



# Modelo de inteligencia artificial para la regulación de temperatura en equipos de inducción de hipotermia

Autor:

Ing. Ezequiel Fernandez

Director:

Título y Nombre del director (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 23 de abril de 2024 y el 11 de junio de 2024.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
3. Propósito del proyecto . . . . .	7
4. Alcance del proyecto . . . . .	8
5. Supuestos del proyecto. . . . .	8
6. Requerimientos . . . . .	9
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	9
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	11
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	12
11. Diagrama de Gantt . . . . .	12
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	15
13. Gestión de riesgos . . . . .	15
14. Gestión de la calidad . . . . .	16
15. Procesos de cierre . . . . .	17

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	23 de abril de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	7 de mayo de 2024
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	14 de mayo de 2024

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 23 de abril de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ezequiel Fernandez que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Modelo de inteligencia artificial para la regulación de temperatura en equipos de inducción de hipotermia” y consistirá en la implementación de un modelo de inteligencia artificial prototipo para optimizar el rendimiento de un sistema de regulación de temperatura para uso en tratamientos de hipertermia e hipotermia. Además se analizará la incidencia de los distintos atributos en la predicción. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ XXX, con fecha de inicio el 23 de abril de 2024 y fecha de presentación pública el 9 de diciembre de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Marcelo Castiglione  
AmrrA Electromedicina

Título y Nombre del director  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El objetivo de este proyecto será contar con un modelo de inteligencia artificial prototipo que estime la temperatura del agua que circula en un equipo utilizado para la inducción de hipotermia a pacientes neonatales. Además se hará foco en la incidencia de los parámetros que se disponen en el cálculo para aportar al conocimiento sobre estos tratamientos. Esto puede significar a futuro una mejora en un producto que desarrolla la empresa y brindar a quienes necesiten este tratamiento un desarrollo superador del mismo respecto a la actualidad. El proyecto será desarrollado dentro del marco del programa de vinculación.

La empresa es AmrrA y los equipos en cuestión tienen el nombre Amrraterm HTF. Estos sistemas se utilizan con el propósito de inducir una hipotermia controlada en pacientes neonatales. Existen contextos en los cuales esto proporciona una mejor evolución de los pacientes. El principal caso de uso es el de pacientes que sufren hipoxia al nacer, esto es, falta de oxígeno en el cerebro. En estos casos, a temperatura corporal normal la interacción entre las neuronas es alta y se pueden desarrollar efectos adversos en la capacidad cerebral del paciente. Por esto un tratamiento estándar es el de inducir hipotermia por 72 horas a fin de minimizar los efectos que la hipoxia puede generar a futuro en los pacientes.

Para lograr esto el procedimiento estándar es sedar al paciente y colocarlo dentro de una incubadora. Allí el mismo es envuelto en las mantas que forman parte del equipo. Por éstas circula agua destilada. El equipo regula la temperatura del agua en función de la temperatura objetivo, que suele ser de  $33,5^{\circ}\text{C}$ , y la actual del paciente. Una vez terminado el tratamiento de hipotermia, el equipo funciona en un modo llamado rampa, en el cual sube paulatinamente la temperatura hasta llegar a un estado normal.

Si bien existe un protocolo, que es el antes descrito, se dan ocasiones en las que se hace un mal uso del equipo, estableciendo como temperatura objetivo un valor inferior a los  $33,5^{\circ}\text{C}$  o utilizándolo en pacientes que no están correctamente sedados en incubadora. Estos casos podrían afectar los resultados del modelo por lo que deberían categorizarse.

En la actualidad la temperatura del agua es regulada por un algoritmo de lógica difusa. En un rango de pesos estándar (entre 2,5 kg y 3,5 kg) el algoritmo funciona correctamente, pero es posible que en pesos inferiores o superiores haya comportamientos que este proyecto pueda mejorar. Se desarrollará este modelo para evaluar si funciona mejor que el algoritmo actual en ese rango, en los valores inferiores o en los superiores de peso.

