** OUT_MAIL.
- Enabled:** ☒.

Figura 53 - Configuración de nodos de correos electrónicos [Fuente Propia]. a) Nodo de entrada; b) Nodo de Salida.

Del mismo modo, se configura el nodo de salida de los correos electrónicos, tal como se muestra en la Figura 53b. Ahí se puede observar como la cantidad de parámetros a configurar son menores que en el nodo de entrada. Primeramente, es posible configurar a quien enviar el correo de salida, en el caso que se coloque una dirección de correo solamente a esa dirección se enviará la salida; si se deja en blanco es posible enviar una respuesta a distintos destinatarios (que saldrán de un correo de entrada o de una lista de posibles destinatarios). Podemos indicar un servidor de correo para realizar la transferencia del mismo (en caso que se tenga uno configurado), en este trabajo se utilizará el de Google que figura por defecto en el nodo; es posible configurar el puerto de conexión con el servidor SMTP⁵⁶ si se tiene un servidor de correo configurado, de lo contrario se utilizará el puerto 465 que viene por defecto en el nodo; podemos marcar también si queremos utilizar una conexión segura; luego se configuran el nombre de usuario o *UserID* y la contraseña del correo electrónico para poder acceder al mismo y realizar el envío de un correo; luego, podemos marcar si se desea utilizar TLS⁵⁷ para el envío de la salida, por defecto se deja marcado y para finalizar, se puede colocar un nombre identificadorio al nodo.

⁵⁶ SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol* – Protocolo para Transferencia Simple de Correo)

⁵⁷ TLS (*Transport Layer Security* – Seguridad en la Capa de Transporte)

Una vez realizada esta configuración, se pueden recibir y enviar correos. Pero, ¿seguro que con esto ya podremos recibir y responder correos? La respuesta a esto es que con la configuración vista, sobre todo en el nodo de salida, es posible realizar la respuesta de los correos; pero no sabremos cómo ni qué responder sin tener acceso a la bandeja de entrada. Esto se debe a que estamos intentando acceder a la bandeja y al contenido de los correos enviados a la dirección configurada, en este caso Gmail. Por defecto y por cuestiones de seguridad, Google mantiene todos los accesos bloqueados a sus servicios por aplicaciones poco seguras y, como se está intentando acceder al correo a través del nodo de entrada del Node-RED, lo bloquea por más que las credenciales sean válidas. Esto se puede apreciar en la Figura 54.



Figura 54 - Intento de acceso a través de la aplicación [Fuente Propia].

Para poder desbloquear y permitir el acceso a las aplicaciones poco seguras, debemos iniciar sesión con la cuenta de Google y acceder a la opción de “Gestionar tu cuenta de Google”. En la pantalla, se puede ver las distintas opciones de configuración que se puede realizar a la cuenta de Google. En la parte central, se tiene un resumen de las distintas opciones a configurar o, de otra manera, es accediendo a dichas opciones desde el menú lateral que se encuentra a la izquierda de la pantalla. Esto lo vemos en la Figura 55.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

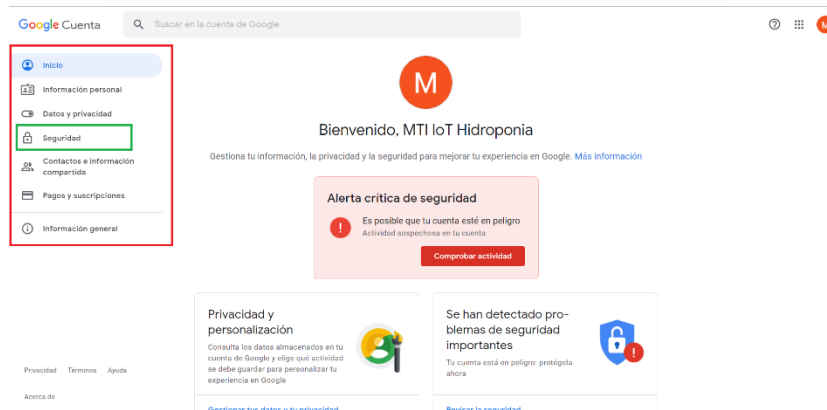


Figura 55 - Pantalla principal de la configuración de la cuenta de Google [Fuente Propia].

A continuación, se accede en el menú de la izquierda se accede a la opción de “Seguridad” (Figura 55). En dicha pantalla, se muestran las distintas opciones de seguridad a tener en cuenta para mantener la cuenta de Google protegida ante ataques maliciosos. Una vez ingresada a dicha pantalla, nos dirigiremos hacia la sección de “Acceso de aplicaciones poco seguras” en la cual se verifica a simple vista que está bloqueado el acceso. Esto lo podemos visualizar en la Figura 56.

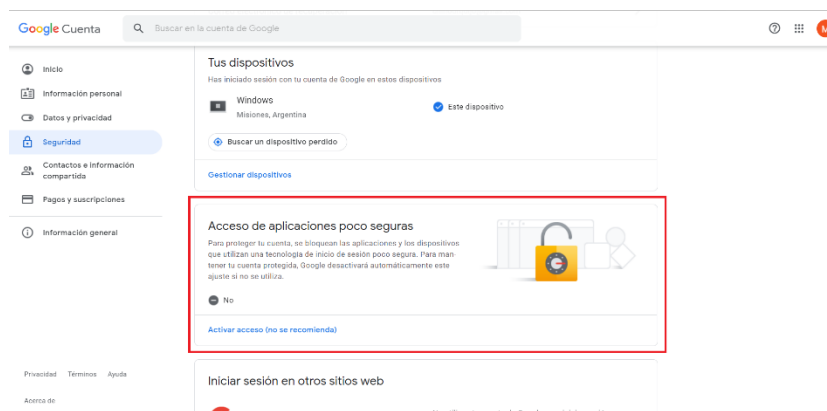


Figura 56 - Pantalla de la opción “Seguridad” de la cuenta de Google [Fuente Propia].

Luego, ingresando en la opción de “Acceso de aplicaciones poco seguras” tendremos que permitir el acceso para la aplicación que se desarrolla en Node-RED. Esto se puede apreciar en la Figura 57. Una vez habilitado el acceso, se podrá tener acceso desde la aplicación a los correos que lleguen a la cuenta de Google. Cabe mencionar que, si en un lapso de 2 meses no hay actividad de la aplicación o de la cuenta de correo, esta opción vuelve a su estado por defecto, es decir que queda deshabilitado el acceso de aplicaciones poco seguras y hay que volver a activarlo.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

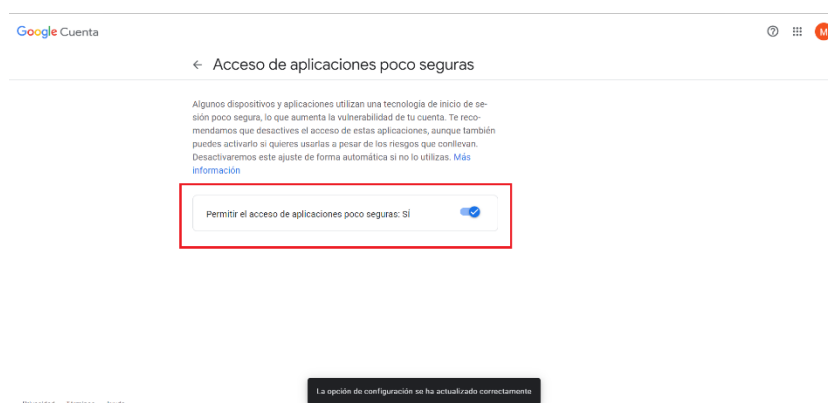


Figura 57 - Permitir el acceso para aplicaciones poco seguras a la cuenta de Google [Fuente Propia].

Para completar la conexión y verificar su funcionamiento, al modelo se agregan 2 nodos de depuración; uno de ellos, devolverá el contenido, en formato *JSON* del correo entrante y el otro, devolverá el contenido en *JSON* del correo que se enviará como respuesta, y un nodo de función, donde se armará la respuesta de prueba al correo recibido. En la Figura 58 se muestra el modelo de conexión con el correo electrónico completo y en la Figura 59, el intercambio de correos y la respuesta por parte de la aplicación Node-RED.

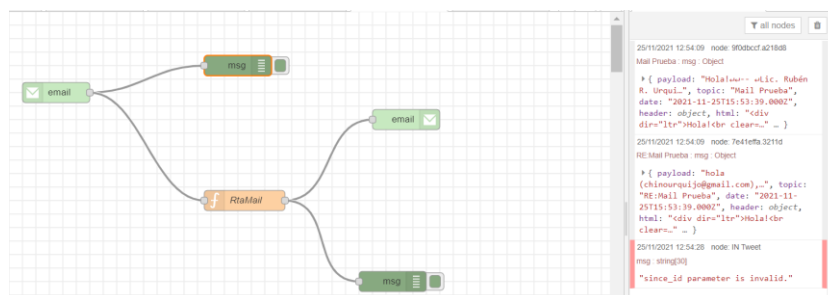


Figura 58 - Modelo de prueba para conectar la aplicación de Node-RED con el correo electrónico [Fuente Propia].

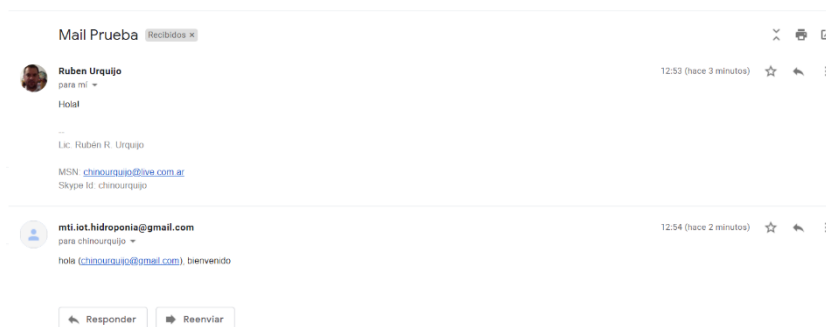


Figura 59 - Intercambio de correos entre un usuario y la aplicación en Node-RED [Fuente Propia].

4.2.2 Prueba de conexión del modelo utilizando la cuenta de Twitter

De la misma manera que se realizó una prueba de conexión con la cuenta de correo electrónico, ahora haremos lo mismo conectando la cuenta de Twitter creada para tal fin con la aplicación en Node-RED. Para ello, desde el panel de nodos en la parte izquierda de la aplicación, hay que ubicar los nodos que se corresponder con el ingreso y salida de Twitter, en el apartado “Social”. Como se ha mencionado con anterioridad, en caso de no encontrarse los nodos, dirigirse a [126] para realizar la búsqueda en instalación de los mismos mediante el uso del gestor *npm*.

Realizando los mismos pasos que en la Sección 4.2.1, una vez colocados los nodos de entrada y de salida se procede con la configuración de cada uno de ellos. En el nodo de entrada, como se aprecia en la Figura 60a, se puede configurar primeramente el *ID* de la cuenta de Twitter a utilizar; luego se tiene una lista de opciones para realizar la lectura de los *tweets*, para ello existen 4 alternativas: a) todos los *tweets* públicos, b) todos los *tweets* de las cuentas que se siguen, c) *tweets* de un usuario específico y d) los mensajes directos; para este trabajo se escoge la opción c); luego se configura los criterios de búsqueda, se pueden agregar términos separados por coma, tendencias o etiquetas utilizando el carácter # (*hashtag*) y nombres de usuarios con el carácter @ (*arroba*) por delante, es decir se pueden combinar las 3 opciones. Un dato a tener en cuenta es que si se van a leer los *tweets* de una cuenta particular, esta cuenta debería tener configurado su visibilidad y los *tweets* en público. Por último, se puede colocar un nombre identificador al nodo. Como se puede apreciar en la Figura 60a, los desarrolladores de la API de Twitter indican que no está garantizada la entrega del 100% de los *tweets* utilizándola.

De la misma manera, se configura el nodo de salida tal como se muestra en la Figura 60b. Ahí se puede observar como los parámetros a configurar son menos que en el nodo

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

de entrada. Únicamente hay que configurar el *ID* de la cuenta de Twitter a utilizar y, opcionalmente, colocar un nombre identificatorio al nodo.

Con la configuración hecha, sobre todo en el nodo de entrada, sabremos de qué cuenta se leerán los *tweets*, qué términos serán los que se busquen y cuál es la cuenta que los va a recuperar, en este caso la creada para el presente trabajo. Pero para poder tener funcional a los nodos, al lado del campo “*Twitter ID*” hay un ícono indicativo que hay que realizar la configuración de las credenciales de la cuenta de Twitter. Esta configuración se muestra en la Figura 61.

