



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERÍA INFORMÁTICA

# Dockerización de Aplicación Paralela y Distribuida para Clasificación de EEGs: Análisis de Viabilidad y Rendimiento

---

DockEEG

**Autor**

Fernando Cuesta Bueno

**Director**

Juan José Escobar Pérez



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE  
TELECOMUNICACIÓN

---

Granada, septiembre de 2025







UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

# DockEEG

---

Dockerización de Aplicación Paralela y Distribuida para  
Clasificación de EEGs: Análisis de Viabilidad y Rendimiento

**Autor**

Fernando Cuesta Bueno

**Director**

Juan José Escobar Pérez



# **DockEEG: Dockerización de Aplicación Paralela y Distribuida para Clasificación de EEGs: Análisis de Viabilidad y Rendimiento**

Fernando Cuesta Bueno

**Palabras clave:** palabra\_clave1, palabra\_clave2, palabra\_clave3, .....

## **Resumen**

Poner aquí el resumen.





# **DockEEG: Dockerization of a Parallel and Distributed Application for EEG Classification: Feasibility and Performance Analysis**

Fernando Cuesta Bueno

**Keywords:** Keyword1, Keyword2, Keyword3, ....

## **Abstract**

Write here the abstract in English.



---

Yo, **Fernando Cuesta Bueno**, alumno de la titulación Graduado en Ingeniería Informática de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 77150866B, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Fernando Cuesta Bueno

Granada a 5 de septiembre de 2025.



---

D. **Juan José Escobar Pérez**, Profesor del Área de XXXX del Departamento de Lengua de la Universidad de Granada.

**Informa:**

Que el presente trabajo, titulado ***Título del proyecto, Subtítulo del proyecto***, ha sido realizado bajo su supervisión por **Nombre Apellido1 Apellido2 (alumno)**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a X de mes de 202 .

**Los directores:**

**Nombre Apellido1 Apellido2 (tutor1)**      **Nombre Apellido1 Apellido2 (tutor2)**



# Agradecimientos

Poner aquí agradecimientos...





# Índice general

<b>Acrónimos</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Motivación . . . . .	3
1.2. Objetivos . . . . .	3
1.2.1. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>2. Gestión del Proyecto</b>	<b>5</b>
2.1. Tareas . . . . .	5
2.2. Planificación temporal . . . . .	5
2.3. Estimación de costes . . . . .	5
<b>3. Estado del arte</b>	<b>9</b>
3.1. Sección . . . . .	9
3.1.1. Sub-seccion . . . . .	9
<b>4. Propuesta principal</b>	<b>11</b>
4.1. Background . . . . .	11
4.2. Herramientas utilizadas . . . . .	11
4.3. Implementación . . . . .	11
<b>5. Experimentación</b>	<b>13</b>
5.1. Setup experimental . . . . .	13
5.1.1. Escenario 1: bla bla bla ... . . . .	13
5.2. Resultados y discusión . . . . .	13
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>15</b>
6.1. Contribuciones . . . . .	15
6.2. Retos y trabajo futuro . . . . .	15
<b>7. Bibliografía</b>	<b>17</b>
<b>A. Anexo A</b>	<b>19</b>



# Índice de figuras



# Índice de tablas

2.1. Planificación temporal de tareas y horas estimadas . . . . .	5
2.2. Costes estimados de hardware para el proyecto . . . . .	7
2.3. Costes estimados de recursos humanos para el proyecto . . .	7
2.4. Coste total estimado del proyecto . . . . .	7



# Acrónimos

[Ejemplo de introducción y referencia de acrónimos Programmable Logic Controller (PLC). Para introducir nuevos acrónimos, ir al fichero `acro_list.tex`]

**PLC** Programmable Logic Controller





# Capítulo 1

## Introducción

[La introducción tiene que poner en contexto al lector contando, a modo de historia, el origen y contexto del problema, motivando por qué es necesario abordarlo y finalizando con lo que se propone en el proyecto.

También es importante que sigas cierto orden y estructura a la hora de presentar (introducir) los contenidos, siguiendo un patrón que atienda al qué, para describir el contexto; al por qué, para dar razón o motivar el trabajo, y al por tanto, para definir objetivos consecuentes con la motivación y el contexto del trabajo. ]

### 1.1. Motivación

[Opcional si se ha motivado la realización del proyecto en los párrafos anteriores.]

