



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

# Implementación de aprendizaje por refuerzo en un Robot

Autor:

Ing. Pablo Daniel Folino

Director:

Ing. Juan Carlos Gómez (INTI,UTN.BA)

Jurados:

Nombre y Apellido (1) (pertenencia (1))

Nombre y Apellido (2) (pertenencia (2))

Nombre y Apellido (3) (pertenencia (3))

*Este trabajo fue realizado en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 22 de junio de 2020 y el 22 de agosto de 2020.*

## Índice

Registros de cambios . . . . .	3
Acta de constitución del proyecto. . . . .	4
Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
Identificación y análisis de los interesados. . . . .	6
1. Propósito del proyecto . . . . .	7
2. Alcance del proyecto . . . . .	7
3. Supuestos del proyecto. . . . .	7
4. Requerimientos . . . . .	8
Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ) . . . . .	8
5. Entregables principales del proyecto . . . . .	9
6. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	9
7. Diagrama de Activity On Node . . . . .	11
8. Diagrama de Gantt. . . . .	11
9. Matriz de uso de recursos de materiales . . . . .	14
10. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	14
11. Matriz de asignación de responsabilidades . . . . .	15
12. Gestión de riesgos . . . . .	16
13. Gestión de la calidad . . . . .	18
14. Comunicación del proyecto . . . . .	23
15. Gestión de Compras . . . . .	23
16. Seguimiento y control. . . . .	24
17. Procesos de cierre . . . . .	26

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	27/06/2020
1.1	Primera versión, hasta el punto 6 del documento.	10/07/2020
1.2	Segunda versión del documento, se corrigen errores hasta el punto 6 y se entrega hasta el ítem 11	31/07/2020
1.3	Se agregó en la sección 4 los requerimientos de documentación. Se modificaron valores en la tabla de la sección 11. Se entrega hasta el ítem 17.	07/08/2020
1.4	Se agrega información de historias de usuarios en la sección 4 Se corrige todo el documento en general.	10/08/2020

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Pablo Daniel Folino que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Implementación de aprendizaje por refuerzo en un Robot”, consistirá esencialmente en la construcción de un prototipo preliminar de un sistema robótico capaz de aprender a moverse en línea recta, hacia adelante y atrás, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 632 hs de trabajo y \$211.939, con fecha de inicio 22 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 02 de agosto de 2021.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Claudio Verrastro  
UTN-FRBA-GIAR

Ing. Juan Carlos Gómez  
Director del Trabajo Final

Nombre y Apellido (1)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (2)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (3)  
Jurado del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El objetivo es probar distintos algoritmos de Aprendizaje por Refuerzo (AR) en una plataforma robótica de bajo costo, utilizarla en un principio para formar recursos humanos dentro del Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica (GIAR). Y una vez afianzada la técnica, hacer una transferencia a los distintos clientes que posee el grupo de investigación, como materias afines de las distintas carreras de grado de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Buenos Aires.

Si bien existe en el mercado técnicas que facilitan el control de movimientos de un robot con buenas prestaciones, pero al cambiar fuertemente las condiciones de contorno el sistema no responde en forma adecuada. Se busca no tener esa limitación con la utilización de herramientas de AR.

El sistema (hardware-software) tiene que ser robusto para que permita realizar las distintas pruebas a las que se va a someter.

Este proyecto está alineado con los objetivos que posee la "Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva"(SeCyT), la "Subsecretaría de Transferencia Tecnológica"(STT) y el "Centro de Investigación, Innovación Educativa"(CIIE) dependientes de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Bs.As.(UTN-FRBA).

En la figura 1, se observa las principales características del modelo de negocio del Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica.

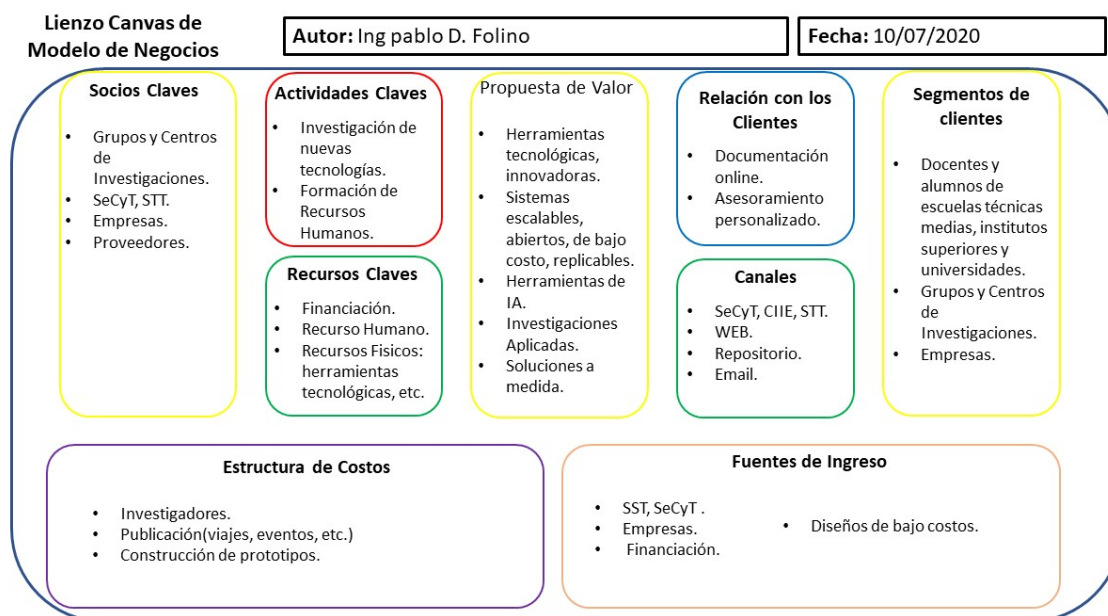


Figura 1: Diagrama modelo de negocios *GIAR*

Se pretende diseñar un Sistema Embebido para desplazar un pequeño robot de 20x15x10 cm (aprox.) traccionado por dos motores de corriente continua en configuración triciclo, con un módulo GPS, y conexión WIFI, como se observa en la figura 2.

