

**Grado en Ingeniería Informática de Gestión i Sistemas de Información**

**MODELO DE APRENDIZAJE POR REFUERZO  
IMPLEMENTADO EN LA NAVEGACIÓN DE ROBOTS AUTÓNOMOS**

**Estudio de la viabilidad**

**David Alexander Niño Chaves**

**Tutor: Xavier Font Aragonés**

**2023 / 2024**



# Índice

Índice de figuras .....	III
Índice de tablas .....	V
Glosario de términos .....	VII
1. Planificación .....	9
1.1. Planificación inicial .....	9
1.2. Desviaciones .....	10
2. Análisis de la viabilidad económica .....	13
2.1. Presupuesto .....	13
2.1.1. Coste personal .....	13
2.1.2. Coste de la maquinaria y programas.....	14
2.1.3. Coste de otros recursos .....	15
2.1.4. Coste final.....	17
3. Análisis de la viabilidad técnica .....	19
4. Análisis de la viabilidad medioambiental.....	21
5. Aspectos legales.....	23
6. Impacto de la perspectiva de género y la diversidad .....	25
7. Bibliografía .....	26



## Índice de figuras

Fig 1.1 Cronología de la planificación del proyecto. Fuente propia. ....	9
Fig 1.2 Diagrama de Gantt de la planificación. Fuente propia.....	10



## Índice de tablas

Tabla 1.1 Tabla de coste total personal. Fuente propia. ....	13
Tabla 1.2 Cálculo de coste de AGV en un uso de 4 meses. Fuente propia. ....	14
Tabla 1.3 Cálculo de coste de portátil en un uso de 6 meses. Fuente propia. ....	14
Tabla 1.4 Numeración y cálculo de coste en productos de licencia usados en 6 meses. Fuente propia. ....	15
Tabla 1.5 Costes de nave y servicios en "Nave Plàstic". Fuente propia.....	16
Tabla 1.6 Costes de nave y servicios en "Nave Xarol". Fuente propia. ....	16
Tabla 1.7 Cálculo total costos de las naves a usar durante 6 meses. Fuente propia.....	17
Tabla 1.8 Numeración y cálculo final de costes del proyecto. Fuente propia. ....	17



## **Glosario de términos**

RL	Reinforcement Learning
AGV	Automatic Guided Vehicle
PLC	Programmable Logic Controller



# 1. Planificación

## 1.1. Planificación inicial

Para llevar a cabo una planificación inicial efectiva del proyecto, se utilizarán como referencia los objetivos establecidos en la sección “**Error! Reference source not found.**” de la memoria final. Dado que en este punto se ha explicado cómo seguir los pasos para el desarrollo adecuado del proyecto, pero no se ha proporcionado información sobre la duración ni la cronología de estos, se detallarán en esta sección.

Dado que la experiencia en el ámbito del aprendizaje por refuerzo es limitada y la planificación de proyectos es un área en la que personalmente se ha tenido escasa participación, los tiempos y la asignación de tareas pueden estar sujetos a modificaciones a lo largo del desarrollo.

A pesar de esta clara falta de experiencia, se dará una alta consideración a las recomendaciones y pasos proporcionados en reuniones con el tutor del proyecto. También se tendrá en cuenta el estudio de otras publicaciones sobre implementaciones de diversos proyectos.

Puesto que es un proyecto de informática, con el objetivo de implementar un modelo de aprendizaje para robots móviles, uno de los recursos más necesarios será un robot para realizar las pruebas, además del ordenador para realizar tanto los análisis, desarrollo e implementaciones.