### 1.2. Objetivos

Analizar la viabilidad y las limitaciones del uso de contenedores, concretamente Docker, para encapsular y ejecutar aplicaciones de alto rendimiento (HPC) en arquitecturas heterogéneas modernas —como big.LITTLE— y entornos multiplataforma, con el fin de facilitar su portabilidad, uso y adopción por parte de la comunidad científica.

#### 1.2.1. Objetivos específicos

- **OB1.** Investigar el estado actual de la tecnología de contenedores, especialmente Docker, y su aplicación en entornos de computación de alto rendimiento.

- **OB2.** Estudiar el comportamiento de aplicaciones HPC ejecutadas en contenedores sobre sistemas operativos mayoritarios: Microsoft Windows, Linux y macOS.
- **OB3.** Analizar el impacto de las arquitecturas heterogéneas big.LITTLE en el rendimiento de aplicaciones HPC containerizadas, investigando específicamente los problemas de detección de núcleos de eficiencia y el balanceamiento de carga de trabajo entre núcleos de alto rendimiento y eficiencia energética.
- **OB4.** Analizar las capacidades de Docker para aprovechar recursos hardware avanzados, como núcleos eficientes y GPUs (integradas y dedicadas), en diferentes plataformas y arquitecturas.
- **OB5.** Detectar y documentar los problemas de compatibilidad y portabilidad que dificultan la creación de imágenes Docker universales para entornos heterogéneos.
- **OB6.** Proponer recomendaciones o estrategias para mejorar la ejecución y portabilidad de aplicaciones HPC en entornos contenedorizados y heterogéneos.
- **OB7.** Caracterizar el soporte GPU en contenedores, evaluando las limitaciones y capacidades de Docker para el aprovechamiento de recursos GPU tanto integrados como dedicados, analizando la compatibilidad con diferentes fabricantes (NVIDIA y AMD) y las restricciones impuestas por los drivers.
- **OB8.** Desarrollar un marco de evaluación que establezca métricas y metodologías de benchmarking para la evaluación sistemática del rendimiento de aplicaciones HPC containerizadas en arquitecturas big.LITTLE.
- **OB9.** Analizar la reproducibilidad científica, determinando en qué medida la containerización con Docker contribuye a la reproducibilidad y portabilidad de experimentos científicos computacionales.

## Capítulo 2

# Gestión del Proyecto

### 2.1. Tareas

Tareas del OB1 (X):

- 1. X
- 2. Y

### 2.2. Planificación temporal

Tarea	Horas estimadas
Tarea 1	20
Tarea 2	15
Tarea 3	35
Tarea 4	20
Tarea 5	10
Tarea 6	5
<b>Total</b>	<b>105</b>

Tabla 2.1: Planificación temporal de tareas y horas estimadas

### 2.3. Estimación de costes

Los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto son:

**Hardware**

- Ordenador portátil LG Gram 14Z90Q-G.AA75B, este equipo se utilizará para el desarrollo general del trabajo: creación del código para las pruebas, gestión de las pruebas en el clustery creación de la memoria. Cuenta con un procesador Intel Core i7-1260P, 16 GB de RAM y 512 GB de almacenamiento SSD.
- Ordenador portátil Lenovo Legion 5, será el equipo donde se ejecutarán las pruebas TODO. Cuenta con un procesador AMD Ryzen 7 4800H, 16 GB de RAM, 512 GB de almacenamiento SSD y una tarjeta gráfica NVIDIA RTX 2060 con 6 GB de VRAM.
- Ordenador portátil Apple MacBook Air M4, será el equipo de pruebas en entornos Apple. Cuenta con un procesador Apple M4 de TODO.
- Cluster de computación con 4 nodos, cada uno con TODO.

Para la ejecución de las pruebas en un cluster de computación, no se ha podido contar en el que pone la Universidad de Granada a disposición de los estudiantes, por lo que se ha optado por hacer uso de un cluster de computación en la nube, concretamente el servicio de Digital Ocean <sup>1</sup>. Este servicio permite crear y gestionar clusters de computación con diferentes configuraciones de hardware, lo que facilita la ejecución de aplicaciones HPC en entornos distribuidos. Además, ofrece 200\$ de crédito inicial para estudiantes, lo que permite realizar pruebas y experimentos sin coste adicional.

