



Predicción de series de tiempos aplicado al trading de criptomonedas usando la arquitectura de Transformers

Autor:

Ing. Martín Leonardo Centurión

Director:

director a definir (pertenencia)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 15 de octubre de 2024 y el 03 de diciembre de 2024.*

Índice

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

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	15 de octubre de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	30 de octubre de 2024
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	4 de noviembre de 2024
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	11 de noviembre de 2024
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive	18 de noviembre de 2024

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 15 de octubre de 2024

Por medio de la presente se acuerda con Ing. Martín Leonardo Centurión que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Predicción de series de tiempos aplicado al trading de criptomonedas usando la arquitectura de Transformers” y consistirá en la implementación de un sistema de predicción de series de tiempos aplicado al trading de criptomonedas usando la arquitectura de Transformers. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 614 horas y un costo estimado de \$44.131.250, con fecha de inicio el 15 de octubre de 2024 y fecha de presentación pública en el mes de abril de 2026.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Nombre del cliente
Empresa del cliente

director a definir
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Este es un proyecto personal con el objetivo de estudiar, en el contexto de análisis y predicción de series de tiempo, el desempeño de la arquitectura de Transformers. Esta tecnología es una pieza fundacional del estado del arte actual en *deep learning* en general y en predicción de series de tiempos en particular.

Para dicho estudio se propone la aplicación a un sistema de trading de criptomonedas con el que se espera obtener rendimiento y, al mismo tiempo, regular el nivel de riesgo incurrido.

Es valioso explorar el uso de Transformers y sus variantes, ya que permitiría obtener una ventaja comparativa con respecto a otras soluciones mediante la utilización de nuevos modelos basados que presenten mejor poder de predicción.

El objetivo del trading consiste en obtener una ganancia al comprar instrumentos, en este caso criptomonedas, a un precio menor al que se los vende. Se caracteriza por tener un plazo de tiempo acotado, ya que en el largo plazo las fluctuaciones del mercado pierden relevancia frente a las condiciones fundamentales del instrumento en cuestión. Esto es: el precio del bitcoin (BTC) de hoy a diez años depende más de tendencias macroeconómicas que de otras fluctuaciones. Al otro extremo está el trading de alta frecuencia donde se realizan varias operaciones por segundo y requiere del uso de hardware y redes especializadas. Por lo expuesto se decide acotar el plazo de predicción entre un minuto y una semana.

El resultado final, como ilustra la figura 1, constará de un sistema capaz de comprar y vender criptomonedas de forma autónoma, el que realiza consultas a un modelo preentrenado con datos históricos sobre cotizaciones pertinentes.

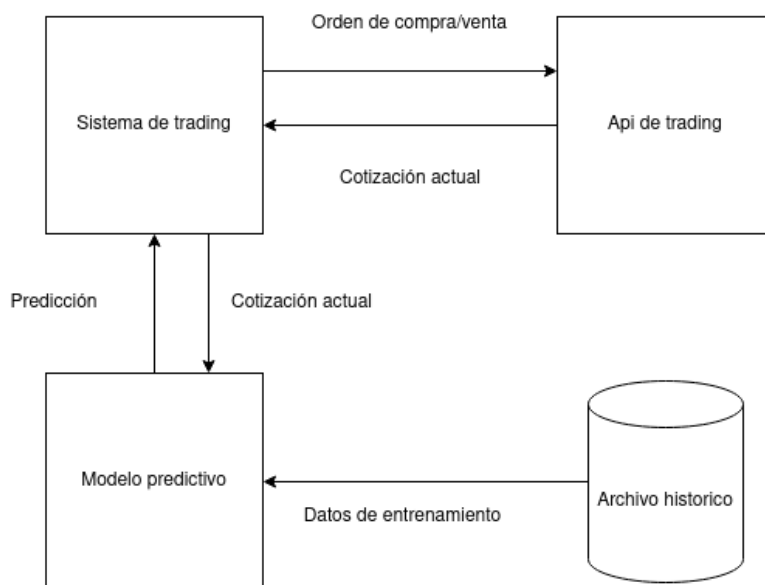


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Responsable	Ing. Martín Leonardo Centurión	FIUBA	Alumno
Orientador	director a definir	pertenencia	Director del Trabajo Final
Cliente	Ing. Martín Leonardo Centurión	FIUBA	Alumno

- Orientador: director a definir.
- Responsable: el alumno encargado de llevar a cabo la planificación e implementación.
- Potencial cliente: individuo con capital disponible para invertirlo.

