



UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



**TFG del Grado en Ingeniería  
Informática**

**Análisis de datos de  
temperatura y humedad de  
suelo procedentes de sensores  
IoT desplegados en un viñedo**



Presentado por Gabriel Hernández Vallejo  
en Universidad de Burgos — 24 de marzo  
de 2023

Tutores: Rubén Ruiz González, Alejandro  
Merino Gómez







UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



D. Rubén Ruiz González y D. Alejandro Merino Gómez, profesores del departamento de Ingeniería Electromecánica, área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Exponen:

Que el alumno D. Gabriel Hernández Vallejo, con DNI 71709111-X, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado *"Análisis de datos de temperatura y humedad de suelo procedentes de sensores IoT desplegados en un viñedo"*.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 24 de marzo de 2023

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del co-tutor:

D. nombre tutor

D. nombre co-tutor





## Resumen

En este primer apartado se hace una **breve** presentación del tema que se aborda en el proyecto.

## Descriptores

Palabras separadas por comas que identifiquen el contenido del proyecto Ej: servidor web, buscador de vuelos, android ...

## **Abstract**

A **brief** presentation of the topic addressed in the project.

## **Keywords**

keywords separated by commas.



---

# Índice general

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>Índice general</b>                      | <b>iii</b> |
| <b>Índice de figuras</b>                   | <b>v</b>   |
| <b>Índice de tablas</b>                    | <b>vi</b>  |
| <b>Introducción</b>                        | <b>1</b>   |
| 1.1. Estructura de la memoria . . . . .    | 2          |
| 1.2. Materiales adjuntos . . . . .         | 3          |
| <b>Objetivos del proyecto</b>              | <b>5</b>   |
| 2.1. Objetivos generales . . . . .         | 5          |
| 2.2. Objetivos técnicos . . . . .          | 5          |
| 2.3. Objetivos personales . . . . .        | 6          |
| <b>Conceptos teóricos</b>                  | <b>7</b>   |
| 3.1. Secciones . . . . .                   | 7          |
| 3.2. Referencias . . . . .                 | 7          |
| 3.3. Imágenes . . . . .                    | 8          |
| 3.4. Listas de items . . . . .             | 8          |
| 3.5. Tablas . . . . .                      | 9          |
| <b>Técnicas y herramientas</b>             | <b>11</b>  |
| 4.1. Metodologías . . . . .                | 11         |
| 4.2. Control de versiones . . . . .        | 11         |
| 4.3. Alojamiento del repositorio . . . . . | 11         |
| 4.4. Gestión del proyecto . . . . .        | 11         |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.5. Comunicación . . . . .                            | 11        |
| 4.6. Entorno de desarrollo . . . . .                   | 12        |
| 4.7. Librerías . . . . .                               | 12        |
| 4.8. Restful API . . . . .                             | 13        |
| <b>Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto</b> | <b>15</b> |
| <b>Trabajos relacionados</b>                           | <b>17</b> |
| <b>Conclusiones y Líneas de trabajo futuras</b>        | <b>19</b> |
| <b>Bibliografía</b>                                    | <b>21</b> |

---

# Índice de figuras

---

|  |   |
|--|---|
| 3.1. Autómata para una expresión vacía . . . . . | 8 |
|--|---|

---

# Índice de tablas

---

|   |   |
|---|---|
| 3.1. Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto | 9 |
|---|---|

---

# Introducción

---

El cuidado de las tierras de cultivo vitícolas ha supuesto a menudo a lo largo de la historia diferentes retos desde el comienzo de su domesticación entorno al 3500-3100 a.C., continuando en la época del Antiguo Egipto, lugar en el que se cree se comenzó a popularizar la ingesta del producto resultante de la labranza y cosecha de los cultivos: el vino [1].

En la península ibérica el interés por este proceso y su resultante comenzó en el periodo fenicio cerca del 1100 a.C., expandiéndose por todo el territorio peninsular gracias al comercio, lo que dio como resultado que los procesos enológicos fueran ya bien conocidos en los siglos IV-III a.C. [1, 2].

