



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

Autor:

Ing. Ezequiel Fernandez

Director:

Dr. Ing. Tobías Canavesi (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	11
9. Desglose del trabajo en tareas	11
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	14
12. Presupuesto detallado del proyecto	16
13. Gestión de riesgos	16
14. Gestión de la calidad	17
15. Procesos de cierre	18

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
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	21 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 de pacientes neonatales con hipoxia. 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

Dr. Ing. Tobías Canavesi
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, donde es envuelto en las mantas que forman parte del equipo. Por estas mantas circula agua destilada. El equipo recibe como dato de entrada la temperatura objetivo a la cual se quiere llevar al paciente, que suele ser de $33,5^{\circ}\text{C}$, y regula la temperatura del agua en función de la temperatura objetivo 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 la 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 de los pacientes (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, que no se utiliza 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.

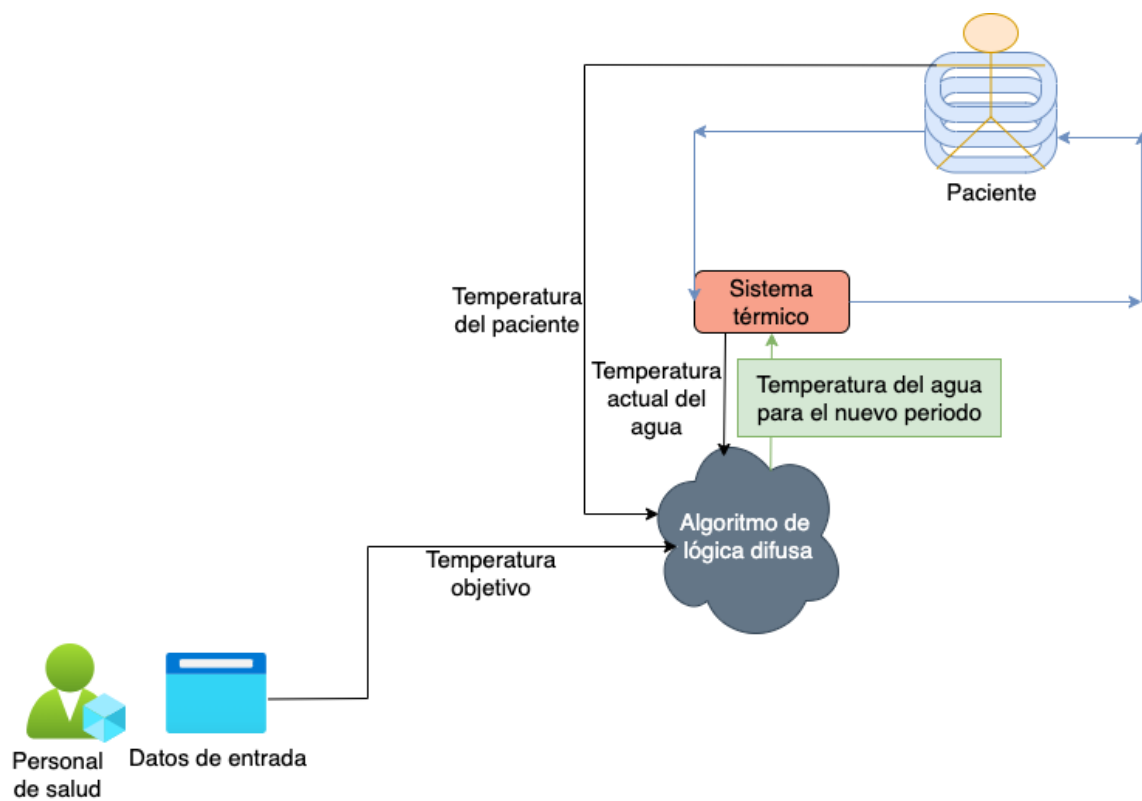


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema actual.