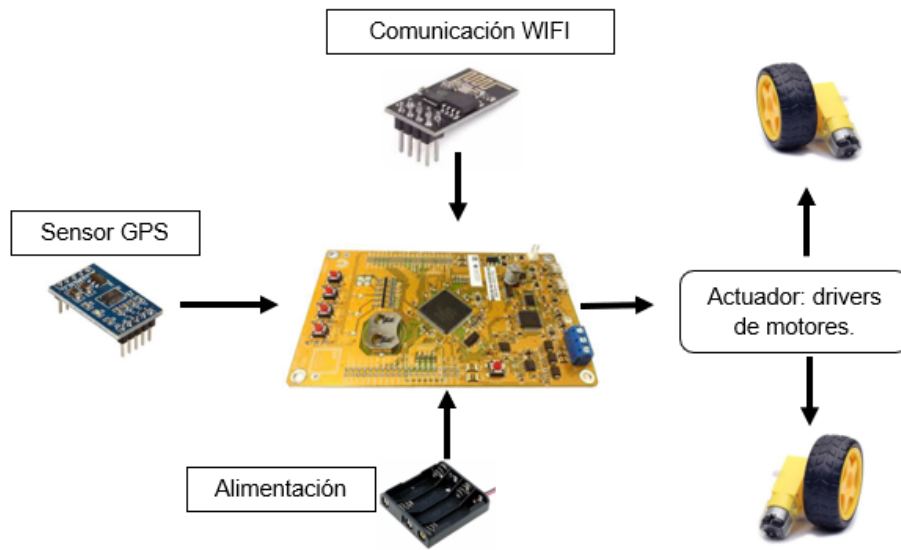


Figura 2: Diagrama conceptual del sistema

El cerebro del sistema será una placa EDU-CIAA-NPX, que recibirá la información de los distintos sensores y controlará los actuadores. Los motores serán controlados por un puente H (driver) mediante pulsos de PWM (modulación de ancho de pulso). La placa recibirá información de comunicación por un módulo WIFI (del tipo ESP8266), y de un módulo GPS. En lo posible, también se instalará un acelerómetro para usarlo en la lógica del algoritmo de AR. El sistema será alimentado por un *pack* de baterías, que serán seleccionadas en función del consumo/autonomía y peso del robot. Además, para poder comparar el sistema de control embebido en la placa principal, se instalará un control PID (Proporcional, Integral y Derivativo), sintonizado a las condiciones estándares de funcionamiento del sistema. El robot estará diseñado para moverse en espacios interiores (*indoor*), en un suelo plano y liso, en condiciones de temperaturas estándares entre 5 °C y 40 °C, y humedad relativa normales (entre 40 % y 70 %).

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Claudio Verrastro	UTN-FRBA-GIAR	-
Impulsor	Secretario de SeCyT	UTN-FRBA-GIAR	-
Responsable	Ing. Pablo Daniel Folino	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Miembros del GIAR	UTN-FRBA	-
Orientador	Ing. Juan Carlos Gómez	INTI,UTN.BA	Director trabajo final
Opositores	Otros Grupos Invest.	UTN-FRBA	-
Usuario final	Alumnos de materia -IA	UTN-FRBA-GIAR	-

- Orientador: Ing. Juan Carlos Gómez, posee mucha experiencia en el tema debido a su trabajo, y formación profesional, pero no posee mucho tiempo.
- Cliente: posee muchas restricciones con respecto a los costos.

## 1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar y probar algoritmos de AR para poder mover un robot, y aplicar los conocimientos en materias de Inteligencia Artificial dictadas en la UTN-FRBA.

## 2. Alcance del proyecto

El objetivo del proyecto comprende:

- Diseñar y armar el prototipo del hardware del robot, tipo triciclo.
- Diseñar e implementar en la placa EDU-CIAA-NXP el software embebido de A.R.
- Diseñar comandos para cambiar el modo de funcionamiento desde línea de comandos, desde una PC.
- Realizar el proyecto dentro del tiempo destinado al mismo.

El proyecto no incluye:

- Realizar pruebas de estructuras de hardware, para saber la vida útil del sistema.
- Diseñar una interface gráfica amigable para cambiar los distintos modos de funcionamiento.
- Diseñar y/o armar el cargador de baterías.
- Carcasa, ni gabinete para el robot.

## 3. Supuestos del proyecto

Se supone para el siguiente proyecto que:

- se posee el presupuesto para comprar todo lo relacionado con el hardware necesario para construir el robot.
- se contará con acceso a todo el equipamiento para la construcción y testeo de los distintos elementos electrónicos.
- la complejidad de la programación se restringirá en función de las horas de trabajo propuestas para hacer este proyecto.
- se podrá conseguir los distintos elementos electrónicos en este contexto de pandemia.

## 4. Requerimientos

### 1. Requerimientos de funcionamiento general

- 1.1. El sistema debe tener una autonomía de por lo menos 10 minutos.
- 1.2. Se debe comunicar en forma inalámbrica.
- 1.3. Debe ser un robot pequeño de dimensiones (no mayor a 25x20x15 cm).
- 1.4. Debe ser un robot liviano (no mayor a 1,25 Kg)

### 2. Grupo de requerimientos asociados con el hardware

- 2.1. El hardware debe ser fácilmente replicable utilizando una impresora 3D.
- 2.2. Debe poseer la menor cantidad de piezas posibles, no mayor a diez.
- 2.3. El cuerpo del robot debe albergar todo el hardware (motores, placa EDU-CIAA, drivers de motores, baterías, etc.) necesario para el funcionamiento normal.
- 2.4. Debe poseer un botón de parada de emergencia de fácil acceso, para interrumpir el funcionamiento del robot en caso de urgencia.

### 3. Grupo de requerimientos asociados con el software

- 3.1. Se programará usando Lenguaje C, utilizando el modelo de capas y las sAPI del proyecto CIAA.
- 3.2. La herramienta de programación en Lenguaje C deberá poseer un modo DEBUG.
- 3.3. El uso de memoria no debe exceder a la placa EDU-CIAA-NXP.

### 4. Requerimientos no funcionales

- 4.1. La estructura del robot no debe tener bordes filosos ni punzantes, que puedan ocasionar lesiones.
- 4.2. La velocidad que desarrolla el robot debe ser inferior a 1 m/seg.