Entre los principales retos a los que se han enfrentado los viticultores en la península ibérica se encuentran numerosas plagas de insectos, ácaros, nematodos, diferentes vertebrados, moluscos, bacterias, etc [3]. Siendo la más devastadora la causada por la histórica palga de filoxera (*Phylloxera vastatrix*) a finales del siglo XIX y comienzos del XX, que obligó a una reestructuración prácticamente completa de la viticultura española [4].

Sin embargo, el principal factor influyente en el cultivo de la vid es el clima, siendo este el causante de sus alteraciones, fisiopatías y la presencia de casi todas las plagas, de manera que estas se encuentran relacionadas con diferentes factores climáticos como la temperatura, las precipitaciones, la humedad y la humectación. De esta forma, por ejemplo, las altas lluvias o humedades y/o bajas temperaturas pueden producir corrimiento del racimo (escasez anormal de bayas en los racimos) o las altas temperaturas pueden generar desequilibrios hídricos que afecten a los injertos y a aquellas cepas infectadas por hongos de la madera [3].

Por otro lado, los datos climatológicos históricos indican que la temperatura global ha aumentado  $1,1^{\circ}\text{C}$  desde el inicio de la Revolución Industrial hasta nuestros días, siendo este desequilibrio causado en los últimos años por la actividad humana, produciéndose a valocidad tal que los ecosistemas no tienen tiempo de adaptarse [5]. Las precipitaciones, además, no son uniformes sino que aumentan en zonas donde ya son muy abundantes y disminuyen en las regiones más secas [5].

Ante esta situación se plantea la cuestión de cuáles de estos efectos podríamos ser capaces de predecir y en qué proporción para, si bien no subsanar completamente, si ser capaces de paliar en cierta medida conociendo con anterioridad ciertos datos climatológicos que ayudarán a las diferentes tomas de decisiones de los viticultores.

De esta manera, siendo conocedores a corto o medio plazo la humedad y la temperatura superficial del suelo, entre otras variables, podríamos adaptar los sistemas de riego para adecuarlos a las necesidades de los cultivos y por otro lado, gestionar de forma adecuada los recursos hídricos nacionales (en este caso de la zona hidrográfica del Duero) al mismo tiempo que protegemos a las vides de plagas y trastornos fisiológicos debidos a diferentes factores como la humectación o la temperatura del suelo.

En este proyecto se propone el análisis de los datos de temperatura y humedad del suelo procedentes de sensores IoT (*Internet of Things*) desplegados en un viñedo situado en la zona sur de la provincia de Burgos, para, de esta forma, obtener modelos predictivos que nos permitan conocer el comportamiento de ciertas variables en función de otras y anticipar su evolución futura a corto plazo.

## 1.1. Estructura de la memoria

La memoria del proyecto cuenta con la siguiente estructura:

- Introducción: descripción del problema que el proyecto pretende resolver junto con la estructuración de la memoria y los materiales adjuntos.
- Objetivos del proyecto: descripción de los objetivos a cumplir con el desarrollo del proyecto.
- Conceptos teóricos: explicación de los conceptos teóricos necesarios para la comprensión del proyecto, el problema a abordar y la solución propuesta.

- Técnicas y herramientas: listado de técnicas y herramientas empleadas durante el desarrollo del proyecto.
- Aspectos relevantes del desarrollo: aspectos a destacar durante la realización del proyecto.
- Trabajos relacionados: trabajos relacionados con el problema que aborda el proyecto.
- Conclusiones y líneas de trabajo futuras: conclusiones obtenidas de la realización del proyecto y posibilidades de ampliarlo o de introducir mejoras.

Además de la memoria, se incluyen una serie de anexos:

- Plan de proyecto software: planificación temporal y estudio de viabilidad del proyecto.
- Especificación de los requisitos del software: descripción de la fase de análisis (objetivos y requisitos funcionales y no funcionales).
- Especificación del diseño: descripción de la fase del diseño.
- Manual del programador: aspectos relevantes del código fuente del proyecto.
- Manual de usuario: guía de usuario para el manejo de la aplicación asociada al proyecto

## 1.2. Materiales adjuntos

El proyecto incluye el siguiente contenido:

- Python Notebook con el pre-procesamiento de datos y las diferentes expliciones.
- Python Notebook con el modelado de la Red Neuronal Artificial empleada para la regresión de humedad y temperatura y las explicaciones correspondientes.
- Conjunto de datos de los sensores desplegados en el viñedo.
- Conjunto de datos del pluviómetro desplegado en el viñedo.