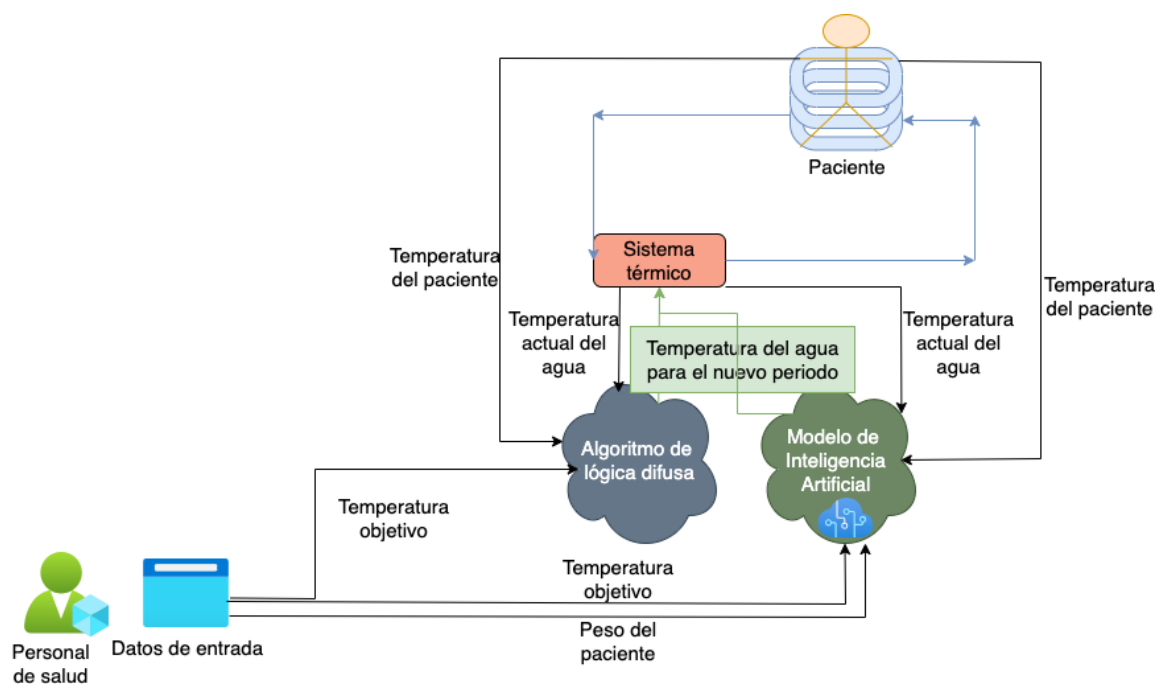


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema integrando al modelo.

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 con el uso 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	Dr. Ing. Tobías Cana- vesi	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 se debe 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 en 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 del paciente 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 debe 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.
- Como cliente, quiero una guía que explique el funcionamiento y la forma de utilizar el modelo, a modo de integrarlo en el equipo en el futuro.
 - Cantidad de trabajo 3 puntos.
 - Complejidad: 2 puntos.
 - Incertidumbre: 3 puntos.
 - Story Points: $3 + 2 + 3 = 8$, tomando el número mayor o igual mas cercano de la sucesión de Fibonacci el puntaje es 8.
- Como cliente, quiero un entorno en el cual comparar el resultado del modelo y el del algoritmo actual para una entrada dada.
 - Cantidad de trabajo 3 puntos.
 - Complejidad: 2 puntos.
 - Incertidumbre: 3 puntos.
 - Story Points: $3 + 2 + 3 = 8$, tomando el número mayor o igual mas cercano de la sucesión de Fibonacci el puntaje es 8.

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 del trabajo 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

En la figura 4 se puede ver un diagrama Activity on Node del proyecto, donde las unidades de tiempo están expresadas en horas, y en la figura 3 se ven las referencias del diagrama.