Para poder recuperar los *tweets* y utilizar los servicios de la *API* de Twitter es necesario registrarse en el portal de aplicaciones para desarrolladores que posee esta red social. Para registrarse hay que acceder con la cuenta de Twitter a la dirección web del portal⁵⁸, la cual se muestra en la Figura 61 en el paso 1.

a. Nodo de Entrada

b. Nodo de Salida

Figura 60 - Configuración de nodos de Twitter [Fuente Propia]. a) Nodo de entrada; b) Nodo de Salida.

Como primer paso, hay que brindar unos datos básicos para cargar la petición de la aplicación a utilizar. Estos datos son la cuenta de Twitter y el correo electrónico asociado a ella, luego pregunta en qué país se encuentra, sobre qué tipo de actividades hará uso y si los datos obtenidos serán divulgados a alguna entidad gubernamental. Luego de

⁵⁸ Portal de Desarrolladores de Twitter: <https://developer.twitter.com/en/apps>

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

completar estos datos, se genera una petición hacia Twitter indicando cómo será utilizada la API; dicha petición debe ser aprobada para continuar con la configuración. Una vez aprobada la petición, se procede a ingresar al portal para poder generar las claves que se solicitan en la Figura 61. En la Figura 62 se ve el panel donde se autogeneran dichas claves. Al generarlas por primera vez, luego se puede revocar o regenerar las mismas, no es posible ver las que están generadas por lo que es recomendable generarlas y guardarlas en un lugar seguro.

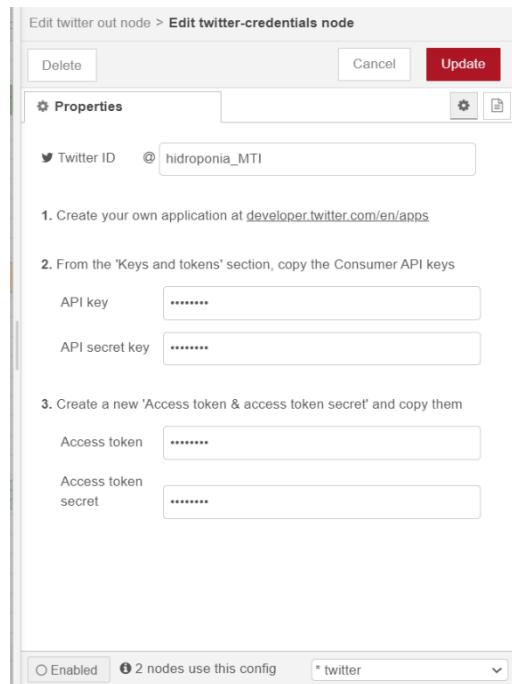


Figura 61 - Configuración de las credenciales de Twitter en Node-RED [Fuente Propia].

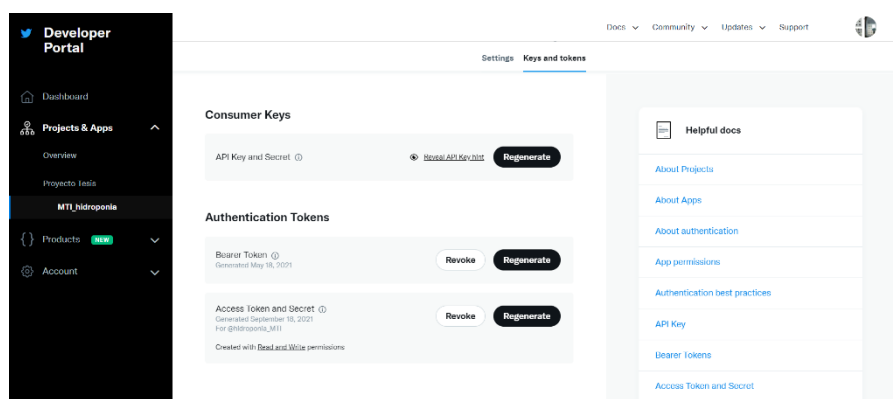


Figura 62 - Panel del Portal de Desarrolladores con las claves generadas [Fuente Propia].

Con las claves generadas colocadas en los nodos de entrada y salida, ya es posible leer y enviar *tweets* desde la aplicación Node-RED. Para ello se realiza una prueba por separado de cómo realizar el envío de un *tweet* y luego, se realiza la lectura de un *tweet* enviado desde una cuenta.

Para el envío de un *tweet*, vamos a colocar en el flujo de Node-RED un nodo de inyección junto con el nodo de salida de Twitter. En el nodo de inyección, vamos a colocar una frase que es la que vamos a enviar a Twitter. En la Figura 63a, se muestra la configuración del nodo inyección junto con la frase que se enviará a la cuenta de Twitter. En la Figura 63b, se muestra la portada de la cuenta de Twitter con la frase que fuera enviada desde la aplicación. Para que se haga efectivo el envío, una vez depurado el flujo de trabajo de Node-RED, se debe hacer *click* en el recuadro al lado del nodo de inyección, que se encuentra remarcado en la Figura 63a, con el color rojo. Luego de hecho *click* y enviada la frase a Twitter, si se vuelve a dar click Node-RED emite un alerta y no envía nuevamente la frase. Esto se debe a un control contra las cuentas que se dedican a realizar publicaciones basura o *SPAM*, por lo tanto no se puede publicar el mismo mensaje poco tiempo después de haberlo realizado. Para poder volver a publicar un mensaje ya publicado, previamente se tuvo que haber cambiado la frase que contenía el nodo de inyección.

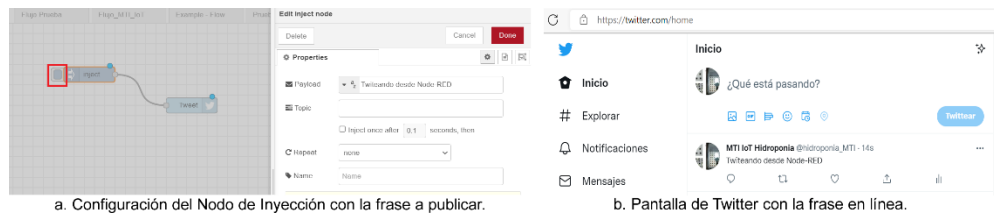


Figura 63 - Prueba de Envío de *Tweet* [Fuente Propia]. a) Configuración del Nodo de Inyección; b) *Tweet* publicado.

Para realizar la lectura de los *tweets* públicos, vamos a colocar el nodo de entrada de Twitter junto con un nodo de depuración, el cual nos mostrará el contenido del *tweet*. Primeramente se tiene que indicar de qué cuenta se va a realizar la lectura de los *tweets* y si se tendrá en cuenta algún término específicamente o no para ello. Para realizar la prueba, se utiliza la cuenta del autor de este trabajo (@chino_urquijo) la cual posee configurado que sus *tweets* sean públicos y se verifica que la aplicación pueda leerlo. Esto se puede ver en la Figura 64.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

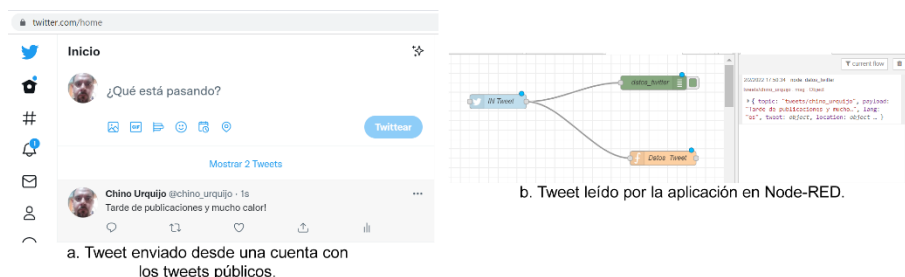


Figura 64 - Lectura de *tweet* por parte de la aplicación [Fuente propia]. a) *Tweet* enviado desde una cuenta pública; b) *Tweet* leído por la aplicación.

Con esto se tiene acceso a todos los *tweets* públicos que se publiquen desde la cuenta configurada en el nodo de entrada Twitter. Esto quiere decir que cualquier *tweet* que se publique desde esa cuenta, siempre y cuando la aplicación este en ejecución, el nodo de Twitter lo va a leer y será procesado por la aplicación. Para la personalización de las lecturas de los *tweets*, lo veremos más adelante en este capítulo.

4.2.3 Términos de búsqueda

A continuación resta por definir cuáles serán los términos que se utilizarán en la aplicación para proceder a la lectura de los datos de los sensores internos y externos que posee la cámara hidropónica. Con las configuraciones vistas en las Secciones 4.2.1 y 4.2.2 respectivamente, a medida que ingresa un correo electrónico a la cuenta creada para este trabajo (*mti.iot.hidroponia@gmail.com*) o la cuenta de Twitter *@chino_urquijo* realiza una publicación, la aplicación desarrollada en Node-RED entrará en funcionamiento y realizará el tratamiento correspondiente según sea el canal de ingreso.

Es por ello que se definirán unas palabras claves, las cuales deberán encontrarse en el asunto del correo electrónico entrante o en el cuerpo del *tweet* que se realice. Esto indicará a la aplicación de cuál de los sensores deberá tomar los datos e informarla como respuesta.

A continuación, se detallan cuáles serán las palabras claves que se utilizarán para la realización de la lectura de los valores de cada uno de los sensores que componen la cámara hidropónica:

- *ES_IN*: con este término, la lectura que se hará es del sensor DHT22 interno que posee la cámara hidropónica. Nos brindará la información de la humedad y temperatura interna de la misma.
- *ES_OUT*: con este término, la lectura que se hará es del sensor DHT22 externo que posee la cámara hidropónica. Nos brindará la información de la humedad y temperatura ambiente, es decir de afuera de la cámara.
- *ES_NUTRI*: con este término, se hará la lectura del sensor de nutrientes que se encuentra en la cubeta al lado de la cámara hidropónica. Esto nos indicará si el pH es balanceado o si es necesario agregar algunos de los nutrientes que se van agregando a la solución para humedecer las raíces en la cámara.
- *ES_ALL*: con este término, le pediremos a la aplicación que nos devuelva el estado y valores de todos los sensores de la cámara, es decir los DHT22 interno y externo y del sensor de nutrientes.

Con la definición de estas palabras claves que servirán para conocer el estado de la cámara hidropónica en el momento que se consulte, ahora queda por comenzar a trabajar en el modelo de la aplicación que nos brindará la información solicitada.

4.3 Desarrollo de la aplicación

Luego de haber preparado el entorno para realizar el desarrollo (Sección 4.1) y de haber configurado y conectado las cuentas de correo electrónico y de Twitter con la aplicación en Node-RED (Sección 4.2), en este apartado se comenzará a desarrollar la solución propuesta para poder realizar el monitoreo del estado de la cámara hidropónica a través del envío de un correo electrónico o por medio de la red social Twitter.

Como primera acción a realizar es comenzar un flujo de trabajo nuevo y en el mismo, colocar el nodo de entrada de un correo electrónico y otro de Twitter, los cuales deberán tener la misma configuración que se ha visto en las Secciones 4.2.1 y 4.2.2 respectivamente. Es posible copiar y pegar los nodos utilizados en otro flujo de trabajo, pero al pegarlo en el flujo de trabajo destino, solamente los nodos son agregados perdiendo toda configuración previa que se haya hecho. Es decir, hay que volver a colocar usuario y clave para cada nodo y, en el caso del nodo de entrada de Twitter, colocar nuevamente las credenciales de la API, como se mostró en la Figura 61.

En la salida del nodo de entrada del correo, se coloca un nodo de función en donde se almacenará los datos necesarios para poder responder al correo, indicando el nombre del titular de la cuenta del correo entrante, el asunto y a qué dirección se debe responder. Para ello, definiremos unas variables dentro del nodo función que nos permitirá almacenar estos datos.

Cabe mencionar que en Node-RED se pueden utilizar variables en tres niveles de contexto [137] [138], los cuales son:

- Variables de Contexto Globales: Son variables que se declaran y que pueden ser accedidas desde cualquier flujo de trabajo que se encuentre activo.
- Variables de Contexto de Flujo o *Flow*: Son variables que se declaran y se pueden utilizar en cualquier momento dentro del mismo flujo de trabajo. No son accesibles desde otro flujo de trabajo.
- Variables de Contexto de Nodo: Son las variables que se declaran y se utilizan dentro de los nodos de función. No es posible utilizarlas en otro nodo dentro del mismo flujo.