### Software

- Sistema operativo Ubuntu 24.04 LTS. Será la distribución Linux principal con la que vamos a trabajar, tanto en forma nativa, así como en los contenedores y en el cluster de computación.
- Sistema operativo Microsoft Windows 11. Será la distribución con la que se ejecutarán las pruebas de compatibilidad y rendimiento en entornos Windows.
- Sistema operativo macOS TODO. Será la distribución con la que se ejecutarán las pruebas de compatibilidad y rendimiento en entornos Apple.

### Recursos humanos.

En cuanto al software, los sistemas operativos Microsoft Windows 11 y macOS TODO vienen incluidos en los dispositivos correspondientes, por lo que no se ha considerado un coste adicional. El sistema operativo Ubuntu 24.04 LTS es de código abierto y gratuito, por lo que tampoco se ha considerado un coste adicional.

---

<sup>1</sup><https://www.digitalocean.com/>

Dispositivo	Descripción	Coste (€)
LG Gram 14Z90Q-G.AA75B	Portátil principal de desarrollo	1 200
Lenovo Legion 5	Portátil de pruebas	1 000
Apple MacBook Air M4	Portátil de pruebas Apple	1 059
Cluster de computación (4 nodos)	Nube Digital Ocean	400
<b>Total</b>		<b>2 600</b>

Tabla 2.2: Costes estimados de hardware para el proyecto

### Recursos humanos

En la tabla 2.3 se detalla el coste por hora, las horas estimadas y el coste total de los recursos humanos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Recurso	Puesto	/h	Horas	Total (€)
Fernando Cuesta Bueno	Desarrollador	30	100	3 000
Juan José Escobar Pérez	Tutor/Supervisor	40	50	2 000
<b>Total</b>				<b>5 000</b>

Tabla 2.3: Costes estimados de recursos humanos para el proyecto

### Coste total del proyecto

El coste total del proyecto se calcula sumando los costes de hardware, software y recursos humanos. En la tabla 2.4 se detalla el coste total estimado.

Concepto	Coste (€)
Hardware	2 600
Software	0
Recursos humanos	5 000
<b>Total</b>	<b>7 600</b>

Tabla 2.4: Coste total estimado del proyecto



## Capítulo 3

# Estado del arte

[En el estado del arte se necesita hacer un estudio tanto sobre la tecnología que soporta el proyecto como sobre el problema que se aborda en él. Se puede estructurar por secciones y se aconseja utilizar referencias a los documentos e información que se describe aquí.]

Como norma general y más en proyectos con carácter investigador, se recomienda añadir un párrafo por cada documento/referencia que estudie del estado del arte, finalizando esta sección con un párrafo explicativo de la novedad/característica que propone, modifica o añade el proyecto sobre dicho estado del arte.]

### 3.1. Sección

#### 3.1.1. Sub-seccion





## Capítulo 4

# Propuesta principal

[En esta sección se ha de introducir y explicar la propuesta principal del trabajo. Se puede y es recomendable dividir en secciones, incluso, este capítulo puede contemplar varios capítulos a su vez.]

### 4.1. Background

### 4.2. Herramientas utilizadas

### 4.3. Implementación



## Capítulo 5

# Experimentación

[Exponer aquí los requisitos, diseño y la implementación de la propuesta realizada. Este capítulo podría integrarse el de la propuesta si es necesario.]

Ejemplo de código en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

### 5.1. Setup experimental

[Se definen aquí los *setups* necesarios así como su configuración para poder evaluar y validar la propuesta de proyecto y objetivos del mismo. Es posible que se divida en secciones correspondientes a escenarios diferentes para evaluar diferentes casos de uso o funcionalidades.]

#### 5.1.1. Escenario 1: bla bla bla ...

### 5.2. Resultados y discusión



## Capítulo 6

# Conclusiones y trabajo futuro

[En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas al llevar a cabo el presente trabajo]

### 6.1. Contribuciones

[En esta sección se presentan las principales contribuciones del trabajo realizado.]

- Contribución 1 ...
- Contribución 2 ...

### 6.2. Retos y trabajo futuro

[Exponer aquí los retos y trabajos futuros.]



## Capítulo 7

# Bibliografía





## Apéndice A

## Anexo A

[En los anexos se expone aquella información que es complementaria a la propia memoria pero que, por su contenido o longitud, no encajan como un capítulo al uso. Piezas de código fuente, explicación en detalle de algoritmos, tablas adicionales, etc., son algunos ejemplos de información que podría ir en un anexo.]