### 5. Requerimientos documentación

- 5.1. Redactar el manual de uso.
- 5.2. Redactar un documento en donde se registre el código fuente.
- 5.3. Redactar un documento técnico que figuren los circuitos esquemáticos, y el armado de la plataforma.

## Historias de usuarios (*Product backlog*)

Criterio: a mayor valor de prioridad, la historia de usuario es más importante. Para el grado de ponderación se toma el criterio horas-hombre (valor de esfuerzo) que supone la implementación de la historia de usuario.

- Historia de usuario 1: Como docente quiero que el robot se pueda conectar a una red local, para poder controlarlo desde una posición remota.
  - Prioridad : 1
  - Ponderación : 5



- Historia de usuario 2: Como alumno quiero poder cambiar las constantes del controlador PID (proporcional, integral y derivativo), para poder sintonizar los movimientos de la plataforma móvil.
  - Prioridad : 2
  - Ponderación : 5
- Historia de usuario 3: Como alumno quiero tener una aplicación gráfica en un dispositivo móvil, para poder manejar los movimientos del robot mediante *wifi* o *bluetooth*.
  - Prioridad : 3
  - Ponderación : 7
- Historia de usuario 4: Como ayudante de laboratorio encargado del robot quiero que se pueda reparar rápidamente, para no perder tiempo.
  - Prioridad : 4
  - Ponderación : 3
- Historia de usuario 5: Como docente quiero poder cambiar las baterías del robot en forma rápida, para no cortar la experiencia en el laboratorio/aula, así los alumnos no pierden el hilo de la explicación .
  - Prioridad : 5
  - Ponderación : 1

## 5. Entregables principales del proyecto

Al final del proyecto se entregará:

- Prototipo del robot.
- Manual de uso.
- Diagrama esquemático.
- Código fuente.
- Diagrama de instalación.
- Informe final.

## 6. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación de tareas. (40 hs)
  - 1.1. Generación del documento de planificación del proyecto. (30 hs)
  - 1.2. Aprobación y revisión del documento de planificación del proyecto. (10 hs)
2. Investigación preliminar del hardware a utilizar. (38 hs)
  - 2.1. Fabricación del robot. (20 hs)

- 2.2. Placas electrónicas(placa principal, microcontrolador, drivers, etc). (10 hs)
- 2.3. Características de los motores. (4 hs)
- 2.4. Características de las baterías. (4 hs)
- 3. Selección y compra de los materiales del hardware. (8 hs)
  - 3.1. Selección de los componentes. (5 hs)
  - 3.2. Compra y adquisición.(3 hs)
- 4. Armado y verificación de la estructura del robot. (28 hs)
  - 4.1. Construcción de las piezas. (15 hs)
  - 4.2. Ensamblaje de piezas. (3 hs)
  - 4.3. Verificación de la estructura. (10 hs)
- 5. Armado y verificación de la electrónica del robot. (10 hs)
  - 5.1. Armado de la placa adaptadora entre EDU-CIAA y los distintos módulos. (5 hs)
  - 5.2. Cableado del robot. (2 hs)
  - 5.3. Verificación de la electrónica. (3 hs)
- 6. Integración del hardware. (2 hs)
- 7. Desarrollo del software (240 hs)
  - 7.1. Módulo PWM. (25 hs)
  - 7.2. Módulo WIFI y protocolo de comunicaciones. (40 hs)
  - 7.3. Módulo GPS. (25 hs)
  - 7.4. Módulo acelerómetro. (25 hs)
  - 7.5. Sensores de fines de carrera. (30 hs)
  - 7.6. Módulo de aprendizaje por refuerzo. (40 hs)
  - 7.7. Módulo PID. (25 hs)
  - 7.8. Integración de los distintos módulos. (30 hs)
- 8. Verificación del software(*Testing*). (75 hs)
  - 8.1. Diseño de pruebas de ensayo de los distintos módulos. (25 hs)
  - 8.2. Diseño de las distintas pruebas de navegación. (30 hs)
  - 8.3. Comparación de las distintas estrategias de navegación. (20 hs)
- 9. Validación del sistema completo. (40 hs)
  - 9.1. Ensayos de verificación del cliente en forma parcial. (20 hs)
  - 9.2. Ensayos de validación final. (20 hs)
- 10. Presentación del trabajo. (151 hs)
  - 10.1. Redacción de informes de avance. (10 hs)
  - 10.2. Redacción de manual de uso. (20 hs)
  - 10.3. Elaboración de circuitos esquemáticos. (20 hs)
  - 10.4. Redacción de memoria del proyecto. (80 hs)
  - 10.5. Preparación de la presentación pública del trabajo final. (20 hs)
  - 10.6. Presentación pública del trabajo final. (1 h)

Cantidad total de horas: (632 hs)

## 7. Diagrama de Activity On Node

En la figura 3, se observa el camino crítico en color rojo. La unidad de tiempo definida en cada tarea es en hora.