La cronología de las tareas serán las siguientes:

Nombre de la etapa	Fecha de inicio	Fecha finalización	Días dedicados	Horas dedicadas	Recursos necesarios
<b>Puesta a Punto</b>	15/01/2024	02/02/2024	19	36,75	
Obtención de puesto de trabajo	15/01/2024	17/01/2024	3	10,5	AGV
Mapeo del puesto de trabajo y puesta a punto del AGV	18/01/2024	19/01/2024	2	7	Portátil
Investigación de los paquetes necesarios e instalarlos en el entorno de prueba	22/01/2024	26/01/2024	5	8,75	Internet
Configuración de AGV con el sistema actual, implementación de los indicadores y pruebas	22/01/2024	30/01/2024	9	10,5	
<b>Investigación, desarrollo y resultados de los algoritmos</b>	31/01/2024	15/04/2024	74	296	Python, framework Pytorch
Diseño del protocolo de comunicación entre programas	31/01/2024	03/02/2024	4	16	
Desarrollo de la comunicación entre programas	04/02/2024	19/02/2024	16	64	
Diseño y desarrollo del software de los programas	20/02/2024	27/02/2024	8	32	
Investigación de implementaciones en robótica con RL	28/02/2024	08/03/2024	10	40	
Desarrollo NAF, DQN	11/03/2024	31/03/2024	21	84	
<b>Entrega de Memoria 2: Memoria intermedia</b>	15/03/2024	15/03/2024			
Desarrollo Agent-Critic	01/04/2024	15/04/2024	15	60	
<b>Análisis de los datos</b>	16/04/2024	30/04/2024	13	45,5	
Recopilación y estructuración de los datos obtenidos en las pruebas	16/04/2024	19/04/2024	4	14	Excel, Power BI
Creación de tablas y gráficos estadísticos	22/04/2024	25/04/2024	4	14	
Conclusiones de los datos y benchmarks extraídos	26/04/2024	30/04/2024	5	17,5	
<b>Desarrollo de la interfaz visual</b>	01/05/2024	17/05/2024	17	68	
Realización de prototipaje de la interfaz	01/05/2024	05/05/2024	5	20	Navegador i herramienta de prototipado
Recoger información de stakeholders enseñando diferentes prototipos	06/05/2024	08/05/2024	3	12	
Implementar y desarrollar la interfaz escogida	09/05/2024	15/05/2024	7	28	Visual Studio
Mostrar la solución propuesta a los stakeholders y extraer testimonios y posibles mejoras	16/05/2024	17/05/2024	2	8	
<b>Pruebas en entorno real</b>	20/05/2024	31/05/2024	12	60	
Puesta a punto e instalaciones del modelo de aprendizaje en un AGV de instalación	20/05/2024	22/05/2024	3	15	
Inicio de pruebas y recogida de datos	23/05/2024	28/05/2024	6	30	
Conclusiones de los datos y benchmarks extraídos	29/05/2024	31/05/2024	3	15	
Revisión y mejoras de la entrega Memoria Final	01/06/2024	03/06/2024	3	10,5	
<b>Entrega de la Memoria Final</b>	03/06/2024	03/06/2024			
<b>Total del Proyecto</b>	15/01/2024	03/06/2024	138	516,75	

Fig 1.1 Cronología de la planificación del proyecto. Fuente propia.

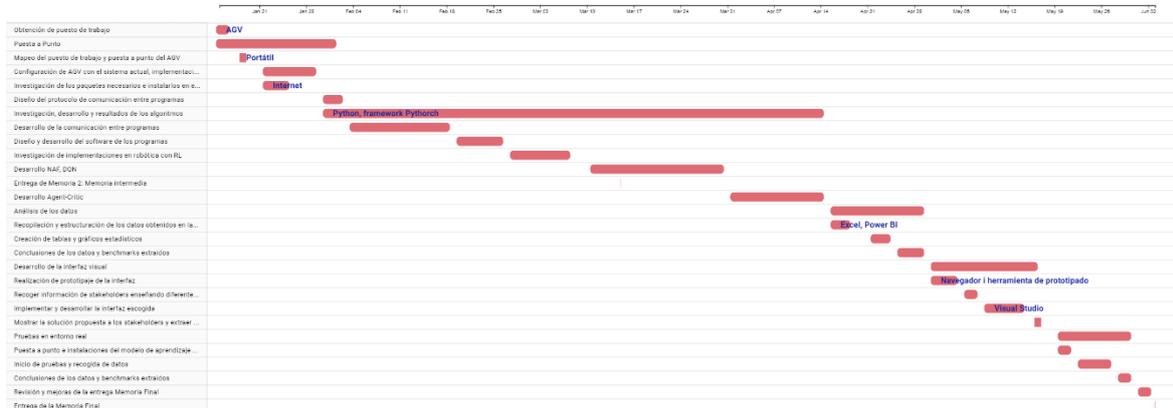


Fig 1.2 Diagrama de Gantt de la planificación. Fuente propia.