Las variables que se utilizarán en este modelo son las variables de Contexto Nodo y las de Contexto de Flujo. Como la placa Raspberry Pi no posee baterías y solamente funciona conectado a la corriente eléctrica a través de su conector micro-USB (Sección 2.3.1), cuando se pierde el suministro eléctrico la misma se apaga y, en caso de tener los flujos del Node-RED ejecutándose, los valores de las variables se perderían. Es por ello, que se dentro del flujo de trabajo, se coloca un nodo de inyección el cual se ejecutará ni bien se inicialice la placa y el Node-RED, el cual establecerá los valores de las variables de contexto flujo para su posterior uso. En la Figura 65 se muestra el nodo de función que posee la inicialización de las variables de Contexto de Flujo. Para poder inicializar una variable de Contexto de Flujo se debe colocar *flow.set("nombre_variable", "valor")*. Para obtener el valor en otro nodo, solamente se debe declarar una variable de contexto nodo y asignarle el valor por medio de *flow.get("nombre_variable")*.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

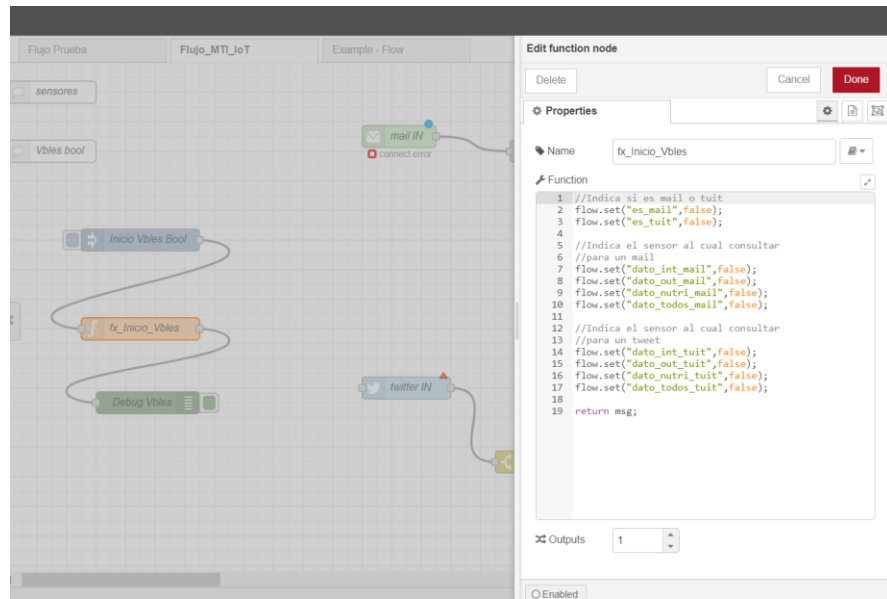


Figura 65 - Inicialización de variables de Contexto de Flujo [Fuente Propia].

Una vez inicializadas las variables, volviendo a la salida del nodo de entrada del correo electrónico, ahora definimos algunas variables de contexto flujo que tendrán almacenados textos, que serán utilizados para la respuesta del correo. El correo electrónico llega y se envía al siguiente nodo en formato *JSON*, por medio de la variable estándar *msg*. En la Figura 66 se muestra como se guardan los datos de la cuenta a la cual debe responderse el correo, el asunto del correo y el nombre del dueño de la cuenta. A su vez, se marca en *true* el valor de la variable de contexto de flujo *es_mail*. Como aclaración, cuando en un nodo se ejecuta la instrucción “*return msg;*” está indicando que se terminó la ejecución de ese nodo función y se sigue hacia los siguientes nodos conectados.

En la salida del nodo de Twitter, se coloca un nodo de función “*switch*” en el cual se evalúa si el *tweet* recibido posee la mención a la cuenta creada para este trabajo. Esto se debe a que, como la API se encarga de leer todos los *tweets* públicos de la cuenta especificada, el modelo debe responder ante los *tweets* que mencionan a la cuenta “*@hidroponia_MTP*”. Esto se puede apreciar en la Figura 67. A la salida de este nodo se conecta, también, un nodo función en el cual se almacenará el usuario al cual debe mencionarse en la respuesta del *tweet*.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

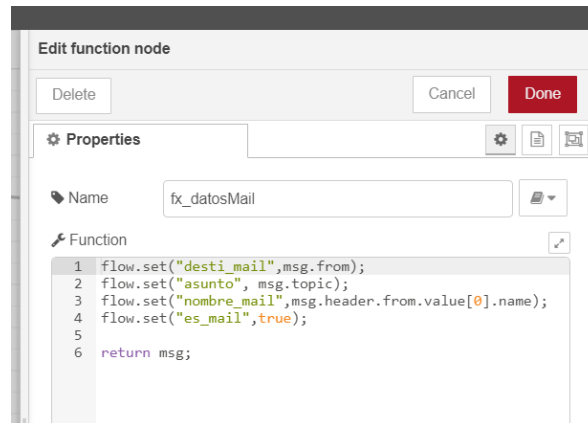


Figura 66 - Inicialización de variables para la respuesta del correo [Fuente Propia].

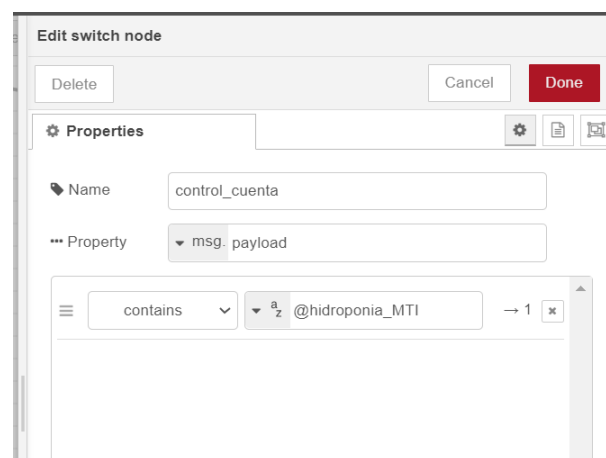


Figura 67 - Configuración del nodo “Switch” conectado a la salida del nodo de Twitter [Fuente Propia].

A continuación, se colocan dos nodos “Switch”; uno de ellos conectado a la salida del nodo de función en el cual se establecen las variables para la respuesta del correo (Figura 66) y el otro, a la salida del nodo “Switch” en el cual se verifica que se menciona a la cuenta “@hidroponia_MTI” (Figura 67). La diferencia entre ambos nodos, radica en que el que se encuentra conectado a la salida del nodo que prepara los datos para la respuesta del correo electrónico, comprueba que el asunto del correo sea igual a los términos de búsqueda definidos en la Sección 4.2.3; en cambio, en el nodo que se encuentra conectado a la salida de la comprobación del usuario de Twitter, busca de los términos definidos en la Sección 4.2.3 se encuentren dentro del cuerpo del *tweet* y que, a la primera coincidencia, se detenga y continúe la ejecución. Esto se debe a la limitante de Twitter de realizar posteos de hasta 280 caracteres. La configuración de ambos nodos “Switch” se puede ver en la Figura 68.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

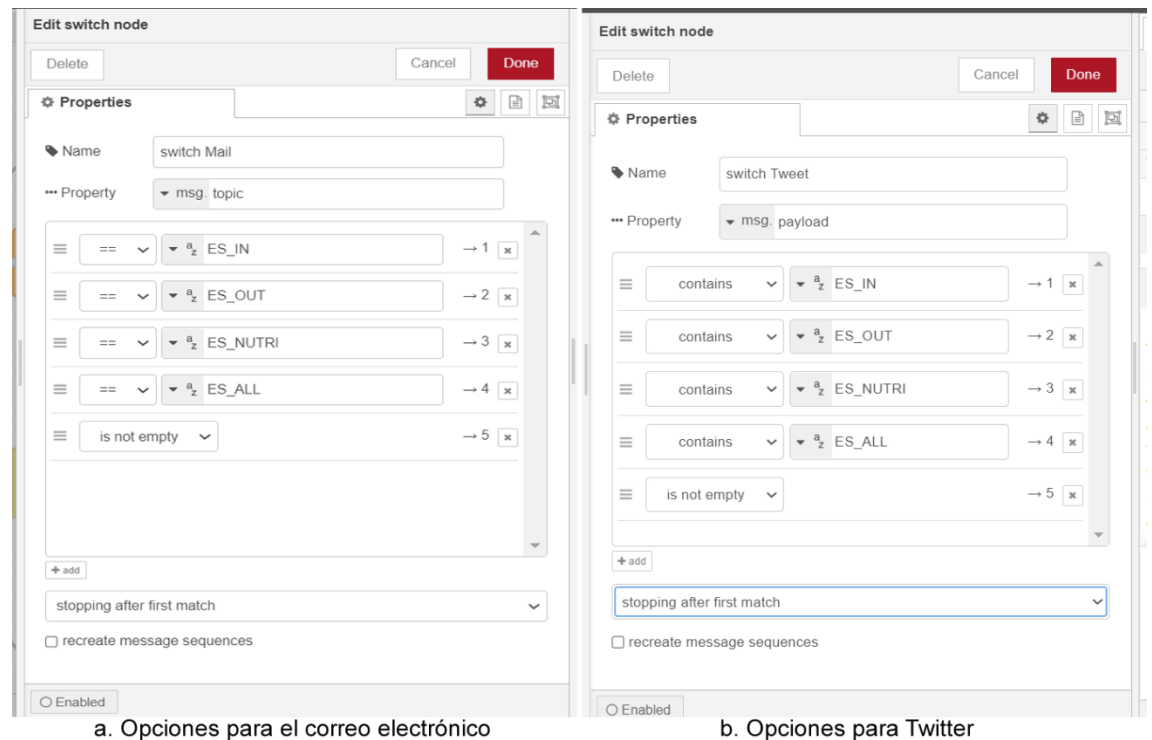


Figura 68 - Configuración de las opciones para correo y Twitter [Fuente Propia]. a) Opciones de búsqueda para el correo; b) Opciones de búsqueda para Twitter.

En la Figura 68a y 68b, se aprecia una salida extra para el caso en que el asunto del correo o *tweet* no coincida con algunas de las palabras claves definidas previamente. En ese caso, se conecta a un nodo de función que realiza una respuesta para cada caso y dicho nodo de función se conecta con el nodo de salida de un correo o Twitter para el envío de la respuesta. Esto se ve en la Figura 69a y 69b.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

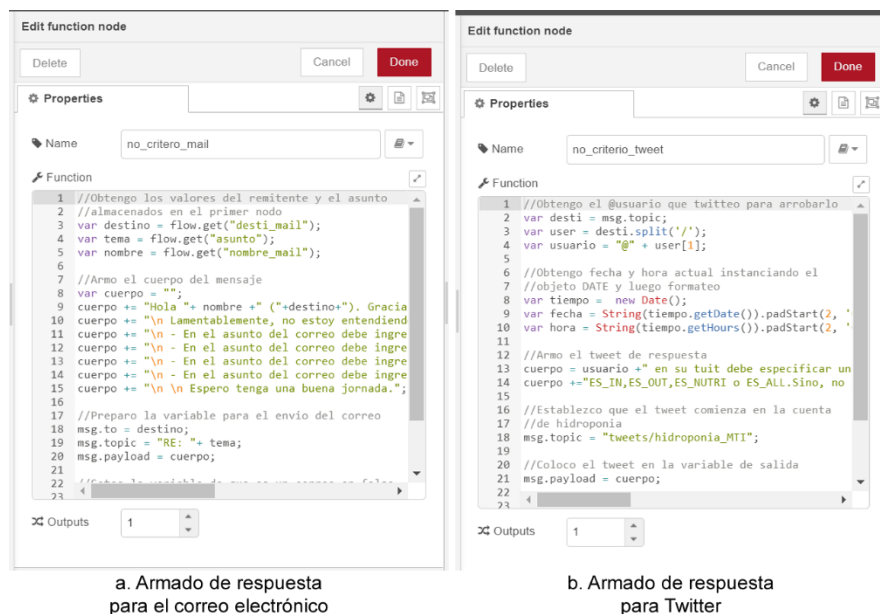


Figura 69 - Configuración de respuesta cuando no coincide el término de búsqueda [Fuente Propia]. a) Armado de respuesta para el correo; b) Armado de respuesta para Twitter.

En caso de que contengan algunos de los términos definidos, la salida se conectará con un nodo de función en el cual se definirán algunas variables de contexto de flujo que, dependiendo del término que llegue, ya sea en el asunto del correo o en el cuerpo del *tweet*, generará unas variables de tipo booleanas, las cuales servirán para luego armar la respuesta que debe enviarse. Como se aprecia en la Figura 70, si el término es “*ES_IN*” se conecta con el nodo que se corresponde con el sensor DHT22 que se encuentra dentro de la cámara; si es “*ES_OUT*” se conectará con el nodo correspondiente al sensor DHT22 que se encuentra en el exterior de la cámara; si el término es “*ES_NUTRI*” se leerá el valor del nivel de nutrientes anexo a la cámara y, si el término es “*ES_ALL*” se conectarán con los nodos correspondientes a los sensores interno y externo además de leer el valor del sensor de nutrientes. Cabe mencionar que el nodo que representa al sensor de nutrientes no posee entrada, por lo que solamente se realiza la lectura del nivel de nutrientes en un momento determinado. Este sensor recolecta valores 0 y 1, donde 0 indica que el nivel de nutrientes es bajo y 1 que el nivel de nutrientes es bueno.