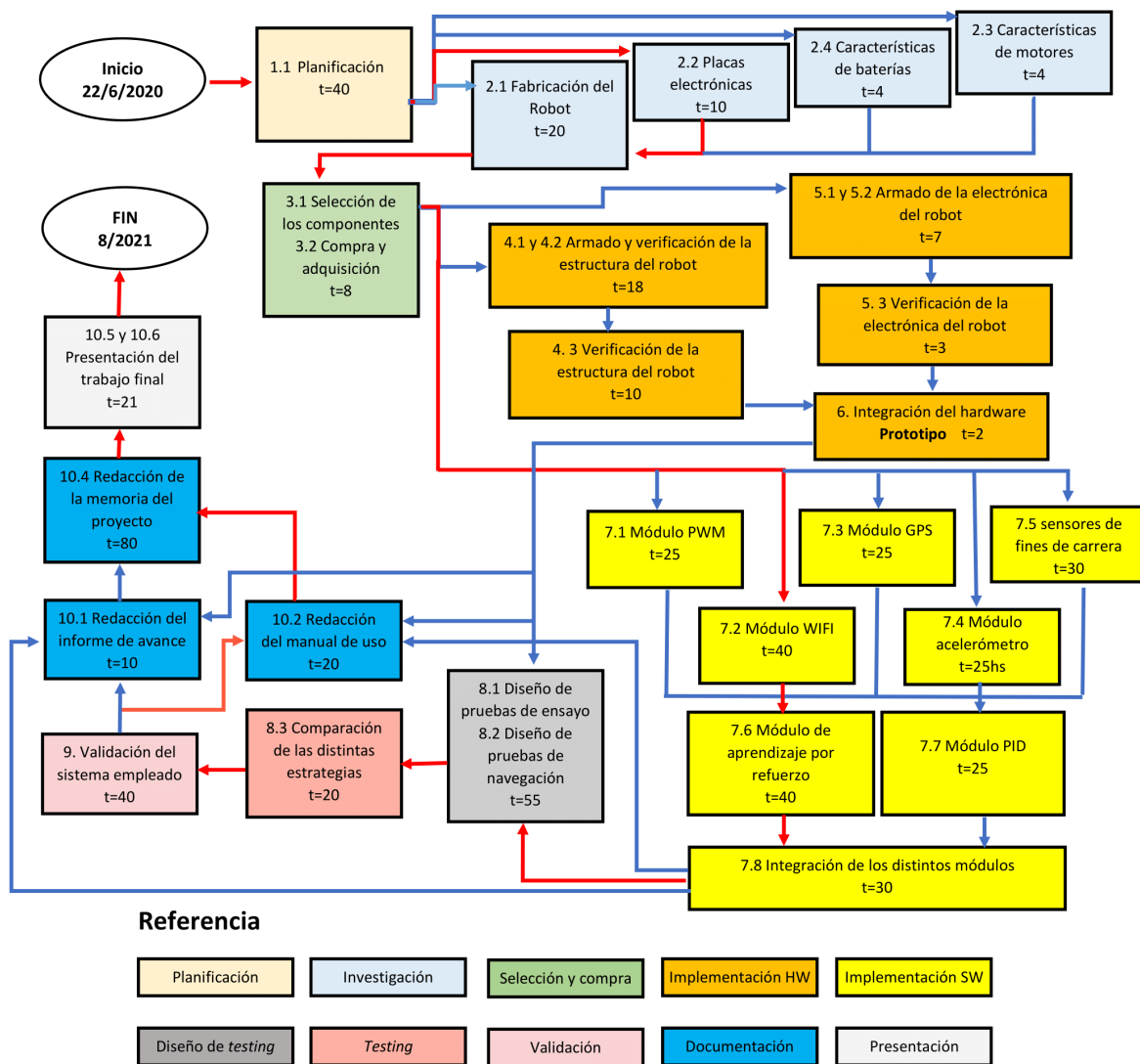


Figura 3: Diagrama de *Activity on Node*

## 8. Diagrama de Gantt

Los datos de la tabla 1 y de la figura 4 se obtuvieron de un software de gestión de proyectos teniendo en cuenta los días no laborables, y con una dedicación semanal de 10 horas reloj.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
<b>Inicio</b>	0 días	lun 22/6/20	lun 22/6/20
<b>1. Planificación de tareas</b>	<b>20 días</b>	<b>lun 22/6/20</b>	<b>mar 21/7/20</b>
1.1 Generación de documento	30 horas	lun 22/6/20	mar 14/7/20
1.2 Aprobación y revisión	10 horas	mié 15/7/20	mar 21/7/20
<b>2. Investigación preliminar del hardware</b>	<b>12 días</b>	<b>mié 22/7/20</b>	<b>jue 6/8/20</b>
2.1 Fabricación del Robot	20 horas	mié 22/7/20	jue 6/8/20
2.2 Placas electrónicas	10 horas	mié 22/7/20	mar 28/7/20
2.3 Características de motores	4 horas	mié 29/7/20	jue 30/7/20
2.4 Características de baterías	4 horas	vie 31/7/20	lun 3/8/20
<b>3. Selección y compra de los materiales</b>	<b>4 días</b>	<b>vie 7/8/20</b>	<b>mié 12/8/20</b>
3.1 Selección de los componentes	5 horas	vie 7/8/20	mar 11/8/20
3.2 Compra y adquisición	3 horas	mar 11/8/20	mié 12/8/20
textbf4. Armado y verificación de la estructura del robot	<b>14 días</b>	<b>jue 13/8/20</b>	<b>mié 2/9/20</b>
4.1 Construcción de las piezas	15 horas	jue 13/8/20	mar 25/8/20
4.2 Ensamblaje de las piezas	3 horas	mar 25/8/20	mié 26/8/20
4.3 Verificación de la estructura	10 horas	jue 27/8/20	mié 2/9/20
<b>5. Armado y verificación de la electrónica del robot</b>	<b>5 días</b>	<b>jue 3/9/20</b>	<b>mié 9/9/20</b>
5.1 Armado de la EDU-CIAA	5 horas	jue 3/9/20	lun 7/9/20
5.2 Cableado del robot	2 horas	lun 7/9/20	mar 8/9/20
5.3 Verificación de la electrónica	3 horas	mar 8/9/20	mié 9/9/20
6. Integración del hardware	2 horas	jue 10/9/20	jue 10/9/20
<b>7. Desarrollo del software</b>	<b>87,5 días</b>	<b>vie 11/9/20</b>	<b>jue 21/1/21</b>
7.1 Módulo PWM	25 horas	vie 11/9/20	mar 29/9/20
7.2 Módulo WIFI	40 horas	vie 11/9/20	jue 8/10/20
7.3 Módulo GPS	25 horas	mar 29/9/20	vie 16/10/20
7.4 Módulo acelerómetro	25 horas	vie 9/10/20	mié 28/10/20
7.5 sensores de fines de carrera	30 horas	lun 19/10/20	vie 6/11/20
7.6 Módulo de aprendizaje por refuerzo	40 horas	jue 26/11/20	mar 29/12/20
7.7 Módulo PID	25 horas	lun 9/11/20	jue 26/11/20
7.8 Integración de los distintos módulos	30 horas	mar 29/12/20	jue 21/1/21
<b>8. Verificación del software</b>	<b>37,5 días</b>	<b>jue 21/1/21</b>	<b>lun 15/3/21</b>
8.1 Diseño de pruebas de ensayo	25 horas	jue 21/1/21	lun 8/2/21
8.2 Diseño de pruebas de navegación	30 horas	mar 9/2/21	lun 1/3/21
8.3 Comparación de las distintas estrategias.	20 horas	mar 2/3/21	lun 15/3/21
textbf9. Validación del sistema empleado	<b>20 días</b>	<b>mar 16/3/21</b>	<b>mié 14/4/21</b>
9.1 Ensayos de verificación del cliente parcial	20 horas	mar 16/3/21	mar 30/3/21
9.2 Ensayos de validación final	20 horas	mié 31/3/21	mié 14/4/21
<b>10. Presentación del trabajo final</b>	<b>75,5 días</b>	<b>jue 15/4/21</b>	<b>lun 2/8/21</b>
10.1 Redacción del informe de avance	10 horas	jue 15/4/21	mié 21/4/21
10.2 Redacción del manual de uso	20 horas	jue 22/4/21	mié 5/5/21
10.3 Elaboración de los circuitos esquemáticos	20 horas	jue 6/5/21	mié 19/5/21
10.4 Redacción de la memoria del proyecto	80 horas	jue 20/5/21	vie 16/7/21
10.5 Preparación de la presentación pública	20 horas	lun 19/7/21	vie 30/7/21
10.6 Presentación pública	1 hora	lun 2/8/21	lun 2/8/21
FIN	0 días	lun 2/8/21	lun 2/8/21