## 1.2. Desviaciones

Este proyecto ha experimentado varios retrasos e inconvenientes a lo largo de los meses. En esta sección se explicarán las principales problemáticas que han surgido y la forma de afrontarlas.

Desde la puesta a punto, en el proceso de actualización del AGV para las primeras pruebas, surgieron problemas, ya comentados en la memoria, relacionados con la actualización del proyecto del PLC. Estos problemas provocaron un retraso de aproximadamente cinco días adicionales a lo planificado, lo que retrasó el inicio del trabajo de desarrollo.

A pesar de este retraso, estaba dentro de los márgenes de error aceptables para el proyecto. Sin embargo, durante la fase de desarrollo surgieron nuevas problemáticas. El planteamiento principal del agente del modelo resultó ser incorrecto y no se tenía claro cómo implementar el entorno en la herramienta de Pytorch. Por lo tanto, el desarrollo e investigación del programa del modelo, que estaba planificado para un total de 10 semanas, se extendió a 12 semanas. Este retraso de dos semanas adicionales, sumado a casi una semana extra debido al proceso de actualización, obligó a tomar decisiones sobre la renuncia a ciertos objetivos.

Por lo tanto, se estimó que tanto las pruebas en un entorno real no serían posibles y que el desarrollo de la interfaz visual estaba en duda de la realización. Una vez alcanzada la fecha de inicios de mayo, donde según la planificación inicial se debía comenzar la interfaz visual, se empezaron a realizar las primeras pruebas. Estas pruebas, realizadas con el AGV tipo mouse, no dieron buenos resultados, como se explicó en la memoria, lo que llevó a un cambio de máquina. No se invirtió demasiado tiempo en este cambio, ya que la nueva máquina estaba completamente actualizada y el sistema desarrollado para el AGV tipo mouse era completamente compatible con el apilador.

Estas pruebas no lograban buenos procesos de aprendizaje. Después de varios intentos y tiempo, se obtuvieron resultados concluyentes, que se plasmaron en la memoria. Una vez finalizadas las pruebas, ya era mitad de mayo y quedaba pendiente realizar la mitad de la redacción de la memoria final. Por lo tanto, se descartó el desarrollo de la visualización, tanto por falta de tiempo como por falta de sentido, al no ser una implementación funcional en su mayoría.



## 2. Análisis de la viabilidad económica

Dado que el planteamiento del proyecto se lleva a cabo juntamente con la empresa Artisteril, la cifra obtenida en el punto “6.2.4.- Coste final” es más que viable para la empresa. Al trabajar en las instalaciones de la propia empresa, no se incurre en un sobrecoste, por lo que se ajustaría al presupuesto mensual de la compañía. En relación con el costo del robot AGV, mantener una de estas máquinas para probar nuevos desarrollos se convierte finalmente en una inversión. El propósito de este proyecto es mejorar no solo la navegación de los robots, sino también reducir el tiempo de implementación para que funcionen correctamente en las instalaciones. Como objetivo secundario que se tiene este proyecto es aumentar el valor del producto, en este caso los AGVs y abrir un camino para que los próximos obtengas una mayor “inteligencia”.

En cuanto al costo del personal, al tratarse de un proyecto académico, no habrá una retribución económica por parte de la empresa más allá del soporte necesario. Por lo tanto, se podría decir que no hay un sobrecoste en este aspecto.

Teniendo en cuenta estos aspectos y dejando claro el respaldo económico proporcionado por la empresa Artisteril, se confirma la viabilidad económica del proyecto.

### 2.1. Presupuesto

En esta sección se consolidará toda la información proporcionada por el departamento de recursos humanos de Artisteril, la empresa que respalda este proyecto.