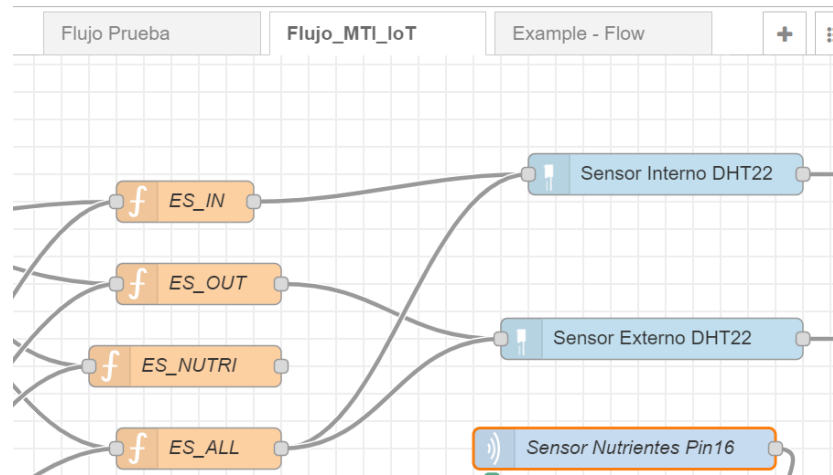


Figura 70 - Conexión entre los términos de búsqueda y los sensores [Fuente Propia].

En la salida de cada uno de los sensores, se ubican nodos de función los cuales obtienen los valores a representar en cada uno de ellos y se definen las variables que se utilizarán para poder armar la respuesta a enviar, ya sea por medio de un correo electrónico o de un *tweet*. Como se ha mencionado anteriormente, cuando se obtienen los valores de un nodo anterior, en este caso del nodo que se corresponde con el sensor DHT22 interno al nodo de función, se obtiene un objeto *JSON*, por el cual hay que utilizar el método *JSON.parse()*⁵⁹ para poder utilizar los valores obtenidos de los sensores DHT22. En la Figura 71 se muestra la obtención de los datos y posterior armado de las variables para la respuesta, correspondiente al sensor DHT22 interno aunque se utiliza el mismo criterio para la obtención de los datos para el sensor externo.

Luego de haber obtenido los datos de los sensores y definidas las variables para las respuestas, en la salida del nodo se conecta dos nodos de función los cuales serán los encargados de preparar todo para realizar el envío de la respuesta, ya sea por medio de un correo electrónico o vía Twitter. En dichos nodos, se verificará por qué medio de comunicación ha llegado la consulta y preparará, de acuerdo a los valores de las variables fijados previamente a lo largo de todo el camino, la respuesta que será enviada. En la Figura 72 se muestra la configuración y preparación de la respuesta que se enviará.

Como salida de los nodos de respuesta, se conectarán 2 nodos en cada uno de ellos: uno es el nodo de salida del correo electrónico y el otro es un nodo de *debug* o depuración para visualizar lo que contiene la variable de salida. De la misma manera, se conecta el

⁵⁹ El método *JSON.parse()* analiza una cadena de texto como *JSON* transformando, de manera opcional, el valor producido por el análisis,

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

nodo de salida de Twitter junto con el nodo de *debug* para visualizar el contenido de la variable. El modelo completo se puede visualizar en la Figura 73.

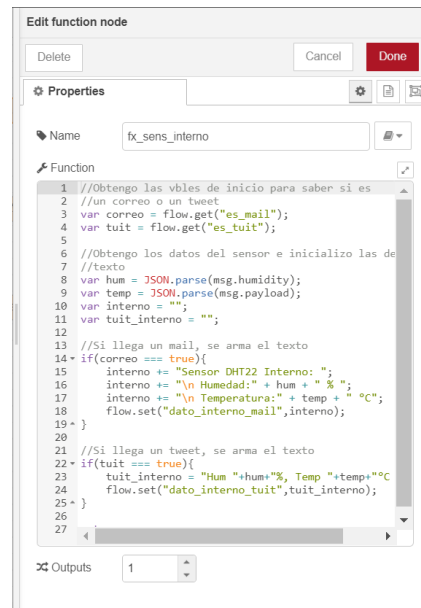


Figura 71 - Obtención de datos provenientes del sensor DHT22 interno y definición de variables para el armado de la respuesta [Fuente Propia].

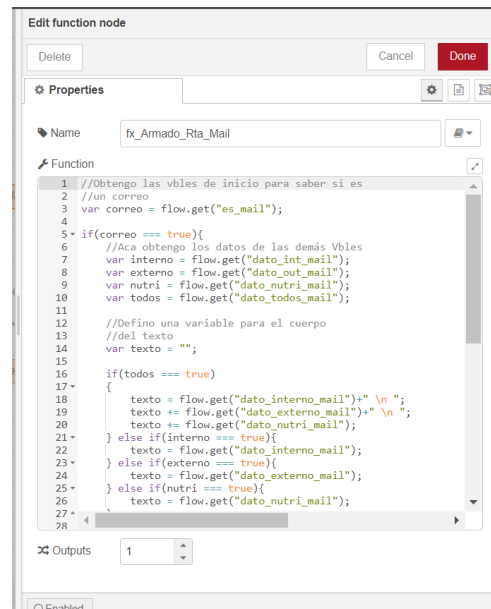


Figura 72 - Preparación de la respuesta a enviar mediante el correo electrónico [Fuente Propia].

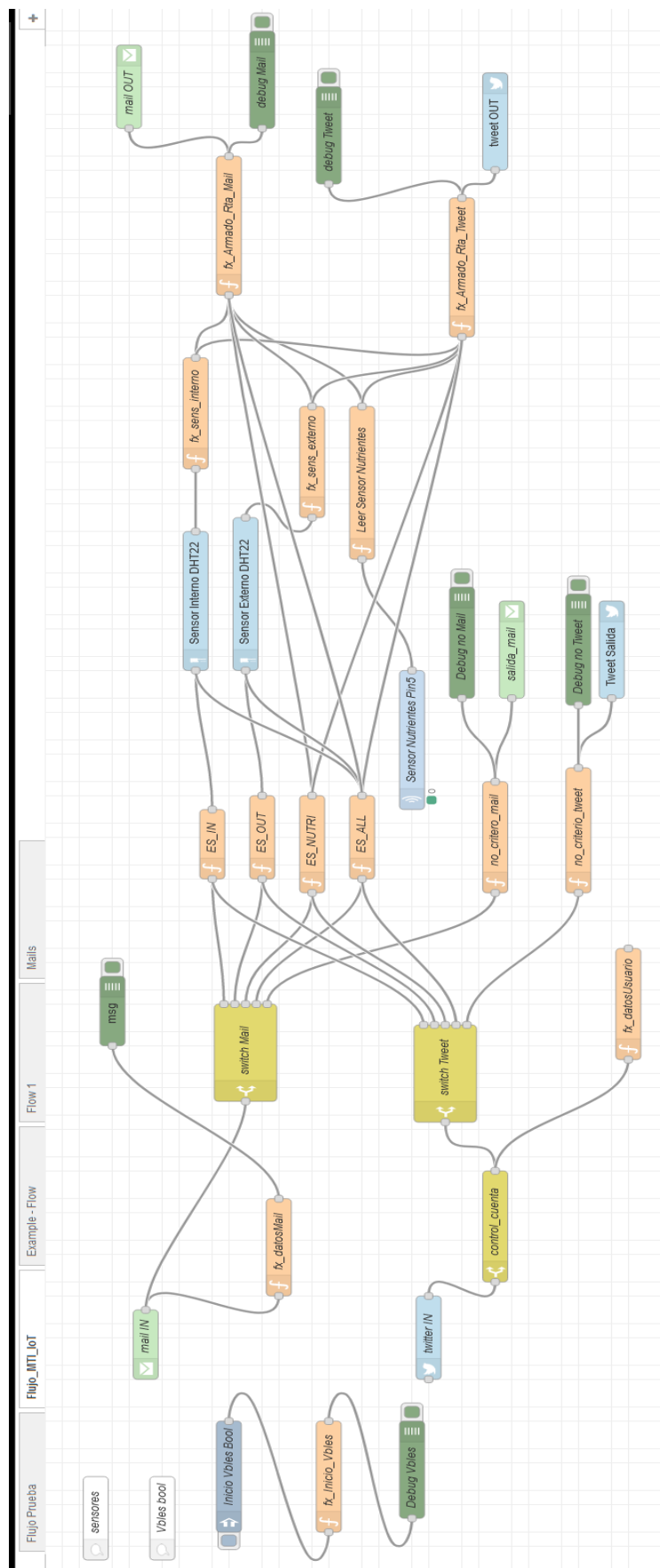


Figura 73 - Modelo completo de la solución propuesta para monitorear el estado de la cámara hidropónica [Fuente Propia].

4.4 Implementación y pruebas

Luego de finalizado el modelo completo, el cual se encargará de monitorear el estado de la cámara hidropónica a demanda, ya sea mediante la recepción de un correo electrónico o por medio de la publicación de un *tweet*, ahora llega el momento de poner en funcionamiento el modelo y realizar las consultas, con el fin de evaluar los datos recibidos y corroborar las lecturas realizadas de los sensores.

Para poner en funcionamiento el modelo completo visto en la Sección 4.3, se configuraron los sensores en la placa Raspberry Pi en los siguientes puertos GPIO:

- DHT22 Interno:
 - Numeración de pines: BCM GPIO
 - Número de pin: 4
- DHT22 Externo:
 - Numeración de pines: BCM GPIO
 - Número de pin: 17
- Nutrientes:
 - Número de Pin: 5

Se realizan pruebas sobre las lecturas de los sensores en un flujo de ejemplo, con el que se estuvo trabajando también, en la configuración de los nodos de correo electrónico y de Twitter, para verificar que los nodos que se corresponden con los sensores DHT22 devuelven valores distintos de 0. En cambio el sensor de nutrientes, como se mencionó en la Sección anterior, solamente devuelve valores 0 y 1. De esta manera, y configurado los sensores, se comienza con las pruebas del modelo desarrollado.

4.4.1 Pruebas realizadas con términos de búsqueda incorrectos

Las primeras pruebas que se realizan sobre el modelo son con términos que no se encuentran dentro de los definidos en la Sección 3.2.3, es decir que la aplicación deberá devolver instrucciones de cómo realizar la consulta, dependiendo del medio por el cual se recibe la misma.

En primera medida, se ingresa a la cuenta de Twitter que había indicado en el nodo de Twitter de la cual leeremos los *tweets* enviados, y se envía un mensaje de prueba. En la Figura 74a se muestra el mensaje enviado.

El modelo automáticamente va intentando conectarse con la cuenta receptora del *tweet* y verificando que se vayan cumpliendo las condiciones. La primera de ella, es que en el *tweet* se mencione a la cuenta “@hidroponia_MTI” y en caso de ser verdadera esa condición, se pasará a verificar los términos de búsqueda. Como se ve en la Figura 74a, no posee ninguno de los términos definidos previamente, por lo que la salida debería ser un indicativo de lo que debe contener el mensaje para que la aplicación le devuelva los datos. En la Figura 74b se muestra la respuesta enviada a la cuenta “@chino_urquijo”.

Nótese que en la respuesta que se muestra en la Figura 74b, hay una aclaración que marca la fecha y hora en el cuerpo de la respuesta. Esto se debe a que, en Twitter no se puede enviar 2 o más veces el mismo cuerpo de mensaje ya que sería considerado *spam* y puede ser motivo de bloqueo de la cuenta. Por lo que la bandera insertada en el cuerpo del mensaje, hace que cada respuesta sea distinta, por lo tanto será publicada. También es posible identificar lo que tarda la aplicación en realizar el procesamiento del mensaje y su posterior respuesta. El tiempo promedio en realizar toda la secuencia es de aproximadamente un minuto.



Figura 74 - Prueba de Twitter con términos erróneos [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

Con esto, se puede afirmar que en caso de recibir un *tweet* que no contenga algunos de los términos definidos previamente, la aplicación va a devolver un mensaje similar al visto en la Figura 74b.

Del mismo modo, se realizará la prueba con el envío de un correo electrónico cuyo asunto sea distinto de los términos de búsqueda definidos. Eso se debe a que se ha puesto para evaluar el asunto del correo electrónico, sin importar el contenido que traiga el cuerpo. En la Figura 75a se muestra el correo electrónico enviado en el cual se especifica cualquier término en el asunto.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

En la Figura 75b se aprecia cómo llega la respuesta a un celular, como una notificación de un nuevo correo. Se puede visualizar que el tiempo entre que se envía la consulta y se recibe la respuesta es similar al experimentado con el mensaje vía Twitter. En la Figura 75c se puede ver el cuerpo completo del mensaje, con la ayuda brindada para futuras consultas.

