



Reconocimiento de eventos quirúrgicos a través de visión por computadora

Autor:

Esp. Ing. Marín A. Brocca

Director:

Dr. Ing. Axel Soto (UNS-CONICET)

Codirector:

Dr. Ing. Felix Sebastian Leo Thomsen (UNS)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 24 de junio de 2025 y el 19 de agosto de 2025.*

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
8. Entregables principales del proyecto	9
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	11
11. Diagrama de Gantt	13
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	24 de junio de 2025
1	Se completa hasta el punto 9 inclusive	7 de julio de 2025
2	Se completa hasta el punto 10 inclusive	15 de julio de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 24 de junio de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Esp. Ing. Marín A. Brocca que su Trabajo Final de la Maestría en Computación de Borde se titulará “Reconocimiento de eventos quirúrgicos a través de visión por computadora” y consistirá en la creación de un modelo de una aplicación basada en inteligencia artificial para la identificación de eventos en quirófanos por medio de visión por computadora. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 700 horas y un costo estimado de \$ 4000, con fecha de inicio el 24 de junio de 2025 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

Luciano Torun
Wúru

Dr. Ing. Axel Soto
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El presente proyecto se realiza en el marco del programa de vinculación con Wúru, empresa fundada en 2019 por un equipo con profunda experiencia en entornos hospitalarios que emergió con la visión de mejorar la eficiencia operativa en instituciones de salud. El foco de este equipo es la optimización continua de procesos mediante la capitalización del vasto volumen de datos generados por sistemas de registros médicos electrónicos (EMR) y equipos radiológicos. En función de esto, la empresa identificó desafíos críticos en el área quirúrgica: el alto costo asociado al tiempo ocioso de los quirófanos y la falta de precisión en el registro de eventos clave, que impactan directamente en la planificación y utilización de recursos.

El problema central que se busca abordar radica en la naturaleza manual y propensa a errores de la documentación de eventos en las salas de operaciones. Actualmente, y dependiendo del sistema EMR empleado, tareas como el inicio y fin de una cirugía, la entrada o salida de pacientes o la limpieza de la sala dependen de la intervención manual del personal de enfermería. Esta dependencia no solo introduce inconsistencias y omisiones en los datos, sino que también genera una carga administrativa adicional y puede llevar a la duplicación de esfuerzos en diferentes sistemas. La consecuencia directa es el desaprovechamiento de los recursos del quirófano, un aumento en los costos operativos y una visibilidad limitada sobre el flujo real de trabajo. En la figura 1 se ejemplifica el ciclo de uso de un quirófano.

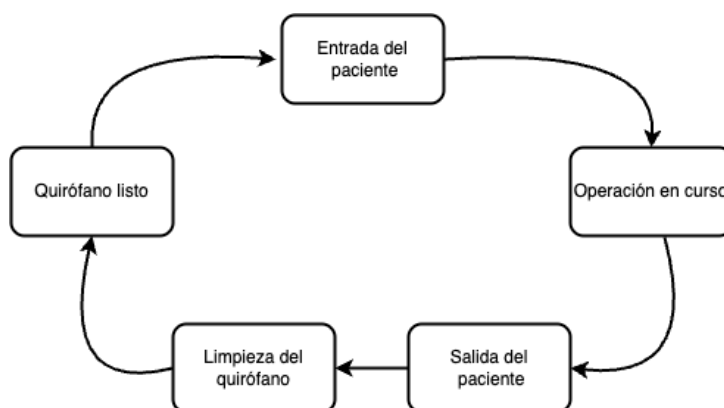


Figura 1. Ciclo de preparación y uso del quirófano.

En el mercado de soluciones hospitalarias existen diferentes alternativas que emplean en mayor o menor medida sistemas de grabaciones de video y voz con diferentes propósitos, como puede ser el monitoreo de eventos intraoperatorios, por ejemplo sangrado, conteo automático del instrumental empleado o capacitaciones a nuevo personal. Los principales inconvenientes de estas aplicaciones son su naturaleza cerrada, es decir, su limitada capacidad para ser integradas a sistemas locales, y el riesgo de dependencia del proveedor (*vendor lock-in*).

Para resolver estos problemas se deben sortear los desafíos que incluyen la gestión del gran volumen de datos de video, la complejidad del etiquetado de eventos temporales (considerando variaciones de iluminación y perspectivas), el desarrollo de un modelo robusto capaz de generalizar a diversas condiciones de quirófano, y la construcción de una aplicación de demostración que refleje fielmente el potencial de la solución.