Tabla 1: Inicio y fin de cada tarea

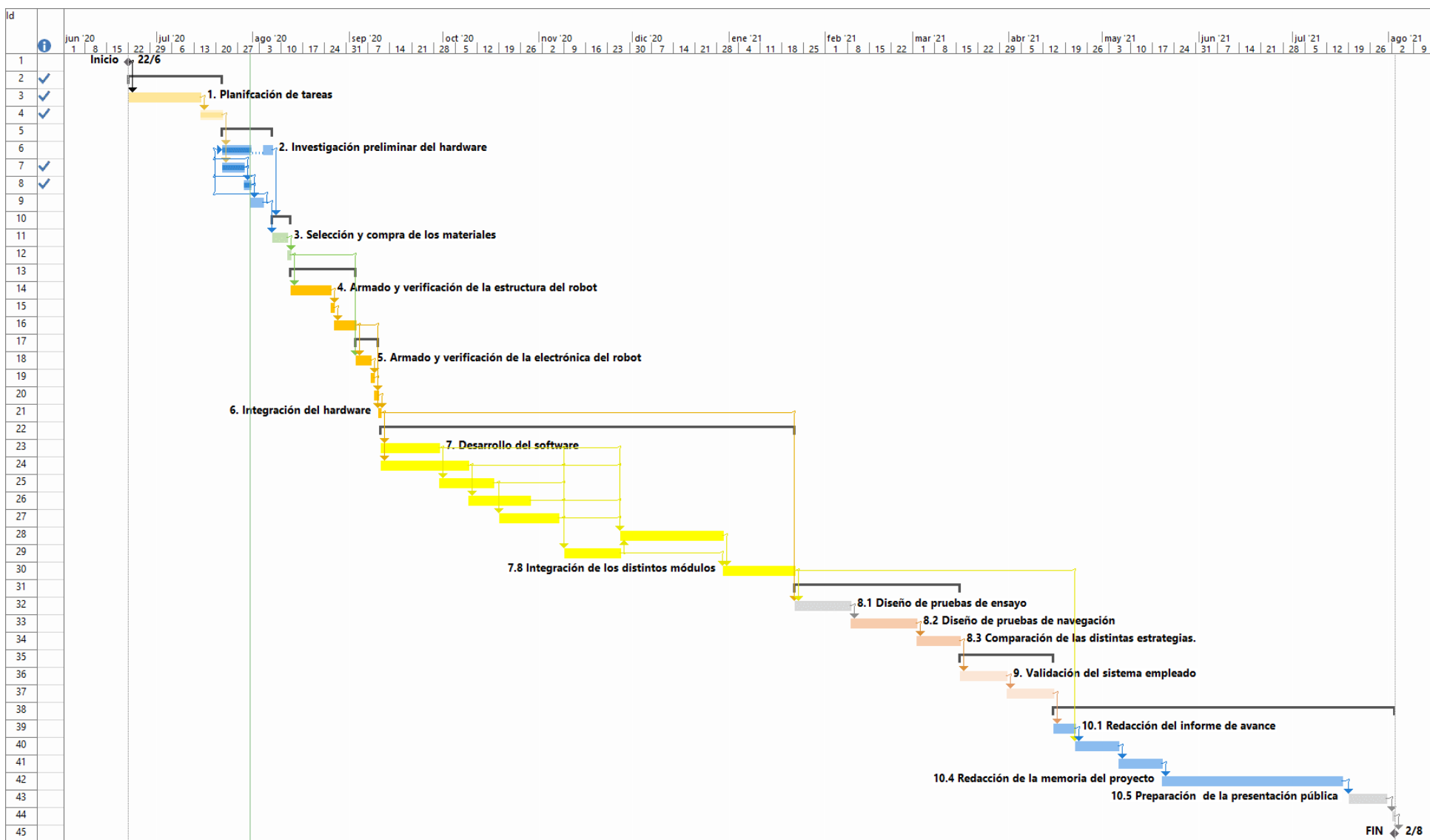


Figura 4: Diagrama de *Gantt*

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

Nº Tarea	Nombre de la tarea	Recursos requeridos (horas)					
		PC-Internet	Impresora-3D	Comp.elect.	Tester	Oscilosc.	Filmadora
1.	Planificación	20					
2.	Investigación	20	20		1		
3.	Selección y compra	2		5			
4.	Armado de la estruc.del robot	20	15	5	1		1
5.	Armado de placas electrónicas	5		10	10	2	
6.	Armado HW			1	1		0,5
7.	Diseño del SW	200		10			
8.	Verificación( <i>testing</i> )	60		10	1		0,5
9.	Validación	30		40			1
10.	Presentación y documentación	120		20			5

## 10. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS [\$]				
Descripción		Cantidad	Valor unitario	Valor total
Materiales	Driver doble puente H (L298)	1	550	550
	Motor CC con reducción 5v	2	310	620
	Placa EDU-CIAA-NXP	1	6.500	6.500
	Porta baterías (4 pilas AA)	1	1	290
	Materias de Li-ion 1500 mah	4	250	1.000
	Pulsador NA	1	100	100
	Placa WIFI(ESP1 8266)	1	500	500
	Placa acelerómetro (Mpu-9250)	1	790	790
	Cables varios	1	1	260
	Conectores varios	1	1	560
	Placa experimental 10x10 cm	1	350	350
	Estaño 60/40 0,8mm 3m	1	250	250
	Filamento 1,75 mm (PLA)	1	1.000	1000
	Ruedas	2	130	260
	Mano de obra			150.000
SUBTOTAL				163.030
COSTOS INDIRECTOS [\$]				
Descripción				Valor total
30 % de los costos directos				48.909
SUBTOTAL [\$]				48.909
TOTAL [\$]				211.939

Tabla 2: Presupuesto

Aclaración: el presupuesto de la tabla 2 se realizó con fecha 25/07/2020 en pesos argentinos (\$). La cotización es de \$120 por dólar estadounidense (u\$s). El costo total es \$211.939 o su equivalente en u\$s1.766,16.