#### 2.1.1. Coste personal

Actualmente el coste personal del perfil técnico informático que supone a la empresa Artisteril se ha recogido la cifra de 17,52 euros por hora. Por lo tanto, realizando el cálculo del coste por hora y con la planificación inicial realizada en el punto “1.1. Planificación inicial”, más concretamente en la “

Fig 1.1 Cronología de la planificación del proyecto. Fuente propia.” se obtiene el siguiente coste.

Coste personal por hora	Número de horas planificadas	Coste total (€)
17,52 €/hora	508,75 horas	8.913,30

Tabla 2.1 Tabla de coste total personal. Fuente propia.

### 2.1.2. Coste de la maquinaria y programas

En cuanto a la maquinaria utilizada en el proyecto, se hace referencia al robot AGV, que desempeñará un papel clave en todas las validaciones y pruebas. En este caso, se utilizarán los AGV de tipo *mouse* anteriormente mencionados. El coste de estos robots resulta complicado de precisar, ya que los precios de la materia prima y los dispositivos internos tienden a fluctuar. No obstante, se estima en alrededor de 20 mil euros. Es importante tener en cuenta que la vida útil promedio de estos robots es de aproximadamente tres años, antes de que sea necesario realizar cambios de piezas, llevar a cabo mantenimientos correctivos o reparar componentes clave de su funcionamiento.

Considerando que la duración total del proyecto es de seis meses, de los cuales se empleará la máquina durante cuatro meses, reduciendo así su vida útil, se procederá con el siguiente cálculo de coste de utilización:

Precio robot	Amortización/Vida útil (3 años)	Coste de utilización (4 meses)
20.000 €	6.666,66 €/año	2.222,22 €

Tabla 2.2 Cálculo de coste de AGV en un uso de 4 meses. Fuente propia.

Por otro lado, también se hace uso de un portátil proporcionado por la empresa. Este ordenador se adquiere mediante la modalidad de *renting* a 3 años, con un costo de mil euros. Se aplicará la fórmula anterior, teniendo en cuenta que el portátil tendrá un uso completo de seis meses:

Precio portátil	Renting (3 años)	Coste de utilización (6 meses)
1.000 €	333,33 €/año	166,67 €

Tabla 2.3 Cálculo de coste de portátil en un uso de 6 meses. Fuente propia.

En lo que respecta a los programas utilizados, se emplea la versión gratuita del entorno de desarrollo (*Visual Studio 2019 Community*). No obstante, gran parte del ecosistema utilizado pertenece a Microsoft. Específicamente, Artisteril utiliza el plan “Microsoft 365 Empresa Estándar”, que tiene un costo de 11,70 euros por usuario al mes. Además, es necesario considerar el alojamiento del repositorio del código de la empresa, para lo cual se utiliza

*GitHub* con el plan “equipo”, que tiene un costo de 3,67 dólares al mes, equivalente a 3,35 euros al cambio actual. Con estos datos recopilados, se realizan los siguientes cálculos:

<b>Producto</b>	<b>Precio al mes</b>	<b>Coste total en 6 meses</b>
Microsoft 365	11,70 €	70,20 €
GitHub Team	3,35 €	20,10 €

Tabla 2.4 Numeración y cálculo de coste en productos de licencia usados en 6 meses. Fuente propia.

### 2.1.3. Coste de otros recursos

En relación con estos costos, se clasificarán como “otros recursos” aquellos utilizados para el funcionamiento de la maquinaria, el portátil y los programas. Para ello, se han considerado las instalaciones y los servicios asociados a estas instalaciones. Es importante aclarar un par de aspectos: actualmente, la empresa Artisteril cuenta con dos naves. La primera, denominada “Nave Plastic” por su ubicación en la calle “*Plàstic*”, es donde se fabrican las máquinas, se almacenan todos los materiales necesarios y donde también se encuentra la oficina. Todas las investigaciones y desarrollos para alcanzar los objetivos del proyecto se llevarán a cabo en esta primera nave. Los gastos asociados a esta nave son los siguientes:

<b>Concepto del coste</b>	<b>Precio mensual</b>
Alquiler	3.866,64 €
Aguas BCN	54,25 €
Naturgy (electricidad)	566,58 €
Telefónica	1.120,24 €
Movistar (Internet)	68,92 €
Eubolar (Limpieza)	204,74 €
Securitas (Alarma de seguridad)	57,50 €

Total	5.372,29 €
-------	------------

Tabla 2.5 Costes de nave y servicios en "Nave Plàstic". Fuente propia.