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es la investigación y aplicación de arquitecturas de Transformers para el trading de criptomonedas. Se buscará explorar esta nueva tecnología y comparar su desempeño con otros modelos previamente utilizados en la industria.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- El desarrollo de un sistema que realice trading de criptomonedas de forma no supervisada.
- Análisis y visualización de los datos históricos correspondientes a las cotizaciones de las criptomonedas seleccionadas.
- La exploración de modelos del estado del arte para el análisis y predicción de series de tiempo.
- El rango temporal máximo a predecir es de una semana.
- El rango temporal mínimo a predecir no implica el uso de hardware especializado ni la conexión a redes especiales.

El proyecto no incluye:

- Un servicio, ni una API para exponer el modelo.
- Aprovechamiento de infraestructura para correr el modelo.
- Implementación de un modelo.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Existen API's con las que integrarse para realizar el trading.
- Existen datasets históricos para entrenar los modelos.
- La arquitectura de transformers es efectiva para la predicción de series de tiempo.
- Existen modelos adecuados para entrenarlos.
- Los modelos se pueden entrenar sin hardware especializado.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El sistema debe poder operar de forma autónoma.
- 1.2. El usuario debe poder ingresar credenciales de una cuenta en un exchange de criptomonedas con la que operar.
- 1.3. El sistema debe poder detenerse de forma segura.
- 1.4. El sistema debe tener parámetros configurables que determinen el nivel tolerable, para un criterio de riesgo a definir.
- 1.5. Al sistema se le puede definir un monto máximo con el que operar.

2. Requerimientos de documentación:

- 2.1. Debe estar documentado como iniciar y detener el sistema de forma segura.
- 2.2. Debe estar documentado los parámetros de configuración y como afectan al comportamiento del sistema.

3. Requerimiento de testing:

- 3.1. El sistema contará con tests de integración contra la API del exchange elegido.
- 3.2. El sistema contará con tests de componente que validen las reglas de negocio del servicio. Por ejemplo: respetar el monto máximo o el límite de riesgo.
- 3.3. El modelo será evaluado según su capacidad predicativa y tendrá en cuenta los datos históricos disponibles.
- 3.4. Se diseñará una forma de monitorizar el rendimiento del sistema.

4. Requerimientos de la interfaz:

- 4.1. El sistema proveerá una interfaz de línea de comandos (CLI) para iniciar y detener el sistema.
- 4.2. La CLI será clara en sus errores cuando faltase información necesaria para iniciar el sistema.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

7.1. Roles

Se identifican los siguientes roles:

- Inversor: individuo registrado en el exchange que aporta la cuenta con capital disponible para operar.
- Ingeniero de Operaciones: individuo con conocimientos técnicos responsable de poner el sistema en marcha y velar por su correcto funcionamiento.
- Gerente de inversiones: individuo encargado de decidir los parámetros con los que se configurará el sistema con base en los objetivos de negocio.

7.2. Product backlog

7.2.1. Inversor

1. **Como** inversor **quiero** proveer de forma segura las credenciales de mi cuenta **para** que se pueda operar con el capital disponible. *Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)

7.2.2. Ingeniero de Operaciones

1. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** poder levantar el sistema **para** corroborar que no haya errores de configuración. *Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)
2. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** poder iniciar el sistema **para** que empiece a operar. *Story points*: 8 (complejidad: 2, dificultad: 2, incertidumbre: 3)
3. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** poder detener el sistema **para** que deje de operar. *Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)
4. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** poder detener el sistema de forma segura **para** que no queden transacciones sin finalizar. *Story points*: 5 (complejidad: 3, dificultad: 1, incertidumbre: 1)
5. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** poder matar el sistema **para** que deje consumir recursos. *Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)
6. **Como** ingeniero de operaciones **quiero** ver logs del sistema **para** monitorizar errores. *Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)

7.2.3. Gerente de inversiones

1. **Como** gerente de inversiones **quiero** configurar el nivel de riesgo **para** evitar la pérdida de capital. *Story points*: 8 (complejidad: 1, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

2. **Como** gerente de inversiones **quiero** configurar un límite de dinero a invertir **para** evitar la pérdida de capital. *Story points*: 5 (complejidad: 1, dificultad: 2, incertidumbre: 2)