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

Nº Tarea	Nombre de la tarea	Responble Ing. Pablo Daniel Folino	Director Ing. Juan Carlos Gómez	Cliente Ing. Claudio Verrastro	Jurado
1.1	Generación Documentación	P	C		
1.2	Aprobación y revisión del documento	P	A	A	I
2.	Investigación HW	P	C		
3.	Selección y compra	P	I	A	
4., 5.y 6.	Armado del HW	P	I		
7.	Desarrollo del SW	P	C		
8.	<i>Testing</i>	P	S	I	I
9.	Validación	P	A	A	I
10.1	Redacción informe	P	A		I
10.2	Redacción del manual	P	A		
10.3	Elaboración de circuitos esquemáticos	P	I		
10.4	Redacción de la memoria	P	A		I
10.5	Preparación de la presentación	P	A		I
10.6	Presentación pública	P	I		A

Tabla 3: Matriz de asignaciones de responsabilidades

### Referencias:

- P = Responsabilidad Primaria
- S = Responsabilidad Secundaria
- A = Aprobación
- I = Informado
- C = Consultado

## 12. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos:

Nro.	Descripción del riesgo	Severidad Ocurrencia	Valor	Justificación
1	Pérdida/Destrucción del kit de desarrollo	Severidad	10	El daño en el kit de desarrollo modifica en numerosas etapas del desarrollo de este proyecto. Como por ejemplo no poder probar el software, no terminar de construir el prototipo, etc.
		Ocurrencia	5	La posibilidad de que suceda es moderada, ya que el kit se montará en una plataforma móvil.
2	Destrucción del driver de motor (L298)	Severidad	7	El daño en el driver atrasaría algunas tareas, pero otras podrían continuar.
		Ocurrencia	6	Si el motor se bloquea, por el driver puede circular mucha corriente y se puede quemar.
3	Falta de tiempo para adquirir los conocimientos para implementar el software de AR.	Severidad	6	El algoritmo se está probando en otra plataforma pero de características muy distintas.
		Ocurrencia	3	La probabilidad es baja, ya que se puede adaptar distintos niveles de complejidad.
4	Daños en la impresora 3D.	Severidad	6	Se usa para fabricar las piezas del robot en un etapa temprana el proyecto.
		Ocurrencia	7	La probabilidad es alta, ya que su funcionamiento depende de muchos factores (que los inyectores no se tapen, que las tensiones de las correas sean las correctas, que no se quemen los drivers de los motores, que el firmware no se dañe, etc ).
5	Capacidad o potencia del pack de batería insuficiente para cumplir con los requerimientos planteados	Severidad	6	Se usan baterías Li-ion, algunos consumos pueden ser vitales para el éxito del proyecto.
		Ocurrencia	7	La probabilidad es alta, no se tiene experiencia en el manejo de este tipo de batería.
6	Daño en la computadora que se usa para programar y documentar el proyecto.	Severidad	7	Se usa para el diseño de las piezas del robot, programar los algoritmos en la placa EDU-CIAA, y la documentación del proyecto.
		Ocurrencia	5	No es una computadora moderna, su probabilidad de falla es moderada.

Tabla 4: Gestión de riesgos

La “severidad” y la “probabilidad de ocurrencia” se califican de 1 a 10, siendo el número más alto correspondiente a la mayor severidad o la mayor probabilidad.



b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $\%RPN = S \times O$ )

Nº de Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	10	5	50	5	5	25
2	7	6	42	3	5	15
3	6	3	18			
4	6	7	42	6	3	18
5	6	7	42	3	5	15
6	7	5	35			

Tabla 5: RPN

**Criterio adoptado:** se tomarán medidas de mitigación de los riesgos cuyos RPN sean mayores a 40.

**Aclaración:** en la tabla 5 los valores marcados con (\*) corresponden luego de haber aplicado el plan de mitigación de riesgos.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

- Riesgo 1: Pérdida/Destrucción del kit de desarrollo. Medidas de mitigación: Para minimizar este riesgo se prevee una partida presupuestaria para comprar otra placa en caso de que sea necesario. Se habla con el proveedor y asegura tener *stock* para los próximos meses y un plazo de entrega no mayor a 24 horas.
  - Severidad(S): 5 Disminuye la severidad, algunas tareas pueden tener un retraso no significativo.
  - Probabilidad de ocurrencia(O): 5 La probabilidad de ocurrencia no cambia debido al escaso conocimiento de la placa tipo EDU-CIAA-NPX.
- Riesgo 2: Falta de tiempo para adquirir los conocimientos para implementar el software de AR. Medidas de mitigación: El firmware de la placa en un primer prototipo puede salir con una versión acotada, al proyecto estaría aprobado por el cliente con el módulo del PID clásico y una de las técnicas de aprendizaje por refuerzo. Se puede recurrir al asesoramiento de expertos en el tema.
  - Severidad(S): 3 La severidad disminuye considerablemente, se tiene la posibilidad de tener otras fuentes de información.
  - Probabilidad de ocurrencia(O): 5 Probabilidad de ocurrencia media, hay que ver la disponibilidad de los horarios de los expertos en el tema para ver si pueden atender nuestras consultas.
- Riesgo 4: Daños en la impresora 3D. Medidas de mitigación: Se debe tener en *stock* los repuestos necesarios para reemplazar en caso de ser necesarios. Los repuestos como la boquilla fusora, y las correas dentadas no son caras y se consiguen en el mercado.
  - Severidad(S): 6 La severidad no cambia, la impresión de las piezas es un punto crítico.
  - Probabilidad de ocurrencia(O): 3 Disminuye considerablemente, ya que al tener los repuestos se puede prevenir que no deje de funcionar. Hay algunos repuestos como la placa de control que son difíciles de conseguir, en tal caso hay que recurrir a otro tipo de estrategia de mitigación