Se utilizarán diversos datos para construir un modelo acorde al problema como el peso del paciente, la edad, la temperatura objetivo y las variaciones de temperatura del agua y paciente. Además de construir un modelo superador, también se busca detectar la incidencia de ciertos parámetros, como el peso del paciente, no utilizado por el algoritmo actual. Para evaluar el comportamiento del modelo se debe implementar un entorno, en algún lenguaje de programación a conveniencia de las partes, que permita evaluar y comparar resultados.

En la figura 1 se presenta un diagrama del funcionamiento del equipo actualmente. La temperatura del agua es regulada a través de un sistema térmico. Periódicamente un algoritmo de lógica difusa calcula la temperatura que debe tener el agua en el siguiente periodo.

En la figura 2 se puede ver la incorporación de un modelo de inteligencia artificial en comparación con el actual.

### Funcionamiento actual

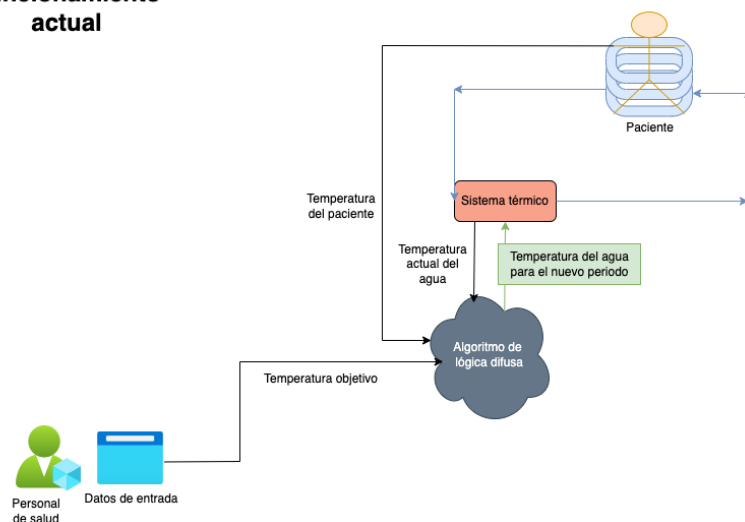


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema actual.

### Diagrama integrando al modelo

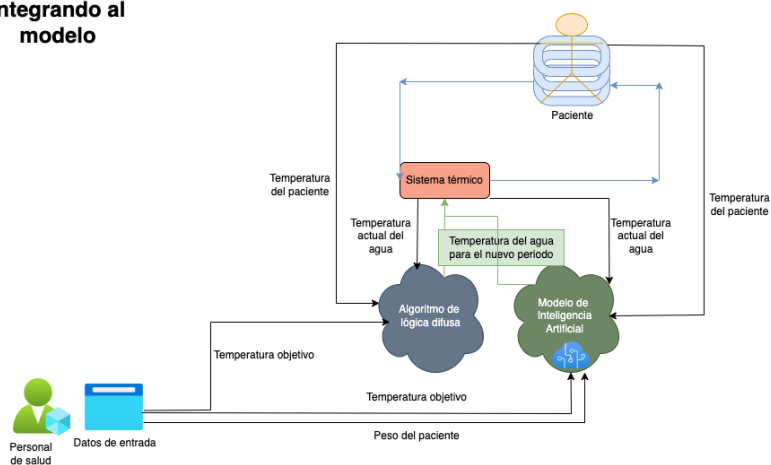


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema integrando al modelo.

Si bien existen artículos en la actualidad que analizan el uso de diversos modelos de *machine learning* en contextos de hipotermia, la mayoría ponen el foco en estimar la mortalidad de los casos o en predecir potenciales casos de hipotermia. Estos enfoques son interesantes para evaluar los riesgos de someter al paciente bajo este tratamiento pero no son el objetivo de este proyecto. En este caso el foco estará en un modelo que regule de forma óptima la inducción a hipotermia de un paciente.