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Documentación.
- Código fuente.
- Memoria del trabajo final.
- Prototipo funcional a la memoria del trabajo final.
- Informe de avance.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Estudio del dominio del problema (176 h):
 - 1.1. Búsqueda de bibliografía (8 h).
 - 1.2. Estudio sobre trading (40 h).
 - 1.3. Estudio sobre indicadores y análisis técnico (40 h).
 - 1.4. Estudio sobre trading algorítmico (30 h).
 - 1.5. Estudio sobre análisis de series de tiempo I (24 h).
 - 1.6. Estudio sobre análisis de series de tiempo II (24 h).
 - 1.7. Estudio sobre compra/venta de criptomonedas (10 h).
2. Procuración y análisis de datos (38 h):
 - Obtención de datos (3 h).
 - Análisis y tratamiento (10 h).
 - Exploración y visualización inicial (15 h).
 - Entrenamiento y selección de un modelo simple para hacer de base (10 h).
3. Exploración de métodos tradicionales y estado del arte (150 h):
 - 3.1. Métodos tradicionales I: moving averages, autoregresión, ARIMA, State Space Models, etc. (25 h).
 - 3.2. Métodos tradicionales II: moving averages, autoregresión, ARIMA, State Space Models, etc. (25 h).
 - 3.3. Estado del arte I: RNN, CNN, Hybrids, Prophet, DeepAR, etc. (25 h).
 - 3.4. Estado del arte II: RNN, CNN, Hybrids, Prophet, DeepAR, etc. (25 h).
 - 3.5. Entrenamiento y selección de modelos (30 h).
 - 3.6. Visualización y exploración (20 h).

4. Exploración del uso de transformers en series de tiempo (100 h):
 - 4.1. Investigación redes neuronales, transformers, estado del arte, etc. (20 h).
 - 4.2. Entrenamiento y selección de modelos (50 h).
 - 4.3. Visualización y exploración (20 h).
 - 4.4. Comparativa con estado del arte (10 h).
5. Implementación del sistema de trading (100 h):
 - 5.1. Integración con la API del exchange para compra/venta (20 h).
 - 5.2. Parametrización de las variables riesgo, monto a operar, etc. (15 h).
 - 5.3. Integración con la API del exchange para cotizaciones (15 h).
 - 5.4. Implementación de la lógica de decisión de compra/venta (15 h).
 - 5.5. Integración con el modelo (10 h).
 - 5.6. Productización de la CLI (15 h).
 - 5.7. Desarrollo de la lógica de monitorización del rendimiento (20 h).
 - 5.8. Documentación (5 h).
6. Escritura de las memorias (50 h).

Cantidad total de horas: 614.