- Riesgo 5: Capacidad o potencia del pack de batería insuficiente para cumplir con los requerimientos planteados. Medidas de mitigación: Se debe diseñar el pack de batería para tener la posibilidad o de ampliar la capacidad de *mAh* de las baterías de *Li-ion*, o cambiarlas por otra tecnología como de *NiCd* o *NiMH*. Por tal motivo en el diseño se adoptó el uso de baterías de formato AA o 14500.
  - Severidad(S): 3 Disminuye considerablemente al tener varias alternativas.
  - Probabilidad de ocurrencia(O): 5 La probabilidad de ocurrencia es media, ya que de algunas baterías se carece del conocimiento de funcionamiento detallado.

## 13. Gestión de la calidad

### 1. Requerimientos de funcionamiento general.

- Req #1.1: El sistema debe tener una autonomía de por lo menos 10 minutos.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se verifican los consumos de todas las placas del sistema mediante las hojas de datos y mediciones empíricas. Se hacen los cálculos de consumos y se registra la autonomía del robot en condiciones normales de funcionamiento. Con la batería al 100 % de carga, se hace mover al robot en distintas direcciones y se registra en cuánto tiempo tarda hasta que no pueda responder a los comandos enviados.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Con la batería completa se hará mover al robot en círculos, en una superficie plana durante el lapso de 10 minutos para validar este requerimiento.
- Req #1.2: Se debe comunicar en forma inalámbrica.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se verificarán las hojas de datos del módulo inalámbrico, distancia de comunicación, velocidad de comunicación, potencia de transmisión, etc. Se verificará con el depurador de programa (*debugger*) que al mandar tramas no válidas o con errores de secuencia, el robot no las ejecute.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Mediante una prueba empírica se le envía comandos de movimiento al robot (hacia adelante, hacia atrás, giro a la derecha e izquierda), para demostrar que la plataforma móvil responde.
- Req #1.3: Debe ser un robot pequeño de dimensiones (no mayor a 25x20x15 cm).
  - Verificación y validación:

- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se realiza las mediciones del tamaño del robot.
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Mediante un cubo de dimensiones de 25x25x15 cm con uno de los lados de la base abierta, se hace entrar al robot para validar este requerimiento.
- Req #1.4: Debe ser un robot liviano (no mayor a 1,25 Kg).
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Mediante las hojas de datos o en forma práctica, se elaborará un documento en donde se registren los pesos de cada componente. Se verificará que la suma total de los componentes no supere los 1,25 Kg.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Mediante una balanza se pesa la plataforma móvil para validar este requerimiento.

## 2. Grupo de requerimientos asociados con el hardware.

- Req #2.1: El hardware debe ser fácilmente replicable utilizando una impresora 3D.
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se verifican que todos los elementos estructurales del robot puedan realizarse por una impresora 3D con un solo extrusor, eso significa que no se necesite por ejemplo de material de soporte especiales, que las dimensiones sean menores que una cama de impresión estándar (20x20 cm), que el filamento sea fácil de conseguir (PLA o ABS), etc.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se muestran los planos de donde se obtuvieron las impresiones de los componentes que conforman la plataforma.
- Req #2.2: Debe poseer la menor cantidad de piezas posibles, no mayor a diez. utilizando una impresora 3D.
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se hace un listado detallado de todos los componentes estructurales del hardware y se verifican que la cantidad sea menor a la del requerimiento.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se muestra al cliente el listado detallado elaborado en la prueba de verificación.

- Req #2.3: El cuerpo del robot debe albergar todo el hardware (motores, placa EDU-CIAA, drivers de motores, baterías, etc.) necesario para el funcionamiento normal.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Mediante planos se verifica que todos los elementos estructurales del robot, las distintas placas, los motores, y sensores se encuentran autocontenidos.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se demuestra al cliente empíricamente se cumple este requisito.
- Req #2.4: Debe poseer un botón de parada de emergencia de fácil acceso, para interrumpir el funcionamiento del robot en caso de urgencia.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se depura el programa y verifica que sin importar en que secuencia de programa se encuentre el software, al pulsar el botón se invoca la rutina de parada.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se hace funcionar al robot en una trayectoria circular, y se verifica que cuando se presiona el botón de parada cumple este requerimiento.

### 3. Grupo de requerimientos asociados con el software.

- Req #3.1: Se programará usando Lenguaje C, utilizando el modelo de capas y las sAPI del proyecto CIAA.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se analizarán las hojas de datos de la placa EDU-CIAA y se verificará que usando un ambiente de programación en Lenguaje C se pueda programar la placa. Se controlará que todo el código fuente utilizado para programar al producto final esté escrito en Lenguaje C y con llamadas a las sAPI. Se generará un documento en donde se registren todas las rutinas que conforman el proyecto.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se presentará el informe del listado del código fuente con las rutinas que conforman el proyecto.
- Req #3.2: La herramienta de programación en Lenguaje C deberá poseer un modo DEBUG.
  - Verificación y validación:

- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se verificará de las hojas de datos de la placa de desarrollo que posea un puerto serie extra, o algún otro método que permita tener información de depuración.
  - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se configurará el prototipo para que envíe información de depuración a través de algún medio de comunicación con el cliente.
- Req #3.3: El uso de memoria no debe exceder a la placa EDU-CIAA-NXP.
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se analizará las hojas de datos de la placa de control y de su microprocesador para que con el código generado en el proyecto cumpla con este requerimiento.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se compilará y un programa de prueba en la placa de desarrollo para validar el requerimiento.

