



## CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

### **Monitoreo y gestión remota de controladores de clima y riego**

**Autor:**

**Ing. Martín A. Brocca**

Director:

Mg. Ing. Juan Carlos Brocca

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
entre junio de 2022 y mayo de 2023.*



## *Resumen*

En la presente memoria se describe el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de control y monitoreo de clima y riego para un invernadero de tipo hogareño. El trabajo se compone de una colección de sensores y actuadores basados en hardware de bajo costo y una plataforma de software de código abierto que permite automatizar el proceso y adaptarlo a diferentes cultivos.

Para completar este proyecto se utilizaron técnicas de selección e integración de circuitos, desarrollo de firmware, evaluación de software y diseño de automatizaciones.



## *Agradecimientos*

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>1. Introducción general</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	1
1.3. Estado del arte . . . . .	2
1.4. Objetivos y alcance . . . . .	4
<b>2. Introducción específica</b>	<b>5</b>
2.1. Protocolos de comunicación . . . . .	5
2.2. Componentes de hardware utilizado . . . . .	5
2.3. Tecnologías de software aplicadas . . . . .	5
2.4. Requerimientos . . . . .	5
<b>3. Diseño e implementación</b>	<b>7</b>
3.1. Arquitectura del sistema . . . . .	7
3.2. Detalle de los módulos de hardware . . . . .	7
3.3. Detalle del firmware desarrollado . . . . .	7
3.4. Selección y configuración del software . . . . .	7
3.5. Ciberseguridad del sistema . . . . .	7
<b>4. Ensayos y resultados</b>	<b>9</b>
4.1. Banco de pruebas . . . . .	9
4.2. Pruebas unitarias . . . . .	9
4.3. Pruebas de sistema . . . . .	9
4.4. Comparativa con el estado de arte . . . . .	9
<b>5. Conclusiones</b>	<b>11</b>
5.1. Resultados obtenidos . . . . .	11
5.2. Trabajo futuro . . . . .	11
<b>Bibliografía</b>	<b>13</b>





# Índice de figuras

1.1. Invernadero hogareño <sup>1</sup> . . . . .	2
1.2. Invernadero inteligente controlado por IoT <sup>2</sup> . . . . .	3



# Índice de tablas

1.1. Análisis del estado del arte . . . . .	4
---	---



***Dedicado a... [OPCIONAL]***



# Capítulo 1

## Introducción general

En este capítulo se introducen conceptos claves asociados al trabajo realizado y se detallan las razones que motivaron su desarrollo y cuál es el estado del arte. Asimismo, se explican los objetivos y el alcance establecidos.

### 1.1. Introducción

El término Internet de las Cosas (en inglés, *Internet of Things* abreviado IoT) se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana [1]. IoT tiene una amplia variedad de campos de aplicación, entre los cuales se destaca la agricultura inteligente aplicada a invernaderos. Los invernaderos modernos son sistemas de cultivo intensivo diseñados para alcanzar una alta eficiencia y productividad. Debido a su capacidad para mantener las condiciones ambientales en niveles óptimos o sub-óptimos, facilitan la producción de plantas a lo largo de todo el año en forma independiente a las condiciones climáticas externas [2]. Mediante la aplicación de IoT a invernaderos se ha demostrado una mejora sustancial en la eficiencia de la gestión de los cultivos al mismo tiempo que se ha logrado acelerar la producción y reducir sus costos [3]. Además de las ventajas mencionadas, los invernaderos pueden impactar de forma positiva a los entusiastas de la jardinería, ya que proporcionan beneficios tanto físicos como anímicos especialmente durante las temporadas invernales o de baja temperatura. [4].

### 1.2. Motivación

Al igual que en otros países, la jubilación o retiro en los Estados Unidos de América se caracteriza por dos condiciones: por un lado, dejar de formar parte de la fuerza laboral remunerada y por el otro, comenzar a percibir ingresos a través del seguro social, pensiones y/u otros mecanismos de ahorro [5].