10. Diagrama de Activity On Node

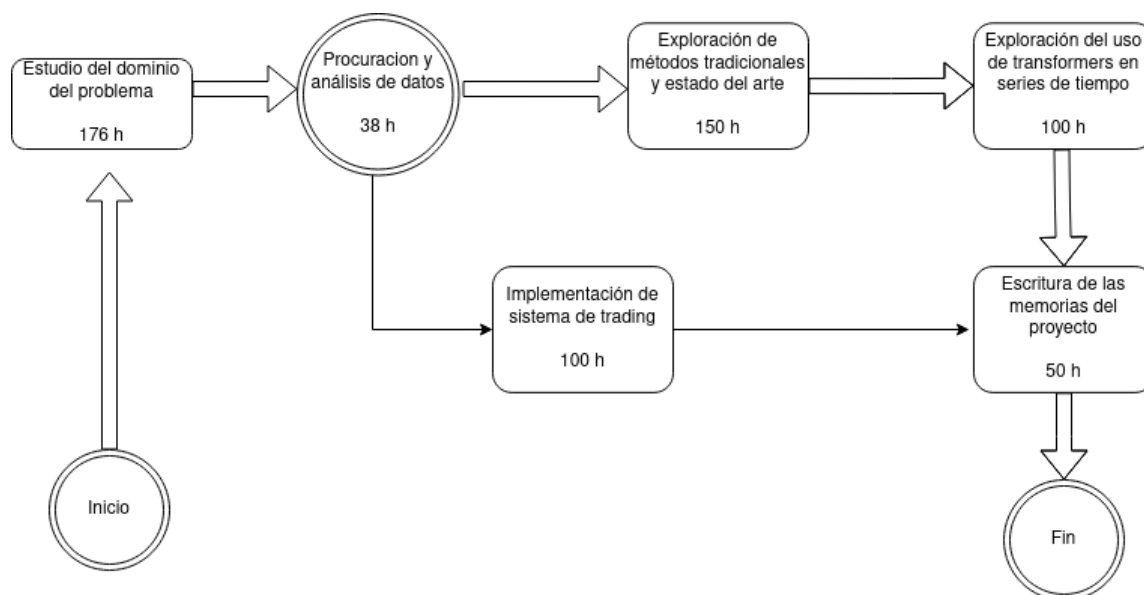


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*. Se ve el camino crítico marcado por flechas con volumen. Todas las estimaciones están en horas. Los hitos están marcados por óvalos.

11. Diagrama de Gantt

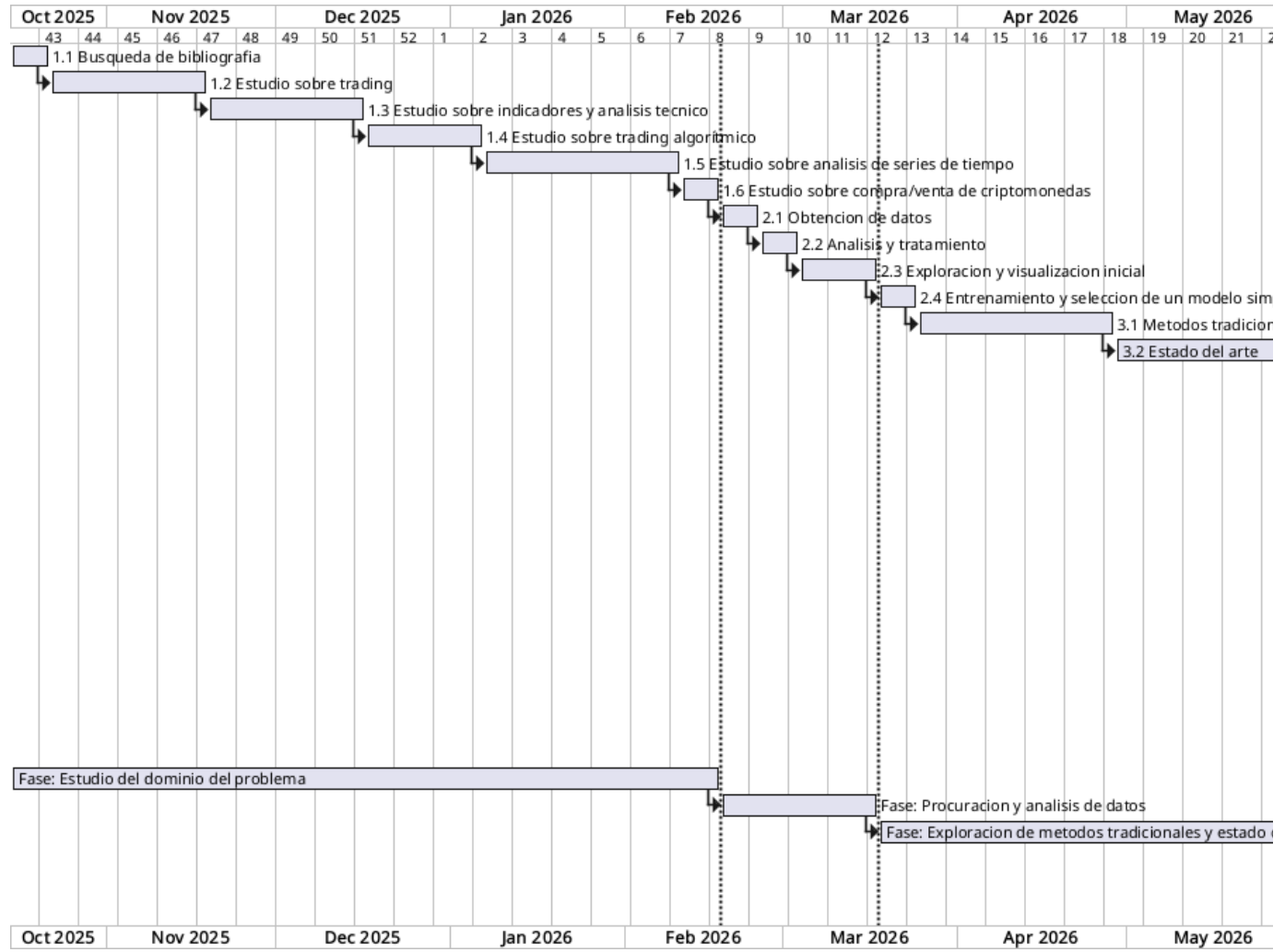


Figura 3. Diagrama de gantt del proyecto (1/2).