El presente proyecto se ve impulsado por buscar innovación utilizando tecnologías nuevas en un producto clave de la empresa. Se evaluará si esto resulta en una mejora en la calidad del producto y por esto en los tratamientos de los pacientes. Además se analizará la incidencia del peso y demás datos en el tratamiento para la correcta inducción de hipotermia, lo que aporta al conocimiento que se tiene actualmente sobre estos tratamientos.

A futuro se llevará a cabo la integración del modelo resultante al sistema embebido del producto comercial Amrraterm HTF.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Área de Ingeniería	AmrrA electromedici- na	Área de Ingeniería
Cliente	Área de Ingeniería	AmrrA electromedici- na	Área de Ingeniería
Impulsor	Marcelo Castiglione	AmrrA electromedici- na	Área de Ingeniería
Responsable	Ing. Ezequiel Fernan- dez	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Ing. Laneri	AmrrA electromedici- na	Área de Ingeniería
Orientador	Título y Nombre del director	FIUBA	Director del Trabajo Final
Usuario final	Médicos	Hospitales	-

- Orientador: el director del trabajo es experto en la temática y va a ayudar con la exploración inicial y definición de estrategias para llegar a los objetivos.
- Impulsor: está muy interesado en el tema y en ayudar en lo que esté a su alcance.
- Usuario final: los médicos son quienes utilizarán los equipos y pueden hacer comentarios acerca del uso de estos, pero también debemos mencionar a los pacientes que serán tratados.

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto está orientado a cubrir los siguientes aspectos:

- Desde un punto de vista funcional, consistirá de brindar un modelo de inteligencia artificial que estime cambio de temperatura óptimo para la salud del paciente en un instante.

- Desde un punto de vista conceptual, se desea analizar la incidencia del peso en este tratamiento.
- Desde un punto de vista personal, servirá como un medio formal para acreditar la Especialización en Inteligencia Artificial y como primer experiencia en un proyecto de esta temática en un ambiente cercano al laboral.

#### **4. Alcance del proyecto**

El alcance de este proyecto está orientado a desarrollar una solución de inteligencia artificial acorde al problema planteado. Se cubrirán los siguientes ejes de trabajo:

- Entendimiento del problema y negocio: profundo aprendizaje sobre el contexto y rol que tendrá el modelo.
- Adquisición de datos y análisis de los mismos: análisis y preprocesamiento de los datos y generación de datos sintéticos en caso de escasez.
- Modelado: se evaluarán diversos modelos, buscando al de mejor rendimiento en función de poder predictivo y significado de los atributos.
- Resultado conceptual: se evaluará la incidencia de cada parámetro en las estimaciones del modelo.
- Visibilidad: se ofrecerá una forma de probar al modelo y de evaluarlo contra el algoritmo actual.

El presente proyecto no incluye:

- La incorporación del modelo a los equipos en funcionamiento.
- El despliegue del modelo en la nube.
- El desarrollo de una interfaz gráfica, una aplicación o una web.

#### **5. Supuestos del proyecto**

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El desarrollo es alcanzable con los conocimientos actuales.
- El tiempo será suficiente para alcanzar los objetivos planteados, teniendo en cuenta imprevistos y cambios de enfoque posibles.
- Los accesos a la información y a los datos serán concedidos en tiempo y forma.
- La cantidad de datos disponibles y el procesamiento que pueda hacerse de los mismos será suficiente para un resultado aceptable.



## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El modelo predecir el cambio de temperatura óptimo a aplicar.
- 1.2. La salida del modelo debe ser conceptualmente análoga a la del algoritmo de lógica difusa utilizado actualmente a fin de poder compararlos.
- 1.3. El modelo debe dar una respuesta en un tiempo promedio menor o igual a 10 veces el tiempo promedio de respuesta del algoritmo actual.
- 1.4. El sistema debe permitir ingresar datos de forma manual y mostrar el resultado.
- 1.5. Se debe calcular la incidencia del peso y de los demás atributos en la solución.