Los recursos mencionados se encuentran disponibles en GitHub [6].





---

# Objetivos del proyecto

---

El proyecto aborda diferentes objetivos. Podemos hacer una distinción entre objetivos generales, objetivos técnicos y objetivos personales.

## 2.1. Objetivos generales

- Realizar un análisis de datos para ser capaces de predecir la temperatura y humedad del suelo en un viñedo.
- Facilitar la comprensión de los datos recogidos mediante representaciones gráficas.
- Buscar las correlaciones entre las diferentes medidas obtenidas y las diferentes variables ambientales y/o de características del suelo.
- Encontrar modelos predictivos que permitan explicar el comportamiento de ciertas variables en función de las otras y anticipar la evolución futura a corto plazo.

## 2.2. Objetivos técnicos

- Realizar visualizaciones de los datos recogidos por los sensores IoT (*Internet of Things*) desplegados en el viñedo.
- Realizar un pre-procesamiento de datos mediante librerías de manipulación de datos de Python como Pandas.

- Modelar una Red Neuronal Artificial con Keras que permita predecir la humedad y temperatura del suelo gracias a los datos proporcionados.
- Emplear Git como sistema de control de versiones distribuido mediante la plataforma GitHub.
- Emplear ZenHub para la gestión de proyectos mediante las metodologías ágiles.
- Aplicar en la medida de lo posible las metodologías ágiles mediante la técnica Scrum aprendida durante el desarrollo del grado (ciertos aspectos como las "*daily*" no pueden aplicarse debido al carácter del TFG).

## 2.3. Objetivos personales

- Emplear los conocimientos y técnicas adquiridas durante el desarrollo de los diferentes cursos del Grado en Ingeniería Informática.
- Profundizar en el uso de la inteligencia artificial para la resolución de problemas cotidianos que tendrá un reflejo en un sistema real (como es el campo del cultivo de la vid).
- Profundizar en la utilización de un lenguaje de programación tan versátil como es Python para el análisis de datos, empleando diferentes librerías nativas y de terceros, así como crear nuevos módulos.
- Profundizar en la librería de Tensorflow que se encuentra tan extendida en los diferentes ámbitos de la vida cotidiana (mundo laboral e investigador).

---

# Conceptos teóricos

---

En aquellos proyectos que necesiten para su comprensión y desarrollo de unos conceptos teóricos de una determinada materia o de un determinado dominio de conocimiento, debe existir un apartado que sintetice dichos conceptos.

Algunos conceptos teóricos de  $\text{\LaTeX}$ <sup>1</sup>.

## 3.1. Secciones

Las secciones se incluyen con el comando `section`.

### Subsecciones

Además de secciones tenemos subsecciones.

### Subsubsecciones

Y subsecciones.

## 3.2. Referencias

Las referencias se incluyen en el texto usando `cite` [7]. Para citar webs, artículos o libros [8].

---

<sup>1</sup>Créditos a los proyectos de Álvaro López Cantero: Configurador de Presupuestos y Roberto Izquierdo Amo: PLQuiz

### 3.3. Imágenes

Se pueden incluir imágenes con los comandos standard de  $\text{\LaTeX}$ , pero esta plantilla dispone de comandos propios como por ejemplo el siguiente:



Figura 3.1: Autómata para una expresión vacía

### 3.4. Listas de items

Existen tres posibilidades:

- primer item.
- segundo item.

1. primer item.
2. segundo item.