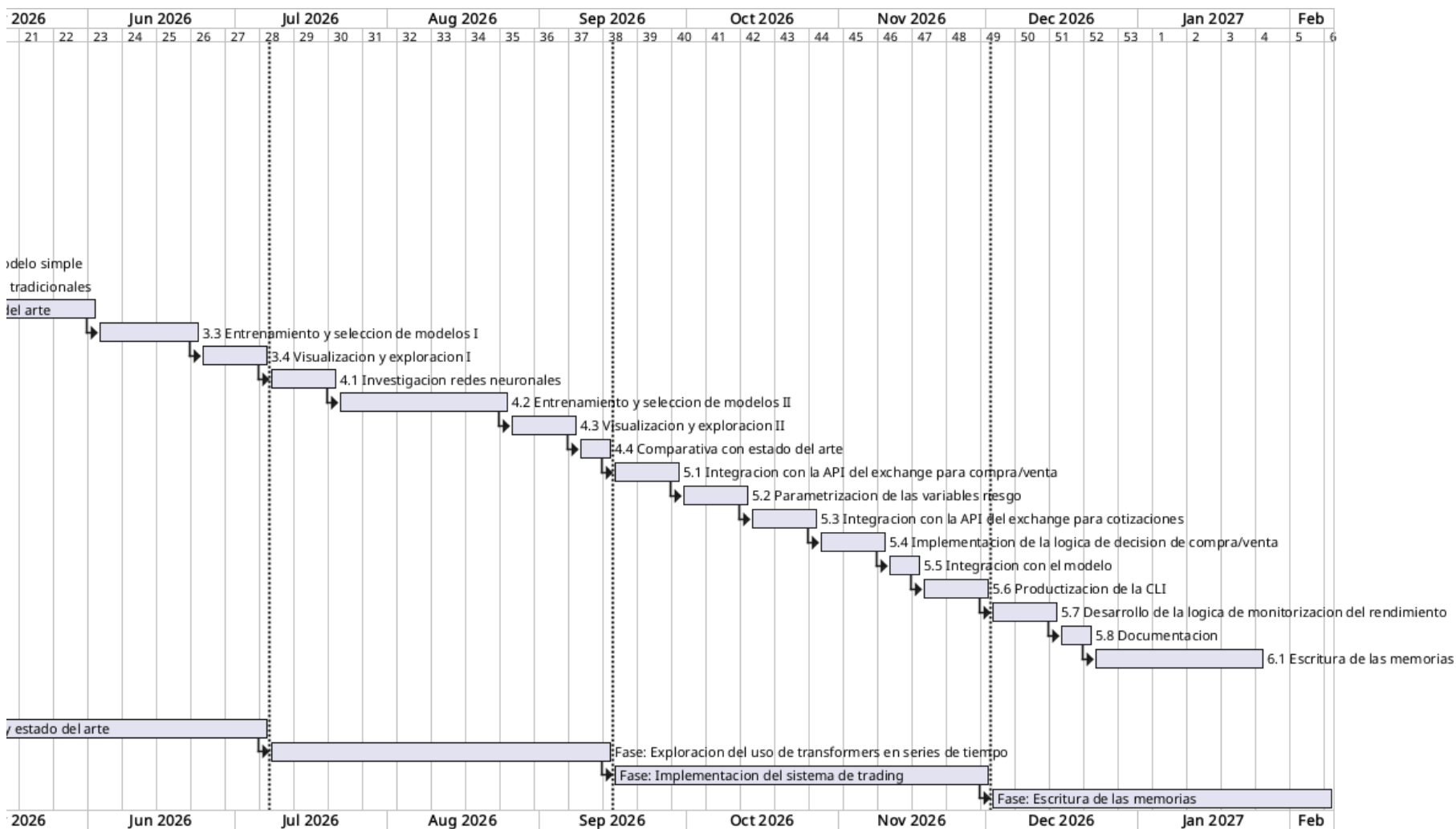


Figura 4. Diagrama de gantt del proyecto (2/2).

12. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de trabajo	614	62500 ARS	38375000 ARS
SUBTOTAL			38375000 ARS
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Costos indirectos (15 % de costos fijos)			5756250 ARS
SUBTOTAL			5756250 ARS
TOTAL			44131250 ARS

13. Gestión de riesgos

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

Riesgo 1: la arquitectura de Transformers no es adecuada para la predicción de series de tiempo en el contexto de las criptomonedas.

- Severidad (S): 10.
La arquitectura de transformers es una pieza central del trabajo.
- Ocurrencia (O): 3.
Hay bibliografía disponible que asevera que dicha arquitectura es efectiva para la predicción de series de tiempo.

Riesgo 2: se requiere de hardware especializado o de gran poder de cómputo para entrenar los modelos de redes neuronales.

- Severidad (S): 5.
Alquilar o adquirir hardware impactaría en los costos del proyecto.
- Ocurrencia (O): 5.
Se desconocen los requerimientos exactos para entrenar los modelos de redes neuronales capaces de predecir series de tiempo de forma efectiva.

Riesgo 3: la integración, para la lectura de cotizaciones, con la API del exchange es paga.

- Severidad (S): 10.
Limitaría en gran medida el periodo de tiempo con el que se pueden hacer predicciones y la precisión mínima aceptable para estas.
- Ocurrencia (O): 1.
Hasta el día de la fecha ha sido gratuita.

Riesgo 4: la comisión para las transacciones incrementa.

- Severidad (S): 8.
Limitaría la precisión mínima aceptable para las predicciones.
- Ocurrencia (O): 3.
Actualmente, para la plataforma Binance, se encuentra en 0,1000 %. Es una decisión de negocio que depende exclusivamente de la plataforma en cuestión, con lo cual puede cambiar.

Riesgo 5: deja de funcionar la computadora con la que se lleva a cabo el desarrollo.

- Severidad (S): 7.
Podría generar pérdida de trabajo. Elevaría el costo final del proyecto.
- Ocurrencia (O): 2.
No se detectan indicios de falla actualmente.

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Riesgo 1: la arquitectura de Transformers no es adecuada para la predicción de series de tiempo en el contexto de las criptomonedas.	10	3	30	6	3	18
Riesgo 2: se requiere de hardware especializado o de gran poder de computo para entrenar los modelos de redes neuronales.	5	5	25	3	5	15
Riesgo 3: la integración, para la lectura de cotizaciones, con la API del exchange es arancelada.	10	1	10			
Riesgo 4: la comisión para las transacciones incrementa.	8	3	24			
Riesgo 5: deja de funcionar la computadora con la que se lleva a cabo el desarrollo.	7	2	14			

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

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores o iguales a 25.

Riesgo 1: la arquitectura de Transformers no es adecuada para la predicción de series de tiempo en el contexto de las criptomonedas.

- Severidad (S*): 6. Existen otros modelos ya sea de *deep learning* o estadísticos que pueden servir para cumplir el objetivo de predecir el valor del BTC. Estos se exploran en una etapa previa del proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3. La probabilidad no cambia.

Riesgo 2: se requiere de hardware especializado o de gran poder de cómputo para entrenar los modelos de redes neuronales.

- Severidad (S*): 3. En caso de ser necesario se contratará un servicio cloud.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 5. La probabilidad no cambia.