### 2. Requerimientos conceptuales:

- 2.1. Deben utilizarse datos sintéticos en el entrenamiento.

### 3. Requerimiento de testing:

- 3.1. Se deben ejecutar pruebas secuenciales con datos reales y mostrar una comparación entre los resultados del modelo a implementar y del algoritmo actual.
- 3.2. Se deben comparar tiempos entre el modelo propuesto y el algoritmo actual.
- 3.3. Se debe calcular una métrica a definir para calcular la performance del modelo.

### 4. Requerimiento de documentación:

- 4.1. Se deben documentar las decisiones tomadas.
- 4.2. Se deben documentar los resultados de las pruebas y las distintas métricas.
- 4.3. Se requiere documentar el código y las formas de utilizar al sistema.

### 5. Requerimiento asociados con regulaciones

- 5.1. Se requiere que los casos utilizados no expongan datos que infrinjan derechos de privacidad.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

En esta sección se describirán algunas historias de usuarios ponderadas en un sistema de puntos, según el rol de cliente.

Para determinar los puntos de cada historia se definen los siguientes criterios:

- Cantidad de trabajo:
  - Baja: 1 punto.
  - Media: 3 puntos.
  - Alta: 5 puntos.
- Complejidad del trabajo:
  - Baja: 2 puntos.

- Media: 5 puntos.
- Alta: 13 puntos.
- Incertidumbre del trabajo:
  - Baja: 3 puntos.
  - Media: 5 puntos.
  - Alta: 10 puntos.

La cantidad de puntos de una historia de usuario estará definida por el número en la sucesión de Fibonacci mas cercano y mayor o igual a la suma del puntaje de los tres criterios definidos.

- Como cliente, quiero contar con un modelo que estime el cambio de temperatura en el equipo para tratamientos de hipotermia.
  - Cantidad: de trabajo 5 puntos.
  - Complejidad: 5 puntos.
  - Incertidumbre: 10 puntos.
  - Story Points:  $5 + 5 + 10 = 20$ , tomando el siguiente de la sucesión de Fibonacci el puntaje es 21.
- Como cliente, quiero conocer la incidencia del peso en el calculo de la variación de temperatura óptima para los pacientes.
  - Cantidad: de trabajo 1 punto.
  - Complejidad: 5 puntos.
  - Incertidumbre: 5 puntos.
  - Story Points:  $1 + 5 + 5 = 11$ , tomando el siguiente de la sucesión de Fibonacci el puntaje es 13.

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Manual de uso e integración del sistema.
- Código fuente.
- Diagrama de funcionamiento del sistema.
- Informe de pruebas.
- Memoria del trabajo final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación general del proyecto (50 h).
  - 1.1. Redacción de la descripción técnica y propósito (20 h).
  - 1.2. Definición del alcance, riesgos y requerimientos (10 h).
  - 1.3. Planificación del desarrollo (20 h).
2. Exploración y preprocesamiento de datos (110 h).
  - 2.1. Análisis exploratorio de los datos (10 h).
  - 2.2. Generación de datos sintéticos (40 h).
  - 2.3. Preprocesamiento y categorización de datos (40 h).
  - 2.4. Etiquetado de datos según contextos de uso (20 h).
3. Desarrollo del modelo (230 h).
  - 3.1. Definición del criterio de medición y comparación de modelos (16 h).
  - 3.2. Selección de modelos a utilizar (16 h).
  - 3.3. Implementación de los modelos (40 h).
  - 3.4. Experimentación con los modelos (40 h).
  - 3.5. Comparación de resultados y elección de modelo a utilizar (8 h).
  - 3.6. Optimización del modelo elegido (40 h).
  - 3.7. Refinamiento del modelo y entendimiento del comportamiento del mismo (40 h).
  - 3.8. Cálculo de la incidencia de los parámetros en la predicción (30 h).
4. Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo (68 h).
  - 4.1. Definición del lenguaje (8 h).
  - 4.2. Desarrollo del entorno (30 h).
  - 4.3. Integración del entorno con los algoritmos a probar (30 h).
5. Evaluación y pruebas comparativas (72 h).
  - 5.1. Pruebas comparativas con el algoritmo actual (24 h).
  - 5.2. Generación de gráficos y documentación de pruebas (16 h).
  - 5.3. Análisis de resultados (16 h).
  - 5.4. Comparación de tiempos de respuesta de los algoritmos (16 h).
6. Elaboración de la memoria (80 h).
  - 6.1. Escritura de la memoria final (40 h).
  - 6.2. Elaboración de la presentación para la exposición final (20 h).
  - 6.3. Escritura de la documentación técnica del modelo y su uso para el cliente (20 h).