**Primer item** más información sobre el primer item.

**Segundo item** más información sobre el segundo item.

■

| Herramientas     | App | AngularJS | API REST | BD | Memoria |
|------------------|-----|-----------|----------|----|---------|
| HTML5            |     | X         |          |    |         |
| CSS3             |     | X         |          |    |         |
| BOOTSTRAP        |     | X         |          |    |         |
| JavaScript       |     | X         |          |    |         |
| AngularJS        |     | X         |          |    |         |
| Bower            |     | X         |          |    |         |
| PHP              |     |           | X        |    |         |
| Karma + Jasmine  |     | X         |          |    |         |
| Slim framework   |     |           | X        |    |         |
| Idiorm           |     |           | X        |    |         |
| Composer         |     |           | X        |    |         |
| JSON             |     | X         | X        |    |         |
| PhpStorm         |     | X         | X        |    |         |
| MySQL            |     |           |          | X  |         |
| PhpMyAdmin       |     |           |          | X  |         |
| Git + BitBucket  |     | X         | X        | X  | X       |
| MikTeX           |     |           |          |    | X       |
| TeXMaker         |     |           |          |    | X       |
| Astah            |     |           |          |    | X       |
| Balsamiq Mockups |     | X         |          |    |         |
| VersionOne       |     | X         | X        | X  | X       |

Tabla 3.1: Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto

### 3.5. Tablas

Igualmente se pueden usar los comandos específicos de  $\text{\LaTeX}$  o bien usar alguno de los comandos de la plantilla.



---

## Técnicas y herramientas

---

### 4.1. Metodologías

#### Scrum

La metodología *Scrum* es un marco de trabajo de desarrollo ágil de software iterativo (dividido en líneas de tiempo denominados *sprints*) e incremental, que surge como antítesis a la gestión de proyectos predictiva (centrada en la planificación, presupuestos y los plazos de entrega) [9, 10].

### 4.2. Control de versiones

### 4.3. Alojamiento del repositorio

- Herramientas consideradas: GitHub, Bitbucket, GitLab
- Herramienta escogida: GitHub

### 4.4. Gestión del proyecto

### 4.5. Comunicación

La comunicación durante desarrollo del proyecto se realiza via e-mail, debido a la rapidez, versatilidad y facilidad de la comunicación, además de la familiaridad de las partes con el medio de comunicación. Para las tutorías telemáticas se escogió emplear Microsoft Teams por la existencia de

forma predefinida de una cuenta de usuario de la Suite Office de Microsoft proporcionada por la Universidad.

## 4.6. Entorno de desarrollo

Debido a la flexibilidad que aporta Visual Studio Code (editor de texto bajo licencia MIT desarrollado por Microsoft [11]) gracias a el entorno proporcionado de forma nativa y a las extensiones disponibles de Microsoft y terceros, se ha optado por emplearlo para el desarrollo de los scripts de Python, los Python Notebooks, la documentación del repositorio en Markdown y la realización de la memoria en LaTeX.

En cuanto al intérprete Python se ha empleado **Python 3.9.13** mediante un entorno virtual que permite instalar las dependencias sin modificar el entorno base.

En lo referente a la compilación de los ficheros LaTeX, se ha optado por emplear MikTeX debido a la facilidad de actualización e instalación de dependencias. Para la integración del compilador de LaTeX con Visual Studio Code se emplea **LaTeX Workshop**, puesto que permite la compilación automática al guardar los cambios en los ficheros sin realizar ninguna configuración explícita.

## 4.7. Librerías

### Pandas

Pandas es una herramienta de análisis de datos escrita en Python que ofrece estructuras de datos y operaciones para manipular tablas numéricas y series temporales [12].

### Tensorflow

Tensorflow es una librería de código abierto para aprendizaje automático desarrollada por Google [13].

### Matplotlib

Matplotlib es una librería para generar gráficos bidimensionales en Python a partir de diferentes estructuras de datos como listas [14].



## Json

El módulo JSON de Python proporciona una *API* (interfaz de programación de aplicaciones) para manejar objetos en formato JSON (*JavaScript Object Notation*) [15].

## Os

El módulo OS de Python proporciona una manera portable de emplear la funcionalidad del sistema operativo [16].