14. Gestión de la calidad

1. **Precisión en las predicciones:** el modelo debe ser capaz de predecir con alta precisión las fluctuaciones de precios de las criptomonedas (específicamente en un plazo entre un minuto y una semana).
 - **Acción de verificación:** realizar pruebas de precisión del modelo que utilice métricas como MAE (Error Absoluto Medio), RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio) y MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) en un conjunto de datos de validación.
 - **Acción de validación:** comparar, con el cliente presente, las predicciones con un conjunto de datos de test independiente para asegurar que la precisión general es robusta y consistente en diferentes intervalos de tiempo.
2. **Eficiencia computacional:** el modelo debe ser eficiente en términos de tiempo de entrenamiento y capacidad de hacer predicciones en tiempo real.
 - **Acción de verificación:** medir los tiempos de entrenamiento y tiempos de inferencia para asegurar que se cumplan los requisitos de tiempo de ejecución. Esto puede incluir la medición del tiempo necesario para entrenar el modelo y hacer una predicción de una nueva entrada de datos.
 - **Acción de validación:** validar, con el cliente presente, que el sistema puede hacer predicciones en tiempo real dentro de un plazo de menos de un segundo, según las especificaciones del sistema de *trading*.
3. **Robustez ante ruido de datos:** el modelo debe ser capaz de manejar el ruido de datos y las fluctuaciones inesperadas del mercado sin perder rendimiento significativo.
 - **Acción de verificación:** introducir ruido artificial en los datos de entrada y evaluar la capacidad del modelo para mantener una precisión razonable en la predicción.
 - **Acción de validación:** evaluar, con el cliente presente, el rendimiento del modelo con datos históricos que incluyan fluctuaciones y eventos inesperados en el mercado, como crisis o “*flash crashes*”.
4. **Modelado de tendencias a largo plazo:** el modelo debe ser capaz de captar tendencias a largo plazo, más allá de las fluctuaciones de corto plazo, como en un plazo de predicción de una semana.
 - **Acción de verificación:** utilizar métricas de predicción de largo plazo, como la capacidad del modelo para capturar correctamente las tendencias (por ejemplo, con el coeficiente de determinación R^2 o una métrica de tendencia direccional).
 - **Acción de validación:** validar, con el cliente presente, que el modelo puede predecir correctamente las tendencias de criptomonedas de hasta una semana.
5. **Minimización del riesgo:** el sistema debe ser capaz de gestionar y regular el nivel de riesgo asociado a las inversiones.
 - **Acción de verificación:** implementar un algoritmo de gestión de riesgo que incluya criterios como *stop-loss*, *take-profit* y asignación de capital basada en el riesgo calculado.
 - **Acción de validación:** validar, junto con el cliente, el comportamiento del modelo en diferentes condiciones del mercado, y asegurar que el riesgo no excede los límites establecidos.

6. **Redacción de una memoria final:** se debe redactar una memoria técnica el desarrollo del proyecto.
 - **Acción de verificación:** tener el documento escrito.
 - **Acción de validación:** publicar el documento.
7. **Generación de señales de trading efectivas:** el modelo debe generar señales de compra y venta con un umbral de efectividad aceptable según un indicador de rendimiento como el *Sharpe Ratio* o el Ratio de Ganancia/Pérdida.
 - **Acción de verificación:** evaluar la efectividad de las señales generadas al comparar las señales de trading con los movimientos de mercado reales.
 - **Acción de validación:** dar al cliente que valide que las señales generadas por el sistema en condiciones de mercado normales y extremas tengan un impacto positivo en las ganancias netas durante el *backtesting*.
8. **Sistema autónomo:** el sistema debe ser totalmente autónomo en la compra y venta de criptomonedas.
 - **Acción de verificación:** realizar pruebas con el sistema en funcionamiento por más de un día.
 - **Acción de validación:** realizar pruebas con el sistema en funcionamiento por más de un día y dar acceso al cliente para que pueda validarlo.
9. **Reportes de transacciones:** el modelo deberá tener alguna forma de exportar las transacciones que se realizaron.
 - **Acción de verificación:** emitir registro de las transacciones a medida que se realizan.
 - **Acción de validación:** mostrar el registro de las transacciones al cliente.
10. **Detención segura del sistema:** el sistema debe poder detenerse de forma segura.
 - **Acción de verificación:** probar el mecanismo de detención para asegurarse que no queden transacciones pendientes.
 - **Acción de validación:** mostrar al cliente que, al detener el sistema, no quedan transacciones pendientes.

15. Procesos de cierre

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Responsable: director a definir
 - Procedimiento: se evaluará el cumplimiento de los requerimientos en tiempo y forma. De no ser el caso se desarrollarán las causas y mitigaciones para futuros proyectos.

- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Responsable: director a definir
 - Procedimiento: se evaluarán si las técnicas y procedimientos propuestos fueron efectivos para cumplir con los objetivos. Si se utilizaron otras técnicas y procedimientos que no fueron propuestos también se detallarán.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
 - Responsable: director a definir
 - Procedimiento: presentación final ante las autoridades del CEIA.