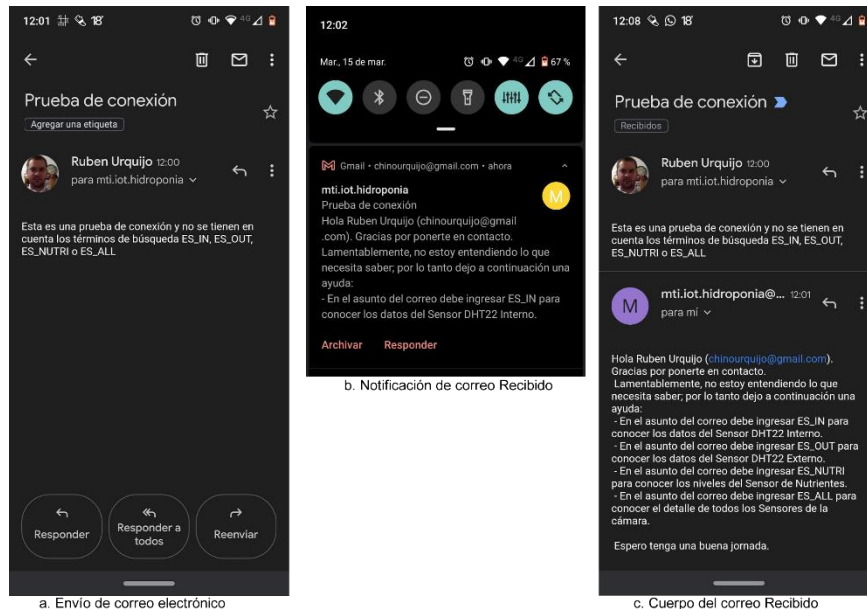


Figura 75 - Prueba de correo electrónico con términos erróneos [Fuente Propia]. a) Correo enviado; b) Notificación de correo recibido; c) Cuerpo del correo recibido.

4.4.2 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor interno (ES_IN)

A continuación, se realiza la prueba del modelo ingresando el término de búsqueda para la lectura del estado del sensor DHT22 que se encuentra internamente en la cámara y la aplicación deberá informar el estado del mismo, de acuerdo al medio por el cual se realiza la consulta.

Como en la Sección 4.4.1, se comienza por enviar un tweet a la aplicación para conocer el estado de dicho sensor. Como en la configuración del nodo vista en la Figura 68, tiene que figurar específicamente el término “ES_IN” sin importar si incluye otro término. De acuerdo a dicha configuración, si el mensaje posee otro de los términos de búsqueda que han sido definidos, la ejecución del modelo se detiene ante la primera coincidencia y prosigue con el siguiente nodo. En la Figura 76a se puede apreciar que posee el término de búsqueda “ES_IN” y que, además, incluye la mención a la cuenta “@hidroponia_MTP” para que el modelo comience a procesar dicho mensaje. En la

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Figura 76b se observa la respuesta obtenida por parte de la aplicación desarrollada con Node-RED.



Figura 76 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_IN” [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

De la misma manera, se realiza la consulta a través del envío de un correo electrónico en el cual se consigna en el asunto el término “ES_IN” para conocer el estado del sensor DHT22 interno. En la Figura 77a se muestra el correo enviado para consulta y en la Figura 77b se muestra la respuesta recibida.

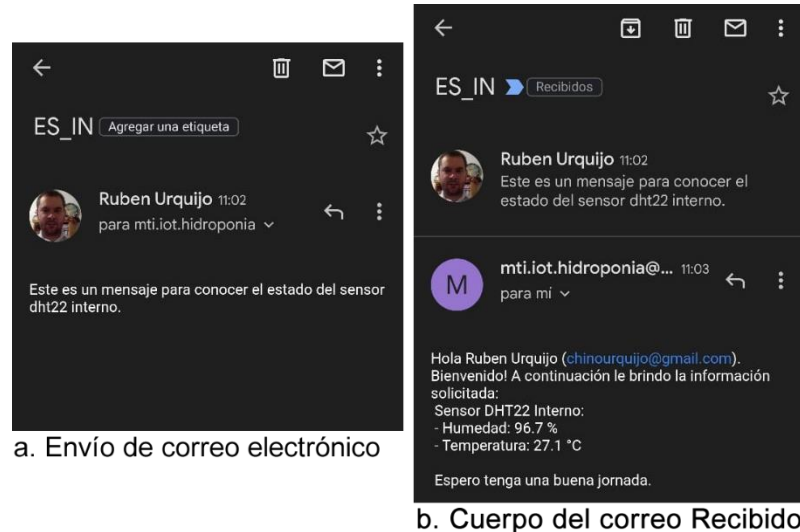


Figura 77 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_IN” [Fuente Propia]. a) Correo enviado; b) Cuerpo del correo recibido.

Nótese que, al igual que en las pruebas realizadas en la Sección 4.4.1, el tiempo de demora en obtener la respuesta, ya sea vía correo electrónico o Twitter, es de aproximadamente 1 minuto.

4.4.3 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor externo (*ES_OUT*)

A continuación, se realiza la prueba del modelo ingresando el término de búsqueda para la lectura del estado del sensor DHT22 que se encuentra en el exterior de la cámara y la aplicación deberá informar el estado del mismo, de acuerdo al medio por el cual se realiza la consulta.

Como se ha hecho anteriormente, se comienza con la prueba enviando un *tweet* a la aplicación con la finalidad de conocer el estado de dicho sensor. En la configuración vista en la Figura 68, tiene que figurar el término “*ES_OUT*” en el cuerpo del mensaje. Tal como se mencionó con anterioridad, en caso de que el mensaje contenga más de un término de búsqueda, la ejecución se detiene a la primera coincidencia y luego se continúa con el siguiente nodo conectado. En la Figura 78a se muestra que el mensaje tiene el término de búsqueda. En la Figura 78b se aprecia la respuesta obtenida por parte de la aplicación.



Figura 78 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “*ES_OUT*” [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

De igual manera, se realiza la consulta a través del envío de un correo electrónico en el cual se consigna en el asunto el término “*ES_OUT*” para conocer el estado del sensor DHT22 externo. En la Figura 79a se muestra el correo enviado para consulta y en la Figura 79b se muestra la respuesta recibida.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

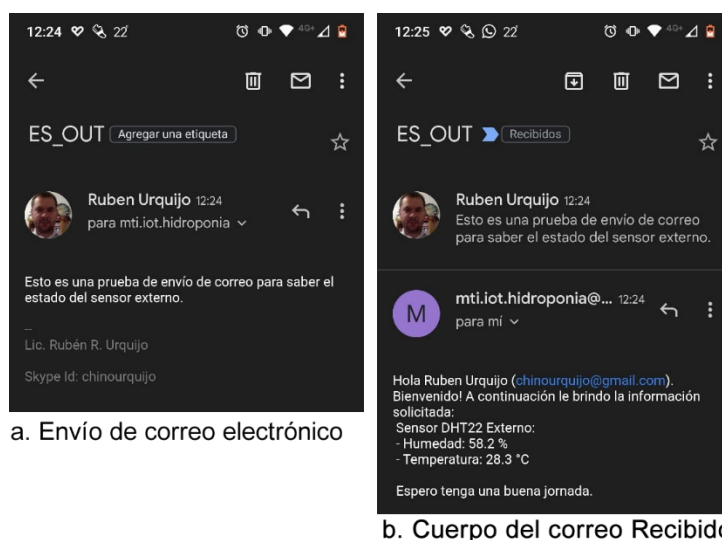


Figura 79 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_OUT” [Fuente Propia]. a) Correo enviado; b) Cuerpo del correo recibido.

4.4.4 Pruebas realizadas para obtener los datos del sensor de nutrientes (ES_NUTRI)

A continuación, se realiza la prueba del modelo ingresando el término de búsqueda para la lectura del nivel del sensor de nutrientes y la aplicación deberá informar el estado del mismo, de acuerdo al medio por el cual se realiza la consulta.

Como primera medida, se realiza el envío de un *tweet* especificando en el cuerpo del mensaje el término que se corresponde para este sensor “ES_NUTRI” y mencionando a la cuenta “@hidroponia_MTI”. En la Figura 80a se muestra que el mensaje tiene el término de búsqueda. En la Figura 80b se aprecia la respuesta obtenida por parte de la aplicación.



Figura 80 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_NUTRI” [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

A continuación, se realiza la consulta del nivel de nutrientes por medio de un correo electrónico. En la Figura 81a se muestra el correo enviado para consulta y en la Figura 81b se muestra la respuesta recibida.

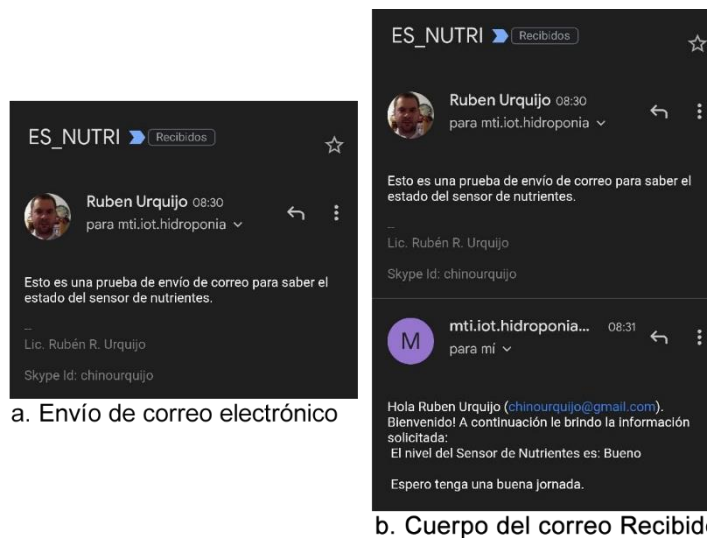


Figura 81 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_NUTRI” [Fuente Propia]. a) Correo enviado; b) Cuerpo del correo recibido.

4.4.5 Pruebas realizadas para obtener los datos de todos los sensores (ES_ALL)

Luego de haber realizado las consultas y las lecturas de manera individual a cada uno de los sensores que componen la cámara, ahora se hará la prueba de consultar el estado completo de los mismos; es decir, por medio del término de búsqueda “ES_ALL” se consultará a la aplicación el estado completo de los sensores.

Como en las pruebas realizadas, primeramente se enviará un *tweet* que contenga el término solicitado y mencionando a la cuenta creada en la Sección 4.1.1. En la Figura 82a se muestra que el mensaje tiene el término de búsqueda. En la Figura 82b se aprecia la respuesta obtenida por parte de la aplicación.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.



Figura 82 - Prueba de Twitter con término de búsqueda “ES_ALL” [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

De igual manera, también se realiza la consulta por medio del envío de un correo electrónico. En la Figura 83a se muestra el correo enviado para consulta y en la Figura 83b se muestra la respuesta recibida.

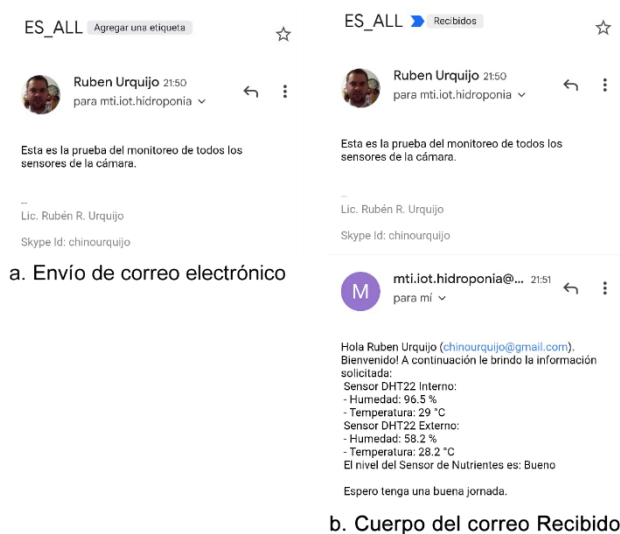


Figura 83 - Prueba de correo electrónico con término de búsqueda “ES_ALL” [Fuente Propia]. a) Correo enviado; b) Cuerpo del correo recibido.

4.5 Resultados

Luego de haber realizado distintas pruebas de consultas a la aplicación desarrollada con Node-RED, los resultados fueron satisfactorios. En cada una de las mediciones hechas, se obtuvieron distintos datos de acuerdo a lo que se requería en cada consulta.

El comportamiento de la aplicación para realizar las respuestas ha sido buena, siempre brindando la información requerida en cada momento. Pocas veces la misma, ha mostrado un comportamiento inexacto como por ejemplo, en la Figura 84 se muestra una lectura de todos los sensores, siendo el valor para el sensor DHT22 interno “*undefined*” o no definido. Esto se debe a que no se encontraba correctamente conectado uno de los pines a la placa Raspberry Pi, por ende, al intentar realizar la lectura de los valores y posterior armado de la consulta, no supo cómo obtener los datos.