Por otro lado, la segunda nave, denominada "Nave Xarol" por su ubicación en la calle "Xarol", es un espacio destinado a la realización de pruebas y un área relativamente amplia para probar los robots de manera automatizada. En consecuencia, en la "Nave Xarol" se llevarán a cabo las pruebas de cada desarrollo realizado. Los costos asociados a esta nave son los siguientes:

Concepto del coste	Precio mensual
Alquiler	1.836,00 €
Aguas BCN	27,88 €
Naturgy (electricidad)	170,30 €
Telefónica	-
Movistar (Internet)	-
Eubolar (Limpieza)	48,38 €
Securitas (Alarma de seguridad)	51,10 €
Total	2.133,66 €

Tabla 2.6 Costes de nave y servicios en "Nave Xarol". Fuente propia.

Una vez calculados los costos de cada una de las naves, es necesario tener en cuenta que ambas serán utilizadas de manera equitativa. La mayor parte de la investigación se llevará a cabo en la "Nave Plastic" debido a su comodidad y acceso a internet, mientras que la "Nave Xarol" actualmente no cuenta con esta facilidad. Por lo tanto, se aplicará una ponderación igualitaria para el uso de ambas naves a lo largo de los 6 meses que se ha planificado para la duración del proyecto. Se procede con el siguiente cálculo.

<b>Nave</b>	<b>Precio total al mes</b>	<b>Precio ponderado por uso al mes</b>	<b>Precio total (6 meses)</b>
Plastic	5.372,29 €	2.686,14 €	16.116,84 €
Xarol	2.133,66 €	1.066,83 €	6.400,98 €

Tabla 2.7 Cálculo total costos de las naves a usar durante 6 meses. Fuente propia.

#### 2.1.4. Coste final

Juntando todos los datos recopilados y realizando las ponderaciones explicadas previamente, se obtiene la siguiente tabla:

<b>Concepto del coste</b>	<b>Coste</b>
Coste personal	8.913,30 €
Robot AGV	2.222,22 €
Portátil	166,67 €
Microsoft 365	70,20 €
Github Team	20,10 €
Nave Plastic	16.116,84 €
Nave Xarol	6.400,98 €
<b>Total</b>	<b>33.910,31 €</b>

Tabla 2.8 Numeración y cálculo final de costes del proyecto. Fuente propia.



### 3. Análisis de la viabilidad técnica

La viabilidad técnica de este proyecto se confirma a partir de todo el estudio realizado previamente en el marco teórico. El planteamiento, centrado en el uso de aprendizaje por refuerzo, proporciona un camino claro para alcanzar los objetivos propuestos. Al ser una solución que no requiere de un conjunto de datos muy extensos, como ocurre en las soluciones basadas en imágenes o vídeos, se reduce drásticamente el tiempo de entrenamiento necesario para los algoritmos que requieren el aprendizaje previo.

Además, el conocimiento del lenguaje de programación (*Python*), previamente adquirido durante la carrera y por cuenta propia, además del pleno conocimiento del sistema robótico AGV, recorta significativamente el tiempo de aprendizaje, permitiendo dedicar un tiempo extenso a la formulación de la solución e implementación del modelo de aprendizaje. Como planteamiento inicial, el tiempo estimado mínimo de 32 horas en el desarrollo de los algoritmos, proporciona un margen suficiente para trabajar en ello, así como en la elaboración del documento de la memoria. Por tanto, se puede confirmar que a nivel técnico el proyecto es viable.