Si bien en Estados Unidos es común comenzar la jubilación a los 65 años de edad, algunas personas encuentran atractiva la posibilidad de un retiro anticipado debido al mayor tiempo disponible para explorar nuevos *hobbies*, intereses o actividades. Sin embargo, para llevarlo a cabo en forma exitosa se requiere una base financiera sólida que garantice la seguridad económica necesaria fuera del ámbito laboral [6].

Factores tales como el costo de vida, el acceso a la salud, la proximidad familiar

y el clima en ocasiones pueden motivar a los nuevos jubilados a realizar cambios en su lugar de residencia [7] [8]. Tal es el caso del cliente de este proyecto, quien a raíz de su reciente jubilación anticipada decidió comenzar una nueva vida en una finca ubicada en una zona rural del estado de Carolina del Norte.

Su intención es convertir esta propiedad en una residencia sustentable, capaz de producir diferentes tipos de plantas: por un lado, hortalizas para abastecer el consumo familiar y por el otro, especies de árboles para reforestación. Para lograr esto minimizando la intervención humana en el proceso, surge la necesidad de instalar un invernadero que automatice los cultivos. Por ser estos diversos, las condiciones climáticas y de riego deben ser flexibles para adaptarse a cada especie sembrada.

En la figura 1.1 se observa un vivero hogareño típico de producción y dimensiones similares al propuesto.



FIGURA 1.1. Invernadero hogareño<sup>1</sup>.

### 1.3. Estado del arte

Los invernaderos son estructuras diseñadas para controlar y proteger las plantas del clima y otros factores ambientales adversos. Tradicionalmente, la temperatura, la humedad y la iluminación se controlaban de forma manual, lo que requería una gran cantidad de mano de obra y recursos.

Sin embargo, debido a los avances tecnológicos en materia de IoT, se ha popularizado el desarrollo de invernaderos capaces de ajustar las condiciones ambientales mediante el uso de sensores, actuadores y controladores. Estos dispositivos responden en función de configuraciones preprogramadas o a partir de datos en tiempo real. Así, el despliegue de este tipo de sistemas, denominados invernaderos inteligentes se ha extendido enormemente en los últimos años debido a la eficiencia obtenida durante la producción y al incremento en la resiliencia de los cultivos[9].

Algunas posibles aplicaciones de IoT en viveros incluyen:

---

<sup>1</sup>Imagen bajo licencia de <https://www.istockphoto.com/>



- Monitoreo y control del clima: diferentes sensores pueden medir la temperatura, humedad, luz y otros factores ambientales en el invernadero, para que luego diferentes actuadores puedan ajustar automáticamente el clima para crear las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.
- Riego a demanda: la medición de la humedad del suelo de forma continua permite activar sistemas de riego automatizados para mantener los niveles de humedad adecuados. Esto logra reducir el desperdicio de agua y disminuir los costos asociados.
- Seguimiento del crecimiento de las plantas: los sensores IoT pueden medir el crecimiento de las plantas y proporcionar información útil para la gestión del cultivo. Esto puede ayudar a identificar problemas de crecimiento temprano y a tomar medidas para evitar que se conviertan en problemas mayores.
- Control de plagas y enfermedades: monitorear los niveles de plagas y enfermedades en el vivero y activar sistemas de control automatizados cuando se detectan problemas ayuda a reducir el uso de pesticidas y otros productos químicos y mejora la salud de las plantas.
- Fertirrigación<sup>2</sup>: mediante sensores que midan las características del agua (pH, su conductividad eléctrica, etc.) o bien en base a configuraciones acordes a la plantación en curso, el sistema puede administrar de forma optimizada y precisa fertilizantes al suelo a través del sistema de riego.
- Automatización de tareas: los sistemas IoT pueden automatizar muchas tareas en el vivero, como la siembra, el trasplante y la recolección de plantas. Esto puede reducir los costos de mano de obra y mejorar la eficiencia de la producción.