Figura 84 - Lectura errónea de los datos del sensor interno [Fuente Propia].

También, dado que siempre los valores del sensor de nutrientes indicaba que el nivel del mismo era bueno, se ha simulado el caso de que diera un valor bajo quitando el sensor de la solución de nutrientes y haciendo una lectura de los mismos, cuyo resultado se muestra en la Figura 85.



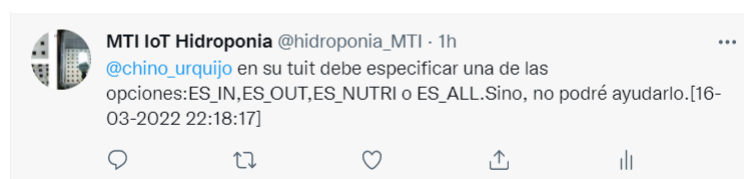
Figura 85 - Nivel bajo del sensor de nutrientes [Fuente Propia].

Para cerrar las demás pruebas realizadas a través del uso de Twitter, se ha intentado obtener los datos del sensor de nutrientes utilizando el término de búsqueda “*es_in*”. Como se ha definido en la Sección 4.2.3, los términos que deberían utilizarse están escritos en mayúsculas, por lo que la respuesta de la aplicación fue similar a la obtenida en la Figura 74 de la Sección 4.4.1. Esto se puede ver en la Figura 86.

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.



a. Tweet enviado para consulta



b. Tweet publicado por la aplicación

Figura 86 - Prueba de lectura con término de búsqueda en minúscula [Fuente Propia]. a) *Tweet* enviado; b) *Tweet* de respuesta.

En cuanto a las pruebas realizadas por medio del correo electrónico, se enviaron mails desde distintos servidores para corroborar el funcionamiento del mismo. Todos obtuvieron la respuesta, prácticamente un minuto después de haber realizado la consulta. Es decir, que es posible poder consultar el estado de los sensores desde distintos servidores de correos. En la Figura 87 se muestran los distintos servidores que fueron probados.

☐	☆	Ruben, yo 2	ES_ALL - Hola Ruben Urquijo (chinourquijo@gmail.com). Bienvenido! A continuación le brindo la información solicitada: Sensor ...
☐	☆	Rubén, yo 2	ES_IN - Hola Rubén Urquijo (rubenurquijo@fceqyn.unam.edu.ar). Bienvenido! A continuación le brindo la información solicitada:...
☐	☆	Rubén, yo 2	ES_OUT - Hola Rubén Ricardo Urquijo (chinourquijo@live.com.ar). Bienvenido! A continuación le brindo la información solicitad...
☐	☆	Rubén, yo 2	ES_IN - Hola Rubén Ricardo Urquijo (chinok_1985@hotmail.com). Bienvenido! A continuación le brindo la información solicitad...

Figura 87 - Lista de los distintos servidores de correo que fueron utilizados [Fuente Propia].

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 5

Conclusiones

Internet de las Cosas (IoT) aplicada a un sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica.

Capítulo 5: Conclusiones

En esta sección, se presentarán las conclusiones alcanzadas por el presente trabajo que permitieron alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto. Luego se mencionarán algunas limitaciones que fueron detectadas durante el desarrollo para, por último, indicar cuáles podrían ser las futuras líneas de investigación.

5.1 Conclusiones

Con el trabajo realizado, se demuestra que es posible realizar el monitoreo de una cámara de germinación de cultivos hidropónicos estando físicamente distante de la misma, contando con conectividad a Internet y desde cualquier dispositivo que se tenga a mano, contando con una cuenta de Twitter y una de correo electrónico. Se ha mostrado una implementación efectiva de IoT para monitorear el estado de los diferentes sensores que conforman la cámara de germinación y permitiendo conocer el estado de cada uno de ellos, de manera conjunta o individualmente.

Con este trabajo se pudo dar continuidad a lo visto en [125], donde únicamente se realizaban publicaciones de *tweets* de manera automática cada diez minutos y auto envíos de correos electrónicos cada 60 minutos. Con esto, se logró realizar la consulta en cualquier momento del día, obteniendo la respuesta con una demora de 1 minuto luego de hecha la consulta a la aplicación, independientemente de la plataforma por el cual se consulta.

Con la constante evolución de la tecnología que se encuentra al alcance de las personas, sumado a la cantidad de soluciones disponibles para realizar distintos tipos de monitoreo utilizando lo que se conoce como WSN (*Wireless Sensor Networks* – Redes de Sensores Inalámbricas), hacen pensar que en un futuro no muy lejano, todos los artefactos estarán interconectados y se podrán tomar distintas acciones de acuerdo a los valores que se vayan visualizando.

Se ha visto la potencialidad que posee una herramienta como Node-RED, fácil de utilizar, intuitiva y que no necesita mayores recursos para poder ejecutarse. Con una gran cantidad de nodos en su librería disponible para descargar y realizar las actividades que

cualquier persona pueda imaginar, lo convierten en una potente herramienta destinada para el desarrollo de aplicación de IoT o de monitoreo. Además, cuenta con una gran cantidad de video tutoriales, manuales y ejemplos disponibles en la red, por lo que aprender a desarrollar con esta herramienta no será complicado.

Node-RED, además, cuenta con un conjunto de nodos particulares, los cuales permitirán representar de manera gráfica la lectura de los valores de los distintos sensores que se tengan conectados a la placa. Este conjunto de nodos, denominado “*dashboard*”, el cual permitirá realizar la representación de los valores de manera gráfica. Se investigará más sobre la implementación de este conjunto de nodos en futuros trabajos.

5.2 Limitaciones detectadas

Entre las limitaciones encontradas durante el desarrollo del presente trabajo se puede mencionar que, para el uso de una red social como Twitter sea necesario registrarse en la plataforma para desarrolladores de dicha red y esperar que la aplicación que uno pretende realizar sea aprobada por los moderadores y así, poder utilizar la API.

En este caso particular, se tuvo que cargar 2 veces el formulario para utilización de la API, ya que en el primer intento se ha colocado que el uso de dicha API sería destinado para una investigación académica, pero la misma fue rechazada al no poder corroborar esto, ya que uno de los datos solicitados para el uso de la API es el correo electrónico y se ha suministrado uno con dominio “@gmail.com” el cual no es un dominio académico.

Al haber sido rechazado el pedido del uso de la API con fines académicos, se procedió a la carga del mismo formulario indicando que sería una aplicación regular la que utilizaría los datos proporcionados por la API. Aproximadamente 2 meses después de haber cargado la solicitud, llega la respuesta aceptando que la aplicación que se iba a desarrollar utilice la API de Twitter, por parte del equipo de desarrollo de Twitter.

Otra de las limitaciones que se ha encontrado en el desarrollo de este trabajo, es poder acceder a la cuenta de correo electrónico teniendo que habilitar el acceso de aplicaciones poco seguras. Esto se hace la primera vez cuando se pone en funcionamiento la aplicación hecha en Node-RED. Esto es una cuestión de seguridad impuesta por el servidor de correo de Google, con lo cual hecha una sola vez, ya se tiene acceso a la lectura de los mismos.

En caso de querer instalar la aplicación en otro sitio, cuando se intenta acceder a la cuenta, la misma no responde debido a que, como se está intentando acceder a la cuenta de correo desde un sitio desconocido, es decir que es la primera vez que se accederá al correo desde esta nueva ubicación o conexión a internet, llega el alerta de seguridad indicando que se bloqueó un intento de inicio de sesión para la cuenta. Hay que realizar distintos pasos para proceder a la conexión a través de la aplicación con la cuenta de correo, como son verificaciones de cuenta de respaldo, código de acceso enviado a un teléfono celular, entre otras comprobaciones de seguridad.

5.3 Futuras líneas y trabajos de investigación

A lo largo del desarrollo del presente trabajo, han surgido distintas líneas para ser abordadas en futuras investigaciones.

Entre algunas de ellas, podemos mencionar:

- Refinar la aplicación, permitiendo la detección de las cuentas de correo electrónico las cuales suelen comenzar con el nombre “no-reply” o “noreply” indicando que no se debe responder al correo recibido. Actualmente el modelo realiza la respuesta a los correos cuya casilla contengan esta distinción. También realizar el refinamiento de los términos de búsqueda, que permita realizar la consulta ya sea, con mayúsculas o minúsculas.
- Agregar a la cámara hidropónica una cámara fotográfica y desarrollar en la aplicación que se capture una imagen de los plantines cada, aproximadamente, 12 horas, recopilando las imágenes y realizar una muestra tipo video o imagen animada (*gif*) para ver como fue el crecimiento del plantín en el tiempo.
- Incorporar el uso de una base de datos en la aplicación, para poder almacenar la fecha y hora en que se realizan las consultas del estado de los sensores. Con esta información guardada, se puede realizar el desarrollo de un aviso indicativo de cuánto tiempo pasó sin ser consultado el estado de los sensores.

- Incorporar el aviso de los valores de los sensores, por medio de otras aplicaciones de mensajería como ser *WhatsApp* y *Telegram*.
- Realizar la lectura de los datos de los sensores de manera gráfica, utilizando los nodos “*dashboard*”.
- Implementación de la misma aplicación en otras placas SBC.
- Probar el desempeño de Windows IoT Core en la placa Raspberry y su plataforma para el desarrollo de aplicaciones IoT.
- Trabajar en la seguridad de acceso a los flujos de trabajo de Node-RED. Esto se debe a que en la gran mayoría de los casos, cuando se accede a Node-RED se posee acceso, además, a todos los flujos de trabajo que se encuentran activos en ese momento. La idea que se pretende realizar, es poder realizar el acceso exclusivo a un flujo en particular sin la necesidad de visualizar los otros flujos de trabajo activos.
- También se prevé agregar seguridad con clave de acceso para el usuario.
- Determinación de los valores críticos a tener en cuenta y el intervalo de tiempo para la generación de alarmas automáticas.

Bibliografía.

- [1] Beltrano, J. & Gimenez, D. O., “Cultivo en hidroponía”, Libro de Cátedra, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, ISBN: 978-950-34-1258-9, 2015. Consultado el 10-04-2018. Disponible en URL: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>
- [2] Errecart, N., “Contenidos de nitratos, oxalatos, vitamina C y grado de aceptación en Cultivo sin suelo de espinaca vs. Cultivo en suelo”, Tesis de Grado, Universidad Fasta, Mar del Plata, Argentina, 2011. Consultado el 10-05-2022. Disponible en URL: <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/3355>
- [3] Portillo, G., “La hidroponía”, Blog RenovablesVerdes, 2017 [Internet]. Consultado el 19-07-2018. Disponible en URL: <https://www.renovablesverdes.com/hidroponia/>
- [4] Vargas, Jorge H. B., “Curso básico de hidroponía”, Editorial Lulu.com, ISBN: 978-055-74-5699-4, 2010. Consultado el 15-04-2018. Disponible en URL: https://books.google.com.ar/books/about/Curso_basico_de_Hidroponia.html?id=HxOucQAACAAJ&redir_esc=y
- [5] Bacon, F. & Rawley, W., “Sylva sylvarum; or, A natural history, in ten centuries. Whereunto is newly added the History natural and experimental of life and death, or of the prolongation of life”, 1670, Printed by J. R. for William Lee, London. Consultado el 29-07-2018. Disponible en URL: <https://archive.org/details/sylvasylvarumorn00baco>
- [6] Resh, Howard M., “Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower”, Sixth Edition, CRC Press, 2002. Consultado el 15-04-2018. Disponible en URL: https://books.google.com.ar/books?id=cVG0v8rbqlsC&pgis=1&redir_esc=y
- [7] García, G. N. & García, S. N., “Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas”, Editorial Mundi-Prensa, ISBN: 978-848-47-6656-8, España, 2013.
- [8] Conn, S. J., Hocking, B., Dayod, M., Xu, B., Athman, A., Henderson, S., Aukett, L., Conn, V., Shearer, M., Fuentes, S., Tyerman, S. & Gilliam, M., “Protocol: optimising hydroponic growth systems for nutritional and physiological analysis of Arabidopsis

thaliana and other plants.”, Plant Methods, 9(1):4, DOI: 10.1186/1746-4811-9-4, 2013.