## 4. Análisis de la viabilidad medioambiental

Este proyecto debe considerar dos aspectos medioambientales importantes. Por un lado, la producción de los robots representa un impacto significativo, no solo debido a la fabricación del hierro, sino también a la fabricación de los diversos componentes que incluye (sensores láser, PLC, ordenador a bordo, variadores, motores eléctricos, baterías, entre otros). Además, es relevante tener en cuenta el consumo energético asociado a estas máquinas. Mientras están en producción, se mueven utilizando la energía eléctrica de las baterías que poseen, pero una vez completan sus tareas, cargan estas baterías, lo que implica un consumo adicional de electricidad.

Este primer aspecto señala la importancia de plantear mejoras en la navegación con el objetivo de optimizar los movimientos y reducir así la intensidad total de consumo de energía de la máquina.

Por otro lado, se debe considerar la potencia computacional del modelo que se pretende implementar. La eficiencia del modelo en términos de recursos utilizados es un indicador clave, como se explica en el punto “**Error! Reference source not found.. Error! Reference source not found.**”. También se debe tener en cuenta el aspecto computacional durante las pruebas e implementaciones. Por ello, se buscará reducir el costo total de los recursos, asegurándose de que no supere, en ningún caso, más del 30 por ciento de los recursos del sistema. Dado que se están tomando en cuenta estos aspectos, se puede confirmar la viabilidad medioambiental del proyecto.



## 5. Aspectos legales

En cuanto a los aspectos legales, es crucial considerar en primera instancia las licencias de los programas utilizados. En el contexto de este proyecto, se ha optado por la implementación en el lenguaje de programación Python, el cual está sujeto a la licencia “ZERO-CLAUSE BSD LICENSE”. Esta licencia permite el uso, copia, modificación y/o distribución del código generado en este lenguaje [1]. De manera similar, se debe tener en cuenta el uso del *framework* elegido, *PyTorch*, que también utiliza la cláusula de condiciones BSD [2]. Por lo tanto, al emplear programas con modalidad de código abierto, no debería surgir ningún problema legal.

En cuanto al aspecto legal relacionado con el robot AGV, este está sujeto a la norma “ISO 3691-4” [3], que establece reglas a seguir para el uso y la distribución de carretillas industriales sin conductor con el fin de garantizar su total seguridad y la integridad física de quienes están en contacto con los robots. Actualmente, todos los modelos fabricados y desarrollados por la empresa cumplen con estas normas de seguridad. Por lo tanto, con la nueva implementación del modelo de aprendizaje, será necesario mantener una serie de requisitos para garantizar el cumplimiento continuo de las normas de seguridad.

Una vez más, considerando estos aspectos, se puede confirmar la viabilidad del proyecto en lo que respecta a los aspectos legales.



## **6. Impacto de la perspectiva de género y la diversidad**

Dada la naturaleza del proyecto a realizar, que implica la implementación y desarrollo de un modelo de aprendizaje automático para la navegación de un robot autónomo, se podría considerar que el impacto desde la perspectiva de género y la diversidad es prácticamente nulo. A pesar de ello, se establece un objetivo importante: la interfaz de usuario. Al tratarse de una interfaz que involucra interacciones con personas, debe ser completamente accesible para el mayor número de usuarios, especialmente dada la aplicación industrial de estos robots. Con este enfoque, al realizar tanto el prototipaje como el desarrollo de la interfaz, se tomará en cuenta un número diversificado de usuarios para las pruebas de validación. Se buscará contrastar opiniones de diversos colectivos de manera suficientemente amplia para obtener resultados lo más neutrales y representativos posible.

Con este aspecto presente, se confirma un impacto suficientemente importante a tener en cuenta en este proyecto y del que se tomará medidas en cuanto sea el momento de realizar esta interfaz.

## 7. Bibliografía

- [1] «History and License — Python 3.12.1 documentation». Accedido: 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/3/license.html#bsd0>
- [2] «Adding a Contributor License Agreement for PyTorch | PyTorch». Accedido: 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pytorch.org/blog/a-contributor-license-agreement-for-pytorch/>
- [3] *UNE-EN ISO 3691-4:2020 / Normas AENOR*. 2020. Accedido: 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-3691-4-2020-n0065012>