#### 4. Requerimientos no funcionales

- Req #4.1: La estructura del robot no debe tener bordes filosos ni punzantes, que puedan ocasionar lesiones.
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se verificará con los planos estructurales de las piezas del robot, que todos los bordes externos si terminan en una arista, no sean ángulos inferiores a 90 grados, o que sean redondeados con un diámetro mayor a 0,5 mm. Se generará un informe detallando.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se presentará el informe generado en la validación, constatando físicamente las terminaciones de los bordes externos del robot.
- Req #4.2: La velocidad que desarrolla el robot debe ser inferior a 1 m/seg.
- Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Con las hojas de datos del motor (máxima *rpm*) y el diámetro de la rueda se calculará la velocidad máxima del robot.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Se medirá la velocidad que alcanza el robot a máxima carga de batería con un método indirecto. Se pondrán a 5 metros de distancia en línea recta dos marcas

en un piso plano y liso. El robot se pondrá en posición de reposo a un metro atrás de la primera marca y se acelerará a máxima velocidad. Se medirá el tiempo en que tarda en cruzar las dos marcas, calculando así su velocidad máxima.

## 5. Requerimientos de documentación

- Req #5.1: Redactar manual de uso.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se irá controlando la generación parcial de este documento técnico.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
El director del proyecto validará este documento.
- Req #5.2: Redactar un documento en donde se registre el código fuente.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se irá controlando la generación parcial de documentación técnica, para que sirva de referencia para la posterior escritura de la memoria.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
El director y los jurados leerán esta información en la memoria técnica y la validarán.
- Req #5.3: Redactar un documento técnico que figuren los circuitos esquemáticos, y el armado de la plataforma.
  - Verificación y validación:
    - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Se irá controlando la generación parcial de documentación técnica, para que sirva de referencia para la posterior escritura de la memoria.
    - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
El director y los jurados leerán esta información en la memoria técnica y la validarán.

## 14. Comunicación del proyecto

Plan de comunicación del proyecto					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicac.	Responsable
Definición de los objetivos y los alcances	Director	Evaluación	Inicio del proyecto	Correo electrónico	Ing. Pablo Daniel Folino
Inicio de las tareas de implementación	Director	Informar	Inicio de implementación	Correo electrónico	Ing. Pablo Daniel Folino
Grado de avance	Director	Informar y evaluar	Al término de cada tarea	Correo electrónico	Ing. Pablo Daniel Folino
Problemas que puedan afectar los tiempos de entrega	Director Cliente	Informar	Cuando surjan	Correo electrónico	Ing. Pablo Daniel Folino
Finalización y cierre	Director Jurados	Evaluación	Final del proyecto	Correo electrónico	Ing. Pablo Daniel Folino

## 15. Gestión de Compras

### Criterio de selección de proveedores:

Tanto para la compra de componentes electrónicos como de filamentos PLA para la confección del robot, se seleccionarán aquellos proveedores del mercado nacional que dispongan de *stock* suficiente de los componentes requeridos, presenten una cotización menor, entreguen a domicilio, y que los tiempos de entrega sean dentro de las 24 hrs. Dado que los componentes a utilizar pueden ser adquiridos por varios proveedores, se descarta un análisis de los mismos. Algunos posibles proveedores podrían ser:

Nº	Nombre	Dirección	Teléfono	Página WEB	Productos
1	ITPROUSER S.A.	A. Magaldi 2102, CABA	3961-2000	www.itprouser.com.ar	Insumo y repuestos de impresoras 3D
2	Candy-Ho	Méjico 341, Villa Martelli	3968-5940	www.candy-ho.com	Insumo y repuestos de componentes electrónicas
3	Cyber Office	Av. A. Alcorta 2186, CABA	15-3288-6803	www.cyberoffice.com.ar	Insumo y repuestos de componentes electrónicas
4	REMAKERS	Alsina 1761, CABA	4372-9492	www.emakers.com.ar	Insumo y repuestos de componentes electrónicas

## 16. Seguimiento y control

Seguimiento de avance					
Nº de Tarea	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
1.1	% de versiones de planificación de proyecto	Semanal	Pablo D. Folino	Patricio Bos Ariel Lutenberg	Correo electrónico
1.2	% de aprobación del documento de planificación	Unifica vez	Pablo D. Folino	Patricio Bos Ariel Lutenberg	Correo electrónico
2.1	% de investigación en la fabricación del motor	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
2.2	% de investigación de las placas electrónicas	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
2.3	% de investigación de motores	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
2.4	% de investigación de baterías	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
3.1	% de selección de componentes	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
3.2	% de compra de componentes	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
4.1	% de construcc. de la piezas	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
4.2	% de ensamble de piezas	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
4.3	% de verificación de la estructura	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico



Seguimiento de avance					
Nº de Tarea	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
5.1	% de armado de placa adap.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
5.2	% de cableado del robot.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
5.3	% de verificación de la electrónica.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
6.	% de integración del HW.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.1	% de SW del PWM.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.2	% de SW de comunicación.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.3	% de SW del GPS.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.4	% del programa del acelerómetro.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.6	% del programa de AR.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.7	% del programa de PID.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
7.8	% de integración de los módulos de los distintos programas.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
8	% de verificación.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
9	% de validación.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
10.1	% de redacción de informe de avance.	Semanal	Pablo D. Folino	Director Jurado	Correo electrónico

Seguimiento de avance					
Nº de Tarea	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
10.2	% de redacción del manual de uso.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
10.3	% de elaboración de circuitos esquemáticos.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
10.4	% de redacción de memoria.	Semanal	Pablo D. Folino	Director Jurado	Correo electrónico
10.5	% de preparación de la presentación.	Semanal	Pablo D. Folino	Director	Correo electrónico
10.6	% de presentación pública.	Unifica vez	Pablo D. Folino	Director Jurado	Correo electrónico

## 17. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el plan de proyecto original:  
Encargado: Pablo Daniel Folino
  - Se evaluarán los requerimientos y los objetivos alcanzados frente a los planteados en el plan original.
  - Se pondrá especial interés en si se cumplieron los lineamientos en cuanto a tiempos de entrega y ejecución.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se utilizaron, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:  
Encargado: Pablo Daniel Folino
  - Se establecerá cual fue la mejor combinación de algoritmos de aprendizaje por refuerzo que llevaron mejor la tarea.
  - Se identificarán el uso de nuevas herramientas o procedimientos en caso de corresponder.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:  
Encargado: Pablo Daniel Folino
  - Luego de la presentación del proyecto mediante la defensa pública, se procederá a agradecer a todas las personas que participaron del desarrollo del proyecto, al director del proyecto, a los compañeros y a las autoridades de la CESE.