Cantidad total de horas: 610 h.

## 10. Diagrama de Activity On Node

Armado el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Una herramienta simple para desarrollar los diagramas es el Draw.io (<https://app.diagrams.net/>). Draw.io

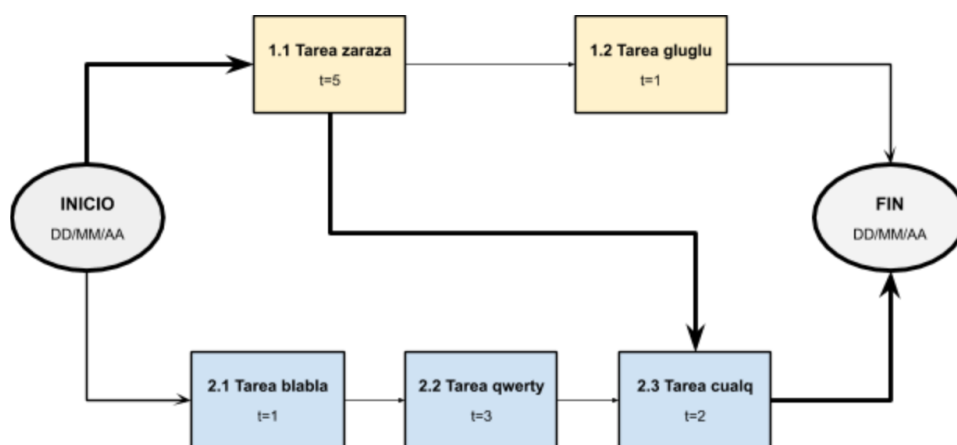


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node*.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semi críticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color.

## 11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de Gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:  
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.  
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*  
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).  
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.  
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 4, se muestra un ejemplo de diagrama de gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

Las fechas pueden ser calculadas utilizando alguna de las herramientas antes citadas. Sin embargo, el siguiente ejemplo fue elaborado utilizando [esta hoja de cálculo](#).

Es importante destacar que el ancho del diagrama estará dado por la longitud del texto utilizado para las tareas (Ejemplo: tarea 1, tarea 2, etcétera) y el valor *x unit*. Para mejorar la apariencia del diagrama, es necesario ajustar este valor y, quizás, acortar los nombres de las tareas.