- [9] Hoagland, D.R. & Arnon, D.I., “The water-culture method for growing plants without soil”, 2nd Edition, California Agricultural Experiment Station, Vol. 347, 1950. Consultado el 10-05-2022. Disponible en URL: https://www.researchgate.net/publication/312615111_The_water_culture_method_for_growing_plants_without_soil
- [10] Texier, W., “Hidroponía para todos. Todo sobre la horticultura en casa”, Mama Publishing, ISBN: 978-2-84594-130-4, 2015.
- [11] Cooper, A., “The ABC of NFT. Nutrient film technique. The world’s first method of crop production without a solid rooting medium.”, Grower Books, London, ISBN: 978-090-13-6122-6, 1979
- [12] Averner, M. M., “The NASA CELSS Program”. Consultado el 05-06-2018. Disponible en URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19910004535.pdf>
- [13] Marulanda, C., “La Huerta Hidropónica Popular”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Chile, 2003. Consultado el 05-06-2018. Disponible en URL: <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- [14] Jones, J.B., “Hydroponics: It’s history and use in plant nutrition studies”, Journal of Plant Nutrition, 5:8, 1003-1030, DOI: 10.1080/01904168209363035, 1982.
- [15] Letizia, P., “Hidroponía Popular Simplificada”. Agroconsultora Plus [Internet]. Consultado el 15-06-2018. Disponible en URL: <http://www.agroconsultoraplus.com/curso-hidroponia/>
- [16] Barrios Arriaga, N. E., “Evaluación del cultivo de la lechuga, lactuca sativa l. Bajo condiciones hidropónicas en Pachalí.”, Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2004. Consultado el 11-06-2018. Disponible en URL: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2071.pdf
- [17] Marinelli, M., “Control automatizado de cultivos hidropónicos mediante lógica difusa”, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina, 2015.

- [18] Mamani Fernández, J. C., “Producción de frutilla (*Fragaria vesca*) en un sistema hidropónico con diferentes proporciones de sustratos y la dosificación de tres concentraciones comerciales de soluciones nutritivas”, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2015. Consultado el 10-05-2022. Disponible en URL: <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/5713/T-2068.pdf>
- [19] Romer, J., “Basic hydroponics for everyone for Australia and New Zealand”, G.P. Books, ISBN: 978-047-70-1423-6, Wellington, New Zealand, 1988.
- [20] Benton, J., “Complete Guide for Growing Plants Hydroponically”, CRC Press, ISBN: 978-143-98-7668-8, South Carolina, USA, 2014.
- [21] Triawan, M.A., Hindersah, H., Yolanda, D., & Hadiatna, F., "Internet of Things using Publish and Subscribe Method Cloud-based Application to NFT-based Hydroponic System", Proceedings of the 2016 6th International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2016, ISBN: 978-1-5090-5089-5, pp. 98 - 104, 2016.
- [22] Arnon, D. I. & Stout, P. R., “The Essentiality of Certain Elements in Minute Quantity for Plants with Special Reference to Copper”, *Plant Physiology*, 14, pp. 371-375, 1939, <http://dx.doi.org/10.1104/pp.14.2.371>.
- [23] Mason, J., “Commercial Hydroponics”, Simon & Schuster Australia, ISBN: 978-068-48-7202-5, Australia, 2000.
- [24] Lykas, C., Katsoulas, N., Giaglaras, P., & Kittas, C., “Electrical Conductivity and pH Prediction in a Recirculated Nutrient Solution of a Greenhouse Soilless Rose Corp”, *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 29 (9), pp. 1585 – 1599, <https://doi.org/10.1080/01904160600848904>, 2006.
- [25] Liopa-Tsakalidi, A., Savvas, D., & Beligiannis, G. N., “Modelling the Richards function using Evolutionary Algorithms on the effect of electrical conductivity of nutrient solution on zucchini growth in hydroponic culture”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 18 (9), pp. 1266-1273, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.04.013>, 2010.
- [26] Wu, M. & Kubota, C., “Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of

- hydroponic tomatoes during ripening”, *Scientia Horticulturae*, Vol. 116 (2), pp. 122-129, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.014>, 2008.
- [27] Velázquez, L. A., Hernández, M. A., & León, M., “First Advances on the Development of a Hydroponic System for Cherry Tomato Culture”, 10th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), IEEE, Electronic ISBN: 978-1-4799-1461-6, Mexico, 2013.
- [28] Gomez, C., Gonzalez, R., & Viruela, R. “Conductividad de las disoluciones electrolíticas”, Universitat de València, España, 2010. Consultado el 23-06-2018. Disponible en URL: http://ocw.uv.es/ciencias/1-1/teo_conductividad_nuevo.pdf
- [29] Saaid, M.F., Sanuddin, A., Ali, M. & Yassin, M., "Automated pH Controller System for hydroponic cultivation", 2015 IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE2015), ISBN: 978-1-479-98969-0, pp. 186 - 190, 2015.
- [30] Taiz, L. & Zeiger, E., “Fisiología vegetal”, Volumen II, Universitat Jaume I, ISBN: 978-84-8021-600-5, España, 2006.
- [31] Garner, W. & Allard, H., “Effect of the relative length of day and night and others factors of the environment on growth and reproduction in plants”, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1920\)48<415b:EOTRLO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1920)48<415b:EOTRLO>2.0.CO;2), 1920.
- [32] Basterrechea, M., “¿Cuál es la mejor luz para las plantas?”, Hidroponía casera, 2014. [Internet]. Consultado el 15-04-2018. Disponible en URL: <https://www.hidroponiacasera.net/luz-artificial-para-plantas/>
- [33] Cometti, N. N., Matias, G. C. S., Zonta, E., Wellington, M. & Fernandes, M., “Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT”, *Horticultura Brasileira*, Vol. 26 (2), ISSN: 0102-0536, Brasil, 2008.
- [34] Raspberry Pi Home [Internet]. Consultado el 06-09-2017. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/>
- [35] Upton, E. & Halfacree, G., “Raspberry Pi: Guía del Usuario 2º Edición en Español”, Ed. Wiley, ISBN: 978-1-118-46446-5, 2012.
- [36] Urquijo, R. & Marinelli, M., “Sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica con IoT basado en Raspberry Pi”, *Anales de la 47º Jornadas Argentinas*

de Informática (47JAIIO), Simposio Argentino de Grandes Datos AGRANDA, ISSN: 2451-7569, pp. 64-73, Argentina, 2018.

[37] Partner, K., “Ultimate guide to Raspberry Pi”, MAGBOOK, Dennis Publishing Ltd., ISBN: 1-78106-312-5, 2014.

[38] Wong, G., “Build your own prototype Raspberry Pi minicomputer”, 2011 [Internet]. Consultado el 22-02-2018. Disponible en URL: <https://www.ubergizmo.com/2011/10/build-raspberry-pi-minicomputer/>

[39] Moorhead, J., “Raspberry Pi device will ‘reboot computing in schools’”, The Guardian, 2012 [Internet]. Consultado el 22-02-2018. Disponible en URL: <https://www.theguardian.com/education/2012/jan/09/raspberry-pi-computer-revolutionise-computing-schools?newsfeed=true>

[40] Parrish, K., “Tiny USB-Sized PC Offers 1080p HDMI Output”, 2011 [Internet]. Consultado el 22-02-2018. Disponible en URL: <https://www.tomshardware.com/news/Raspberry-Pi-David-Braben-Ubuntu-9-OLPC-Railroad-Tycoon,12709.html>

[41] Upton, L., “The alpha boards are here!”, 2011 [Internet]. Consultado el 11-05-2022. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.com/news/the-alpha-boards-are-here/>

[42] Upton, E., “More on the beta boards”, 2011 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/more-on-the-beta-boards/>

[43] Upton, L., “We’re Auctioning ten beta Raspberry Pis!”, 2011 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/were-auctioning-ten-beta-raspberry-pis/>

[44] Lee, R., “Raspberry Pi balks at UK tax regime”, 2012 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL:

https://www.tax-news.com/news/Raspberry_Pi_Balks_At_UK_Tax_Regime_53494.html

[45] Weakley, K., “UK computing charity opts to manufacture product abroad”, 2012 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL: <https://www.civilsociety.co.uk/news/uk-computing-charity-opts-to-manufacture-product-abroad.html>

- [46] Lawler, R., “PCs are on sale now, \$25 Model A gets a RAM bump” [Internet]. Consultado el 12-03-2018. Disponible en URL: <https://www.engadget.com/2012/02/29/raspberry-pi-credit-card-sized-linux-pcs-are-on-sale-now-25-mo/>
- [47] Lomas, P., “Raspberry Pi’s Secret: ‘Sell out Little to sell a lot’”, 2012 [Internet]. Consultado el 15-03-2018. Disponible en URL: <https://www.wired.com/2012/09/raspberry-pi-insider-exclusive-sellout-to-sell-out/>
- [48] Gilbert, D., “Interview with Eben Upton – Raspberry Pi Founder”. International Business Times (IBT), 2014 [Internet]. Consultado el 12-02-2018. Disponible en URL: <https://www.ibtimes.co.uk/eben-upton-raspberry-pi-founder-interview-313480>
- [49] Upton, L., “Made in the UK!”, 2012 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/made-in-the-uk/>
- [50] Upton, L., “Want to buy more than one Raspberry Pi? Now you can!”, 2012 [Internet]. Consultado el 26-02-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/want-to-buy-more-than-one-raspberry-pi-now-you-can/>
- [51] Dunn, J., “Raspberry Pi resurrects UK computer industry with new jobs”, ComputerWorld, 2012 [Internet]. Consultado el 12-03-2018. Disponible en URL: <https://www.computerworlduk.com/infrastructure/raspberry-pi-resurrects-uk-computer-industry-with-new-jobs-3379912/>
- [52] Upton, L., “Model A now for sale in Europe – Buy one today!”, 2013 [Internet]. Consultado el 15-03-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/model-a-now-for-sale-in-europe-buy-one-today/>
- [53] Nelli, F., “Raspberry Pi Model B+: the ultimate evolution”, 2014 [Internet]. Consultado el 15-03-2018. Disponible en URL: <http://www.meccanismocomplesso.org/en/raspberry-pi-model-bplus/>
- [54] Nelli, F., “Raspberry Pi 2 Model B”, 2015 [Internet]. Consultado el 15-03-2018. Disponible en URL: <http://www.meccanismocomplesso.org/en/raspberry-pi-2-model-b/>
- [55] Upton, E., “Raspberry Pi Zero: the \$5 computer”, 2015 [Internet]. Consultado el 03-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-zero/>

- [56] Nelli, F., “Raspberry Pi 3 – The evolution goes on”, 2016 [Internet]. Consultado el 03-04-2018. Disponible en URL: <http://www.meccanismocomplesso.org/en/raspberry-pi-3-evolution/>
- [57] Brodtkin, J., “New \$10 Raspberry Pi Zero comes with Wi-Fi and Bluetooth”, 2017 [Internet]. Consultado el 06-04-2018. Disponible en URL: <https://arstechnica.com/information-technology/2017/02/new-10-raspberry-pi-zero-comes-with-wi-fi-and-bluetooth/>
- [58] Upton, E., “New product! Raspberry Pi Zero W joins the family”, 2017 [Internet]. Consultado el 06-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-zero-w-joins-family/>
- [59] Upton, E., “Raspberry Pi 3 Model B+ on sale now at \$35”, 2018 [Internet]. Consultado el 22-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-model-bplus-sale-now-35/>
- [60] Pastor, J., “Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando”, 2018 [Internet]. Consultado el 22-04-2018. Disponible en URL: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>
- [61] Upton, E., “New product: Raspberry Pi 3 Model A+ on sale now at \$25”, 2018 [Internet]. Consultado el 05-12-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/new-product-raspberry-pi-3-model-a/>
- [62] Navarro, A., “Comparativa de las placas Raspberry Pi y competencia”, 2018 [Internet]. Consultado el 05-01-2019. Disponible en URL: <https://comohacer.eu/comparativa-y-analisis-raspberry-pi-vs-competencia>
- [63] Owano, N., “Raspberry Pi gets customized OS called Raspbian”, 2012 [Internet]. Consultado el 26-04-2018. Disponible en URL: <https://phys.org/news/2012-07-raspberry-pi-customized-os-raspbian.html>
- [64] FrontPage – Raspbian [Internet]. Consultado el 26-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspbian.org/>
- [65] RaspbianFAQ – Raspbian [Internet]. Consultado el 26-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspbian.org/RaspbianFAQ>

- [66] RPi raspi-config – eLinux.org [Internet]. Consultado el 28-04-2018. Disponible en URL: https://elinux.org/RPi_raspi-config
- [67] Upton, E., “Introducing the Pi Store”, 2012 [Internet]. Consultado el 29-04-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-the-pi-store/>
- [68] Harrington, W., “Learning Raspbian”, Packt Publishing, ISBN: 978-1-78439-219-2, Birmingham, UK, 2015.
- [69] Long, S., “Introducing PIXEL”, 2016 [Internet]. Consultado el 30-06-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-pixel/>
- [70] Long, S., “A new Raspbian update: multimedia, Python and more”, 2018 [Internet]. Consultado el 08-01-2019. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspbian-update-november-2018/>
- [71] NOOBS – Raspberry Pi Documentation [Internet]. Consultado el 07-05-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/noobs.md>
- [72] Installing operating system images – Raspberry Pi Documentation [Internet]. Consultado el 07-05-2018. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/README.md>
- [73] Kortuem, G., Kawsar, F., Sundramoorthy, V., & Fitton, D., “Smart Objects as Buildings Blocks for the Internet of Things”, Journal IEEE Internet Computing, Vol. 14 (1), pp. 44-51, 2010.
- [74] Gonzalez, S. M., “Entendiendo el Internet de las Cosas”, Revista Investiga.TEC, Num. 24, ISSN: 1659-3383, pp. 22-23, 2015.
- [75] Bravo Merchan, V. P., “Evaluación de un sistema “VBM384” para la aplicación práctica de Internet de las Cosas IoT, en el monitoreo automático de la humedad y temperatura del suelo”, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2017.
- [76] Sanz, E., “¿Qué es el “Internet de las cosas”?”, Sitio de la Revista “Muy Interesante”, 2017 [Internet]. Consultado el 20-02-2018. Disponible en URL:

<https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/ique-es-el-qinternet-de-las-cosasq>

- [77] Weber, R., & Weber R. "Internet of Things. Legal Perspectives", Springer, ISBN: 978-3-642-11709-1, ISSN: 00368733, 2010.
- [78] E. Luque, "Las Tecnologías de la Información y las comunicaciones y su impacto en las aplicaciones sociales", Revista Institucional de la Facultad de Informática de la UNLP, pp. 25-28, 2015.
- [79] Iqra Zain, Abu Rehan, Javed Ashraf, "Internet of Things", International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR), ISSN: 2321-9939, Volume 4, Issue 3, pp. 1088 – 1092, September 2016. Consultado el 20-02-2018. Disponible en URL: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1603172.pdf>
- [80] "El Internet de las Cosas. En un mundo conectado de objetos inteligentes.", Fundación de la Innovación Bankinter, 2011 [Internet]. Consultado el 07-03-2018. Disponible en URL: <https://www.fundacionbankinter.org/ftf/tendencias/internet-de-las-cosas>
- [81] Prateek Saxena, "The advantages and disadvantages of Internet Of Things", 2016 [Internet]. Consultado el 18-04-2019. Disponible en URL: <https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>
- [82] Sánchez-Alcón, J. A., López-Santidrián, L., & Martínez, J., "Solución para garantizar la privacidad en Internet de las Cosas", Revista El profesional de la información, ISSN 1386-6710, Vol. 24 (1), pp. 62-70, 2015.
- [83] "Internet of Things: Risk and Value Considerations", ISACA, 2015 [Internet]. Consultado el 24-06-2017. Disponible en URL: <https://www.isaca.org/Knowledge-Center/Research/ResearchDeliverables/Pages/internet-of-things-risk-and-value-considerations.aspx>
- [84] Gluhak, A., Krco, S., Nati, M., Pfisterer, D., Mitton, N., & Razafindralambo, T. "A Survey on Facilities for Experimental Internet of Things Research", IEEE Communicantions Magazine 49 (11), pp. 58-67, 2011.
- [85] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M., "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Journal Future Generation Computer Systems, Vol. 29 (7), pp. 1645-1660, 2013.

- [86] Salazar, J., & Silvestre, S., “Internet de las Cosas”, TechPedia, ISBN: 978-80-01-06234-0, Primera Edición, 2017 [Internet]. Consultado el 04-02-2019. Disponible en URL: <http://techpedia.fel.cvut.cz/es/single/?objectId=95>
- [87] Comunicaciones IoT y M2M – Sitio Oficial ORBCOMM [Internet]. Consultado el 17-07-2018. Disponible en URL: <https://www.orbcomm.com/es>
- [88] Soluciones IoT y aplicaciones M2M para el monitoreo y control remoto. – Sitio Oficial ORBCOMM [Internet]. Consultado el 18-08-2018. Disponible en URL: <https://www.orbcomm.com/es/solutions>
- [89] Hardware IoT para seguimiento, monitoreo y control. – Sitio Oficial ORBCOMM [Internet]. Consultado el 18-08-2018. Disponible en URL: <https://www.orbcomm.com/es/hardware>
- [90] Internet de las Cosas | Plataforma como Servicio | AWS IoT [Internet]. Consultado el 20-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot/>
- [91] Industrial IoT | Digital Transformation, Predictive Maintenance, Condition Monitoring | AWS IoT [Internet]. Consultado el 20-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot/solutions/industrial-iot/>
- [92] IoT for Connected Homes | Home Automation, Home Security & Monitoring, Home Networking | AWS IoT [Internet]. Consultado el 21-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot/solutions/connected-home/>
- [93] Amazon FreeRTOS – Sistema operativo de IoT para microcontroladores – AWS [Internet]. Consultado el 23-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/freertos/>
- [94] Yuan, M., “Conociendo MQTT. ¿Por qué MQTT es uno de los mejores protocolos de red para el Internet de las Cosas?” [Internet]. Consultado el 19-10-2019. Disponible en URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>
- [95] AWS IoT for the Edge – Amazon Web Services [Internet]. Consultado el 22-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot/solutions/iot-edge/>
- [96] AWS IoT Greengrass: Amazon Web Services [Internet]. Consultado el 26-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/greengrass/>

- [97] Información general sobre AWS IoT Core – Amazon Web Services [Internet]. Consultado el 26-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-core/>
- [98] Seguridad de IoT | Administración de la seguridad de los dispositivos IoT | AWS Iot Device Defender [Internet]. Consultado el 28-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-device-defender/>
- [99] IoT Device Management | Incorpore, organice y actualice dispositivos de forma remota | AWS IoT Device Management [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-device-management/>
- [100] AWS IoT Thing Graph [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-things-graph/>
- [101] Información General sobre AWS IoT Analytics – Amazon Web Services [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-analytics/>
- [102] Detecte y responda a eventos de IoT. AWS IoT Events [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-events/>
- [103] Recopile, estructure y busque datos industriales de IoT con AWS IoT SiteWise [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-sitewise/>
- [104] Información general sobre AWS IoT 1-Click: creación en un clic de un disparador de AWS Lambda para cualquier dispositivo [Internet]. Consultado el 29-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/iot-1-click/>
- [105] Precio de los servicios en la nube | AWS [Internet]. Consultado el 30-08-2018. Disponible en URL: <https://aws.amazon.com/es/pricing/>
- [106] Google Cloud IoT – Servicios de Internet de las cosas totalmente gestionados | Google Cloud [Internet]. Consultado el 12-09-2018. Disponible en URL: <https://cloud.google.com/solutions/iot/>
- [107] Google Cloud Platform | Documentación | Google Cloud [Internet]. Consultado el 12-09-2018. Disponible en URL: <https://cloud.google.com/docs/>
- [108] Oden Technologies Case Study | Google Cloud [Internet]. Consultado el 13-09-2018. Disponible en URL: <https://cloud.google.com/customers/oden-technologies/>

- [109] Precios de GCP | Google Cloud [Internet]. Consultado el 14-09-2018. Disponible en URL: <https://cloud.google.com/pricing/>
- [110] Sitio Oficial de aREST | Home [Internet]. Consultado el 20-09-2018. Disponible en URL: <https://arest.io/>
- [111] Thinger.io – Open Source IoT Platform [Internet]. Consultado el 20-09-2018. Disponible en URL: <https://thinger.io/>
- [112] Thinger.io Cloud [Internet]. Consultado el 22-09-2018. Disponible en URL: <https://pricing.thinger.io/#!/cloud>
- [113] Eclipse IoT | IoT development made simple [Internet]. Consultado el 27-09-2018. Disponible en URL: <https://iot.eclipse.org/>
- [114] Projects | IoT development made simple – iot.eclipse.org [Internet]. Consultado el 30-09-2018. Disponible en URL: <https://iot.eclipse.org/projects/>
- [115] Particle – Welcome to real IoT [Internet]. Consultado el 02-10-2018. Disponible en URL: <https://www.particle.io/>
- [116] IoTIFY- Develop full stack IoT Application with virtual device simulation [Internet]. Consultado el 03-10-2018. Disponible en URL: <https://iotify.io/>
- [117] Virtual IoT lab for rapid application development [Internet]. Consultado el 04-10-2018. Disponible en URL: <https://iotify.io/iotify-virtual-lab/>
- [118] Develop IoT applications with Virtual Devices | IoTIFY. Centro de ayuda [Internet]. Consultado el 04-10-2018. Disponible en URL: <https://iotify.help/>
- [119] The Raspberry Pi Internet of Things Toolkit – Now in two flavors. Sitio oficial de WebIOPi [Internet]. Consultado el 14-10-2018. Disponible en URL: <http://webiopi.trouch.com/>
- [120] Bevilaqua, V. A., “Análise dos frameworks Eclipse Kura, The Thing Box e WebIOPi no desenvolvimento de aplicações da Internet das Coisas (IoT)”, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, 2015. Consultado el 17-10-2018. Disponible en URL: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/3291>
- [121] “WebIOPi Inventor and Veteran Raspberry Pi Developer Eric Ptak Joins myDevices as IoT Expert”, BusinessWire, 2015 [Internet]. Consultado el 17-10-2018.

Disponible en URL:
<https://www.businesswire.com/news/home/20151117005497/en/WebIOPi-Inventor-Veteran-Raspberry-Pi-Developer-Eric>

[122] Instalación WebIOPi [Internet]. Consultado el 17-10-2018. Disponible en URL:
<http://aprendoycomparto.es/webiopi.php>

[123] Saravanan, P., “Review Article: Complete Reference on Remote Device Control through WebIOPi IoT Framework using BCM 2835 SOC”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10(1), January 2016, Pages: 185-190. Disponible en URL:
<https://ssrn.com/abstract=2790312>

[124] Node-RED Sitio oficial [Internet]. Consultado el 16-09-2017. Disponible en URL:
<https://nodered.org/>

[125] Marinelli, M. & Urquijo, R., “Sistema de Control de una cámara de germinación hidropónica con IoT”, Libro de Actas del XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), ISBN: 978-950-34-1539-9, pp. 1101-1107, La Plata, 2017.

[126] Library – Node-RED [Internet]. Consultado el 16-09-2017. Disponible en URL:
<https://flows.nodered.org/>

[127] Kleinfeld, R., Steglich, S., Radziwonowicz, L., & Doukas, C., “glue.things – a Mashup Platform for wiring the Internet of Things with the Internet of Services”, Proceedings of the 5th International Workshop on Web of Things (WoT ‘14), ISBN: 978-1-4503-3066-4, pp. 16- 21, Cambridge MA (USA), 2014.
<https://doi.org/10.1145/2684432.2684436>

[128] Salihbegovic, A., Eterovic, T., Kaljic, E., & Rubic, S., “Design of a domain specific language and IDE for Internet of things applications”, Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2015 38th International Convention on, ISBN: 978-9-5323-3082-3, pp. 996-1002, Croacia, 2015.
<https://doi.org/10.1109/MIPRO.2015.7160420>

[129] Getting Started: Node-RED [Internet]. Consultado el 18-10-2018. Disponible en URL: <https://nodered.org/docs/getting-started/>

[130] Windows 10 IoT. Sitio Oficial [Internet]. Consultado el 20-10-2018. Disponible en URL: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/iot>

- [131] Placas de prototipos sugeridas – Windows IoT | Microsoft Docs. Centro de desarrollo de Windows [Internet]. Consultado el 23-10-2018. Disponible en URL: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows/iot-core/tutorials/quickstarter/PrototypeBoards>
- [132] Descargas – Windows IoT | Microsoft Docs. Panel de Windows 10 IoT Core [Internet]. Consultado el 23-10-2018. Disponible en URL: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows/iot-core/downloads>
- [133] OpenHAB. Sitio oficial [Internet]. Consultado el 25-10-2018. Disponible en URL: <https://www.openhab.org/>
- [134] Vega Alonso, R. “Instalación domótica basada en OpenHAB y Raspberry Pi”, Tesis de Máster en Ingeniería Industrial, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, España, 2016. Consultado el 25-10-2018. Disponible en URL: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/19084>
- [135] Salguero Serrat, J., “BrainyCUM: almacenamiento y visualización de datos procedentes de dispositivos IoT”, Tesis de Grado en Ingeniería en Telemática, Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, España, 2017. Consultado el 25-10-2020. Disponible en URL: <http://hdl.handle.net/10662/6396>
- [136] “Installing operating system images using Windows” [Internet]. Consultado el 17-06-2020. Disponible en URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/windows.md>
- [137] “6. Programación con Node-Red || Usos de variables global, flow y node”. PlcNode. 07 de Agosto de 2019. [Vídeo en línea]. Consultado el 03-02-2022. Disponible en URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Jzyshyt41ng>
- [138] “Contexto y Variables de entorno en Node-RED”, Blog Aprendiendo Arduino. [Internet] Publicado el 29 de Noviembre de 2020. Consultado el 03-02-2022. Disponible en URL: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2020/11/29/contexto-y-variables-de-entorno-en-node-red/>