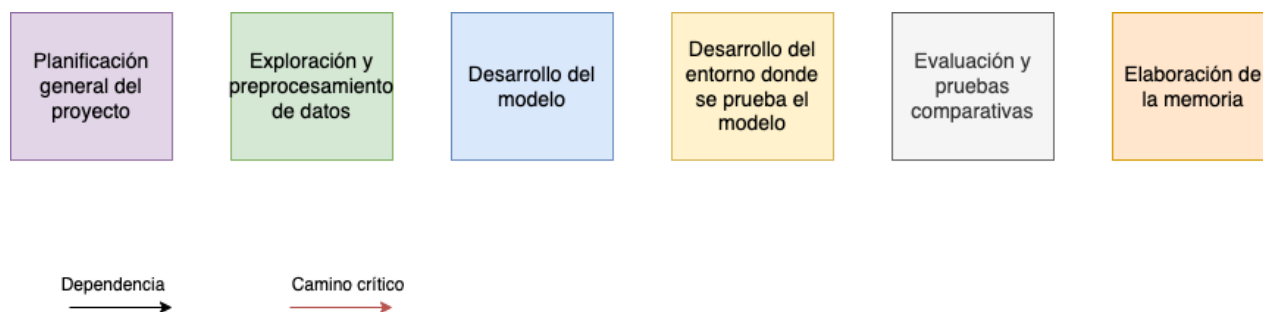


Figura 3. Referencias del diagrama Activity on Node.