## 4.8. Restful API

Para obtener los datos meteorológicos de la zona en la que se sitúa el viñedo y poder realizar la comparación con las muestras obtenidas en el pluviómetro desplegado se han estudiado diferentes opciones:

- [OpenWeatherMap](#)
- [Weatherbit](#)
- [AEMET OpenData](#)

Todas las opciones requieren de una petición al servidor mediante HTTPS o HTTP, sin embargo, en el primer caso a pesar de que se muestran los datos en una frecuencia de una hora, el limitante se encuentra en que solo permite recuperar hasta un año atrás. En el segundo caso los requerimientos se cumplen al completo, pero tras contactar con el soporte de la *API* no hay respuestas que permitan el acceso al *endpoint* correspondiente.

Finalmente la última opción proporciona datos históricos sin límite, la contraparte es que la estación meteorológica consultada se encuentra en Aranda de Duero y se tratan de datos diarios.



---

## Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

---

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros<sup>3</sup>, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.



---

## Trabajos relacionados

---

Este apartado sería parecido a un estado del arte de una tesis o tesina. En un trabajo final grado no parece obligada su presencia, aunque se puede dejar a juicio del tutor el incluir un pequeño resumen comentado de los trabajos y proyectos ya realizados en el campo del proyecto en curso.



---

## **Conclusiones y Líneas de trabajo futuras**

---

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas. Además, resulta muy útil realizar un informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.





---

## Bibliografía

---

- [1] J. Piqueras, *Historia de la vid y el vino en España edades Antigua y Media*. Valencia: Univeritat de València, 2014, ch. 1.
- [2] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, “El cultivo de la vid en España,” [Online; Accedido 20-marzo-2023]. [Online]. Available: <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/archivos-biblioteca-mediateca/archivos/Cultivo.aspx>
- [3] Mundi-Prensa, *Los parásitos de la vid estrategias de protección razonada*, 5th ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2004, ch. 1, pp. 17–18.
- [4] —, *Los parásitos de la vid estrategias de protección razonada*, 5th ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2004, ch. 3, p. 66.
- [5] I. Z. L. Zúñiga, *Meteorología y climatología*, Ed. digital act.: sept. de 2021 ed., ser. Grado. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2021, ch. 11, pp. 194, 216.
- [6] G. Hernández, “Repositorio del Trabajo Fin de Grado ‘Análisis de datos de temperatura y humedad de suelo procedentes de sensores IoT desplegados en un viñedo’ por Gabriel Hernández Vallejo.” [Online]. Available: <https://github.com/GabiHV/TFG22-23>
- [7] Wikipedia, “Latex — wikipedia, la enciclopedia libre,” 2015, [Internet; descargado 30-septiembre-2015]. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=LaTeX&oldid=84209252>
- [8] J. R. Koza, *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.

- [9] Wikipedia contributors, “Scrum (software development) — Wikipedia, the free encyclopedia,” 2023, [Online; accessed 24-March-2023]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scrum\\_\(software\\_development\)&oldid=1144400875](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scrum_(software_development)&oldid=1144400875)
- [10] M. Palacio, *Scrum Master*. Iubaris Info 4 Media SL, 2021, ch. 1, p. 11.
- [11] Wikipedia contributors, “Visual studio code — Wikipedia, the free encyclopedia,” 2023, [Online; accessed 24-March-2023]. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Visual\\_Studio\\_Code&oldid=1145496466](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Visual_Studio_Code&oldid=1145496466)
- [12] Wikipedia, “Pandas (software) — wikipedia, la enciclopedia libre,” 2023, [Internet; descargado 24-marzo-2023]. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pandas\\_\(software\)&oldid=148434974](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pandas_(software)&oldid=148434974)
- [13] —, “Tensorflow — wikipedia, la enciclopedia libre,” 2021, [Internet; descargado 24-marzo-2023]. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=TensorFlow&oldid=139184038>
- [14] —, “Matplotlib — wikipedia, la enciclopedia libre,” 2022, [Internet; descargado 24-marzo-2023]. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Matplotlib&oldid=146868590>
- [15] P. S. Foundation, “json — json encoder and decoder,” 2023. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/json.html#module-json>
- [16] —, “os — miscellaneous operating system interfaces,” 2023. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/os.html?highlight=os#module-os>