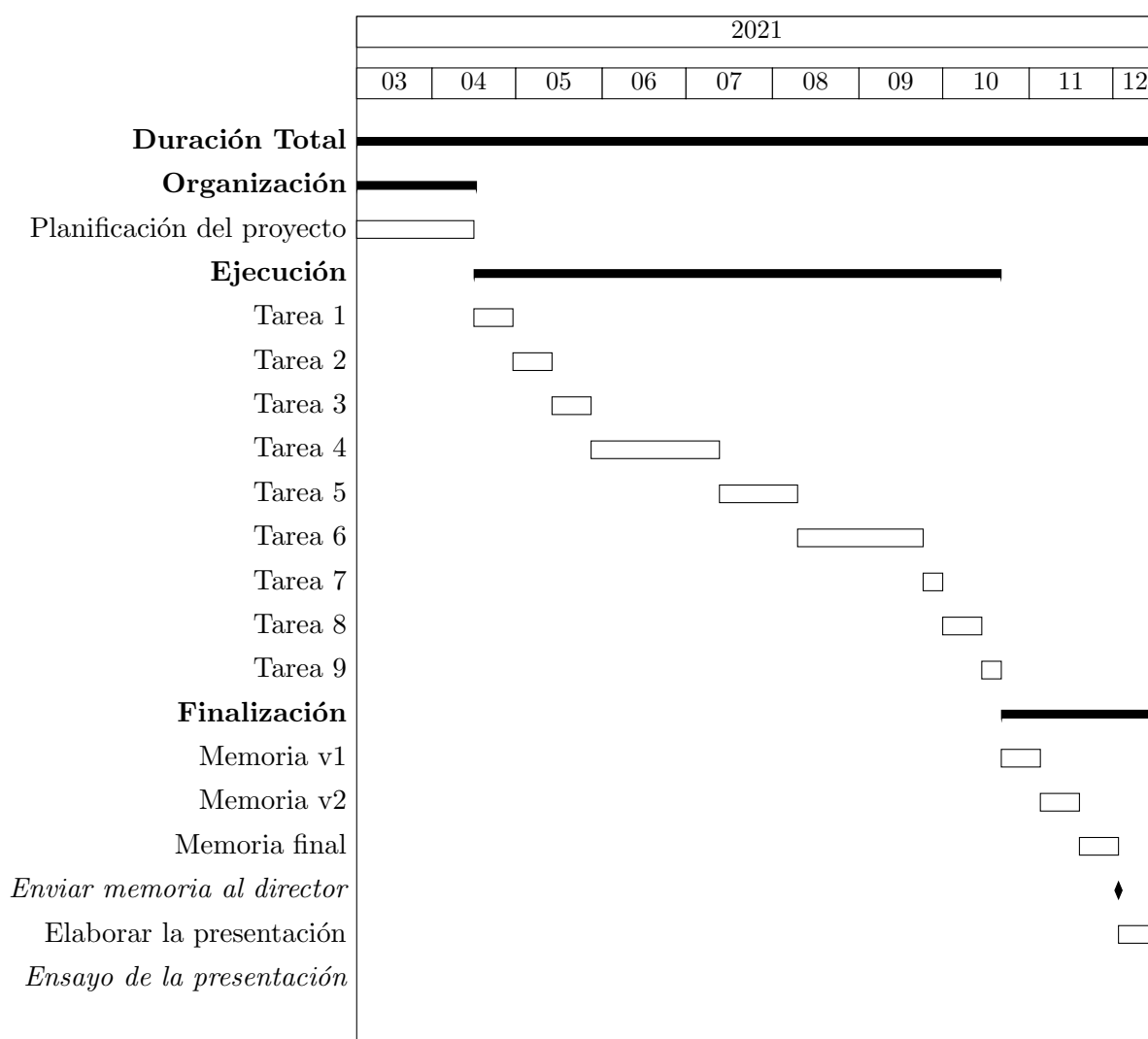


Figura 4. Diagrama de gantt de ejemplo



Figura 5. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

**IMPORTANTE:** No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

Incluir la aclaración de si se emplea como moneda el peso argentino (ARS) o si se usa moneda extranjera (USD, EUR, etc). Si es en moneda extranjera se debe indicar la tasa de conversión respecto a la moneda local en una fecha dada.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

## 13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S): X.  
Justificación...

- Ocurriencia (O): Y.  
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.  
Justificación...
- Ocurriencia (O): Y.  
Justificación...

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

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

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).  
Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (S\*): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O\*): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

## 14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento con su correspondiente número.



- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar.
- Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar.

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc.

Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno.

En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

## 15. 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:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
  - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.