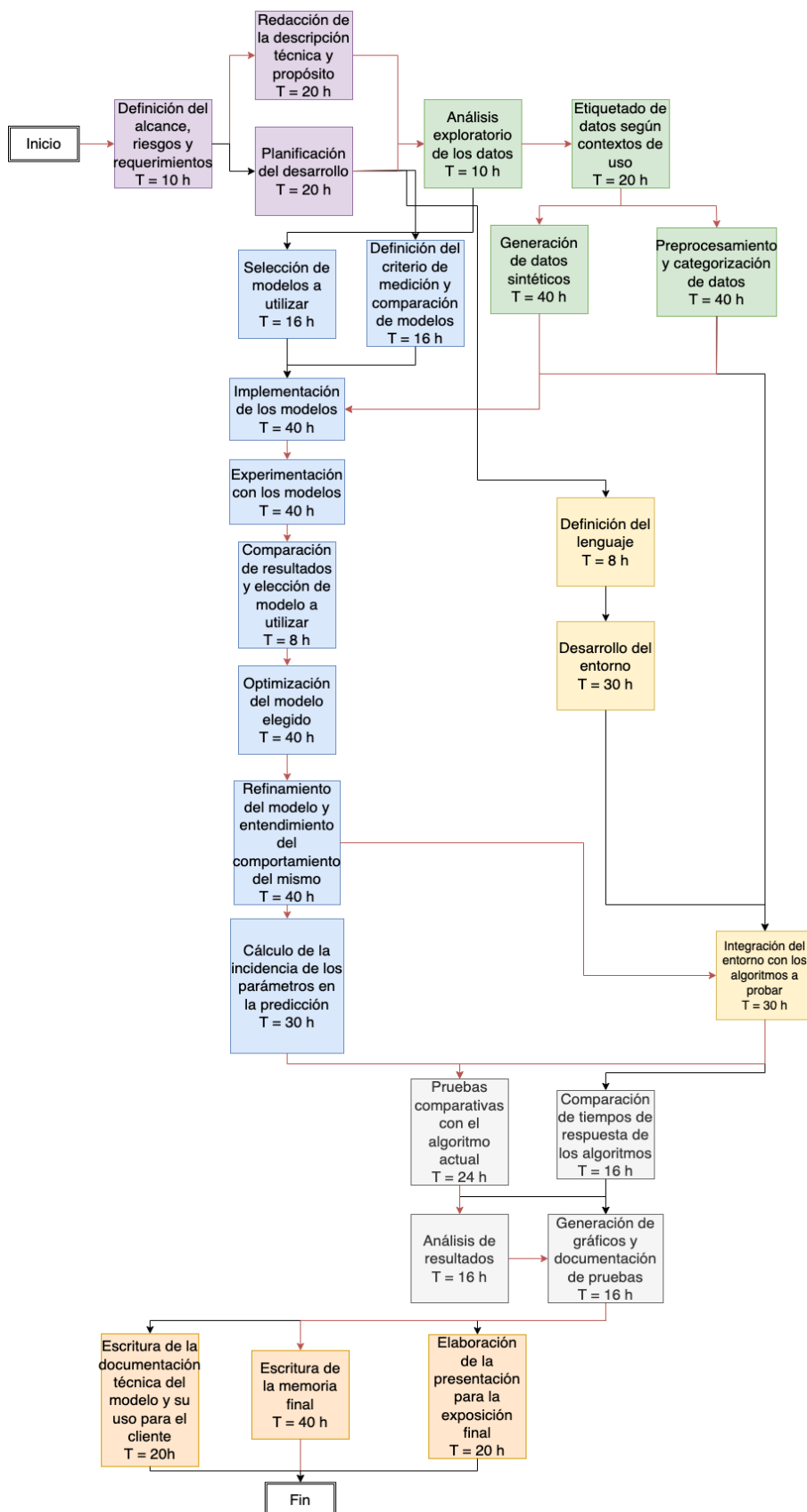


Figura 4. Activity on Node del proyecto.

11. Diagrama de Gantt

A continuación se muestra el diagrama de Gantt del proyecto, dividido en dos partes.

En la figura 5 se muestra el listado de tareas definido previamente, y en la figura 6 se ve el diagrama. Las fechas se muestran en inglés debido al software utilizado.

LIST	TITLE	DUE DATE	LABELS	
DONE	<u>Definición del alcance, riesgos y requerimientos</u>	2024/04/30	Planificación general del proyecto	...
DONE	<u>Planificación del desarrollo</u>	2024/05/13	Planificación general del proyecto	✕
WIP	<u>Redacción de la descripción técnica y propósito</u>	2024/05/31	Planificación general del proyecto	✕
TO DO	<u>Análisis exploratorio de los datos</u>	2024/06/10	Exploración y preprocesamiento de datos	✕
TO DO	<u>Etiquetado de datos según contextos de uso</u>	2024/06/13	Exploración y preprocesamiento de datos	✕
TO DO	<u>Preprocesamiento y categorización de datos</u>	2024/06/20	Exploración y preprocesamiento de datos	✕
TO DO	<u>Generación de datos sintéticos</u>	2024/06/27	Exploración y preprocesamiento de datos	
TO DO	<u>Definición del criterio de medición y comparación de modelos</u>	2024/07/01	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Selección de modelos a utilizar</u>	2024/07/04	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Implementación de los modelos</u>	2024/07/15	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Experimentación con los modelos</u>	2024/07/22	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Comparación de resultados y elección de modelo a utilizar</u>	2024/07/23	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Optimización del modelo elegido</u>	2024/07/30	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Refinamiento del modelo y entendimiento del comportamiento del mismo</u>	2024/08/08	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Cálculo de la incidencia de los parámetros en la predicción</u>	2024/08/12	Desarrollo del modelo	✕
TO DO	<u>Definición del lenguaje</u>	2024/08/13	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Desarrollo del entorno</u>	2024/08/19	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Integración del entorno con los algoritmos a probar</u>	2024/08/22	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Pruebas comparativas con el algoritmo actual</u>	2024/08/27	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Generación de gráficos y documentación de pruebas</u>	2024/08/29	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Análisis de resultados</u>	2024/09/02	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Comparación de tiempos de respuesta de los algoritmos</u>	2024/09/04	Desarrollo del entorno donde se prueba el modelo	✕
TO DO	<u>Escritura de la memoria final</u>	2024/10/10	Elaboración de la memoria	✕
TO DO	<u>Elaboración de la presentación para la exposición final</u>	2024/10/17	Elaboración de la memoria	✕
TO DO	<u>Escritura de la documentación técnica del modelo y su uso para el cliente</u>	2024/10/29	Elaboración de la memoria	

Figura 5. Tareas del diagrama de Gantt.