En la figura 1.2 se representa un invernadero inteligente con sus respectivos sensores y actuadores.

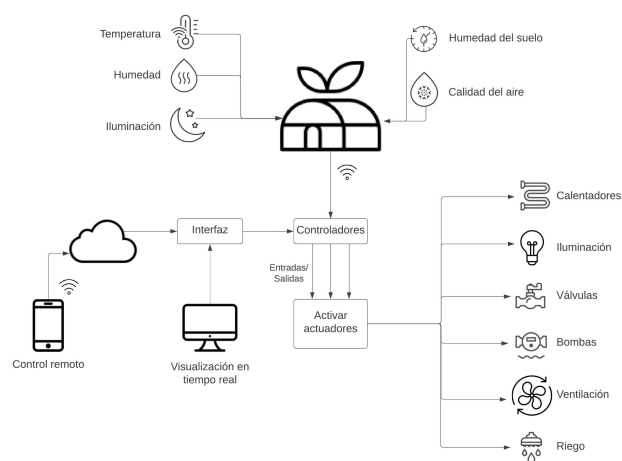


FIGURA 1.2. Invernadero inteligente controlado por IoT<sup>3</sup>.

<sup>2</sup>Fertirrigar es aportar al suelo los nutrientes que necesitan los cultivos mediante el agua de riego [10].

<sup>3</sup>Imagen adaptada de *Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming*[11]

En el mercado internacional se encontraron diferentes proveedores que ofrecen soluciones para el desarrollo de invernaderos inteligentes. A la hora de comparar distintas opciones es necesario considerar los niveles de automatización requerida, la facilidad de uso y las opciones de personalización. Adicionalmente, se debe de considerar el costo y la compatibilidad con la infraestructura existente.

En la tabla 1.1 se detalla una breve comparación entre los principales proveedores de servicios de invernaderos inteligentes.

TABLA 1.1. Análisis del mercado.

Funcionalidad	Priva [12]	Argus Controls [13]	Grodan [14]	Growlink [15]
Gestión de clima	Sí	Sí	Sí	Sí
Control de riego	Sí	Sí	Sí	Sí
Fertirrigación	Sí	Sí	Sí	Sí
Gestión de energía	Sí	No	Sí	Si
Tamaño de mercado	Grande	Grande	Grande	Pequeño
Costo	\$\$\$\$	\$\$	\$\$	\$

## 1.4. Objetivos y alcance

El propósito de este trabajo es el desarrollo de una plataforma capaz de controlar el clima y riego de un invernadero mediante el uso de sensores y actuadores. Estos dispositivos se comunican con una aplicación instalada en un servidor local que administra los parámetros y las alarmas del sistema.

Durante este proyecto se construyó un prototipo completo de invernadero con los siguientes elementos:

- Aplicación para el monitoreo, control de dispositivos, gestión de alarmas y automatización.
- Control de usuarios, permisos y accesos a la plataforma.
- Interfaz gráfica para acceso y control de la plataforma.
- Análisis, investigación y elección del hardware para los sensores y actuadores.

El presente trabajo no incluyó:

- Instalación en sitio de los sistemas desarrollados.
- Implementación de métodos de control basados en condiciones climatológicas externas.
- Desarrollo o implementación de modelos analíticos o predictivos de las condiciones del vivero.
- Diseño o instalación de conexiones que no sean por Wi-Fi (LTE/5G).

## Capítulo 2

# Introducción específica

En este capítulo se describen las tecnologías, herramientas y protocolos utilizados para la realización del trabajo.

- 2.1. Protocolos de comunicación**
- 2.2. Componentes de hardware utilizado**
- 2.3. Tecnologías de software aplicadas**
- 2.4. Requerimientos**



## Capítulo 3

# Diseño e implementación

En este capítulo se presentan los detalles del diseño de los nodos sensores y actuadores que conforman el trabajo, como así también los de la implementación de la aplicación Thingsboard.