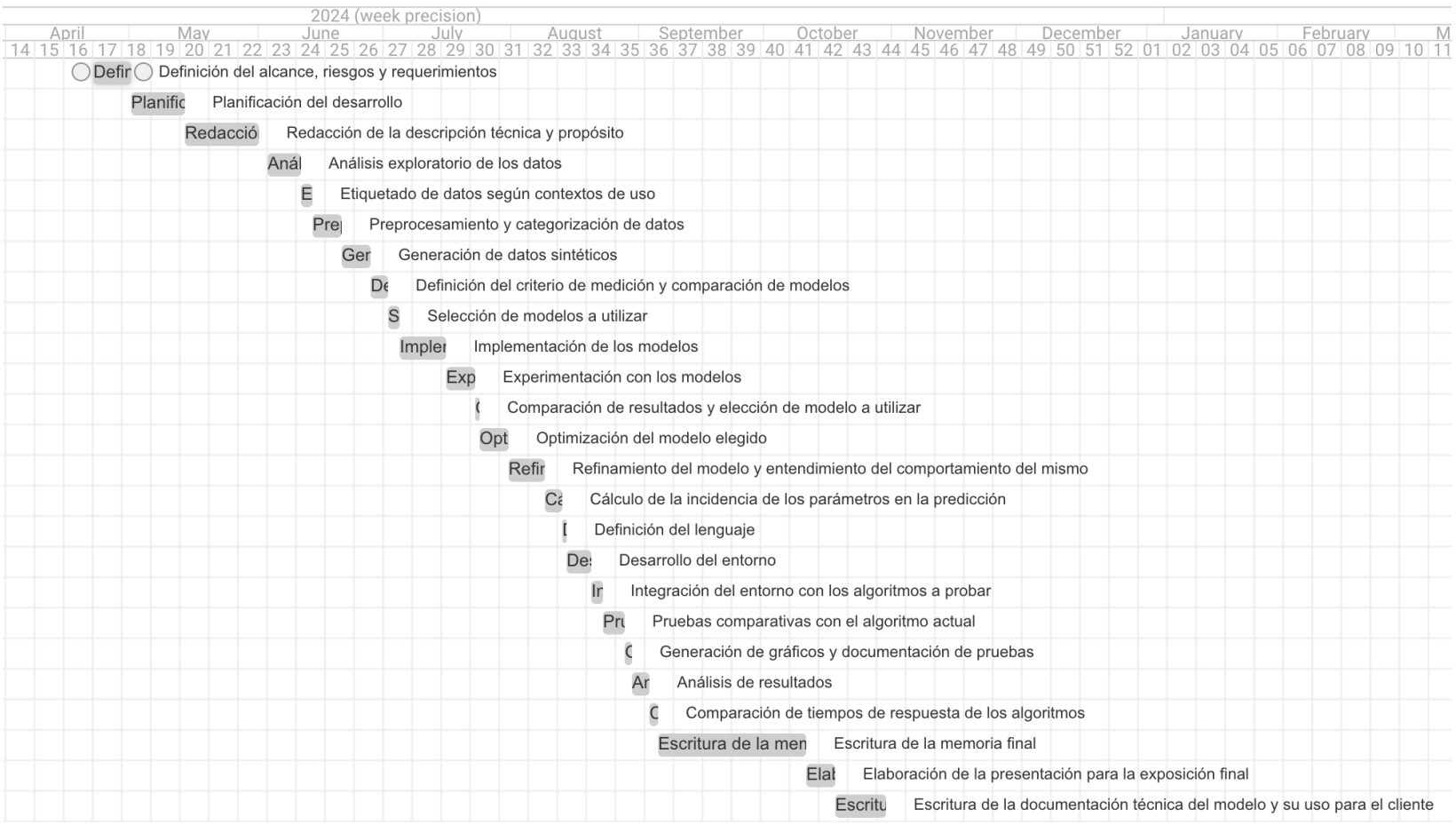


Figura 6. Diagrama de Gantt.

12. Presupuesto detallado del proyecto

A continuación se detalla el presupuesto del proyecto, discriminado en costos directos e indirectos, expresado en pesos argentinos.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería	610 h	\$ 67.500	\$ 41.175.000
SUBTOTAL			\$ 41.175.000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
40 % del costo directo	1	\$ 16.470.000	\$ 16.470.000
SUBTOTAL			\$ 16.470.000
TOTAL			\$ 57.645.000

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

Riesgo 3:

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

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

Criterio adoptado:

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

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.