- 3.1. Arquitectura del sistema**
- 3.2. Detalle de los módulos de hardware**
- 3.3. Detalle del firmware desarrollado**
- 3.4. Selección y configuración del software**
- 3.5. Ciberseguridad del sistema**



## Capítulo 4

# Ensayos y resultados

En este capítulo se explica la metodología de pruebas aplicada tanto a los componentes individuales como al sistema implementado, finalizando con una comparativa con el estado del arte.

### **4.1. Banco de pruebas**

### **4.2. Pruebas unitarias**

### **4.3. Pruebas de sistema**

### **4.4. Comparativa con el estado de arte**





## Capítulo 5

# Conclusiones

En este capítulo se muestran las conclusiones sobre el trabajo realizado. A su vez se presentan algunas modificaciones o mejoras como posible trabajo futuro

### **5.1. Resultados obtenidos**

### **5.2. Trabajo futuro**

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.



# Bibliografía

- [1] Scott Eldridge y Lyman Chapin Karen Rose. «The Internet of Things: An Overview». En: (2015).
- [2] Krishna Nemali. «History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses». En: *HortScience* 57.2 (2022), págs. 239 -246. DOI: [10.21273/HORTSCI16160-21](https://doi.org/10.21273/HORTSCI16160-21). URL: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/57/2/article-p239.xml>.
- [3] Chrysanthos Maraveas y Thomas Bartzanas. «Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados». En: *Magna Scientia UCEVA* 2 (dic. de 2022), págs. 253-268. DOI: [10.54502/msuceva.v2n2a11](https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a11).
- [4] John W. Bartok. *Greenhouses for Homeowners and Gardeners*. Natural Resource, Agriculture, y Engineering Service (NRAES), 2000-06.
- [5] Zhe Li. *Retirement Trends in United States, 2000-2022*. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IN/IN11959>. Jun. de 2022. (Visitado 20-03-2023).
- [6] Rebecca Lake. *I Want to Retire at 55. How Can I Make That Happen?* <https://www.yahoo.com/now/retire-age-55-lets-run-203416606.html>. Feb. de 2023. (Visitado 20-03-2023).
- [7] AARP. *Relocation for Retirement - 10 Things You Should Consider*. Visitado el 2023-03-20. 2023. URL: <https://www.aarpmovingservices.com/blog/all-you-need-to-know-before-relocating-for-retirement>.
- [8] Ayoung Kim y Brigitte S. Waldorf. «Retirement, Relocation, and Residential Choices». En: *Labor Markets, Migration, and Mobility: Essays in Honor of Jacques Poot*. Ed. por William Cochrane, Michael P. Cameron y Omoniyi Alimi. Singapore: Springer Singapore, 2021, págs. 181-196. ISBN: 978-981-15-9275-1. DOI: [10.1007/978-981-15-9275-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9275-1_8). URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9275-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9275-1_8).
- [9] Intel. *¿Qué son los invernaderos inteligentes?* <https://agrofacto.com/invernaderos-inteligentes/m>. 2022. (Visitado 20-03-2023).
- [10] pesca y alimentación Ministerio de agricultura. *Fertirrigación*. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/fertirrigacion.aspx>. (Visitado 20-03-2023).
- [11] Rakiba Rayhana, Gaozhi Xiao y Zheng Liu. «Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming». En: *IEEE Journal of Radio Frequency Identification* 4.3 (2020), págs. 195-211. DOI: [10.1109/JRFID.2020.2984391](https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391).
- [12] Priva. <https://www.priva.com/>. (Visitado 20-03-2023).
- [13] Argus Controls. <https://arguscontrols.com/>. (Visitado 20-03-2023).
- [14] Grodan. <https://www.grodan.com/>. (Visitado 20-03-2023).
- [15] Growlink. <https://www.growlink.com/>. (Visitado 20-03-2023).