En la figura 2 se presenta el diagrama en bloques del sistema propuesto. Se observa que la solución se fundamenta en la ingesta de videos provenientes de cámaras de vigilancia instaladas en las salas de operaciones. Estos videos son procesados por un modelo de visión por computadora entrenado para identificar eventos específicos como actividades de limpieza, el

desarrollo de una operación y la entrada o salida de pacientes. A partir de esto, el sistema genera una salida estructurada que refleja el estado actual del quirófano. Dicha información se almacena en una base de datos operacional que alimenta una aplicación de demostración. Esta permite visualizar el estado del quirófano por medio de una interfaz intuitiva para la monitorización y la toma de decisiones operativas.

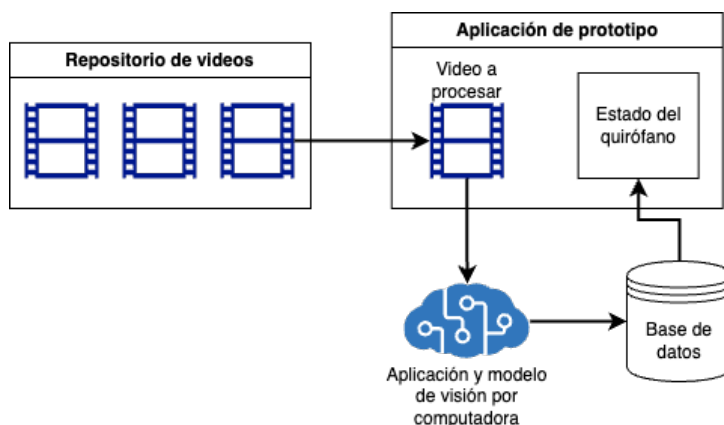


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema a desarrollar.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Luciano Torun	Wúru	CEO
Cliente	Luciano Torun	Wúru	CEO
Responsable	Esp. Ing. Marín A. Brocca	FIUBA	Alumno
Colaborador	Javier Roberts	Wúru	CTO
Orientador	Dr. Ing. Axel Soto	UNS-CONICET	Director del Trabajo Final
Orientador	Dr. Ing. Felix Sebastian Leo Thomsen	UNS-CONICET	Codirector del Trabajo Final
Opositores	Aún no conocidos	-	-
Usuario final	Usuarios de la plataforma de gestión hospitalaria Wúru.	-	-

3. Propósito del proyecto

Desarrollar un prototipo de aplicación que, por medio de técnicas de visión por computadora, permita la automatización de los procesos asociados a la gestión de quirófanos.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Relevamiento detallado de los requerimientos del cliente.

- Armado del dataset a partir de los datos crudos entregados por el cliente.
- Planteo de la tarea de visión por computadora a ser utilizada.
- Selección, entrenamiento y ensayos con modelos de inteligencia artificial.
- Procesamiento del dataset.
- Desarrollo de un prototipo de aplicación de tres capas (backend, frontend y base de datos).
- Desarrollo de APIs para la integración entre la aplicación y el modelo.
- Ejecución de pruebas funcionales y de integración.
- Documentación y entrega de recomendaciones al cliente.
- Escritura de la memoria del trabajo final y defensa ante jurados.

Los siguientes elementos quedan fuera del alcance:

- Implementación del sistema en producción.
- Integración del modelo con las aplicaciones del cliente.
- Integración de la aplicación con los sistemas de cámaras en los quirófanos.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispondrá de la suficiente cantidad de videos para el correcto procesamiento e identificación de eventos..
- La calidad de los videos será la adecuada para su procesamiento.
- En caso de ser necesario, se contará con la ayuda de recursos por parte del cliente para el procesamiento y entrenamiento del modelo.
- Se dispondrá de materiales y/o de soporte académico para completar el proyecto.
- Se contará con el apoyo necesario del cliente cuando se requieran conocimientos específicos relacionados con la operatoria del quirófano.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

1.1. El modelo deberá reconocer 6 posibles estados del quirófano:

- 1) Quirófano vacío.
- 2) Entrada de paciente.
- 3) Operación en curso.

- 4) Salida de paciente.
 - 5) Quirófano en limpieza.
 - 6) Otro.
- 1.2. El estado identificado deberá ser guardado en una base de datos.
 - 1.3. El usuario debe poder procesar videos a demanda.
 - 1.4. La solución propuesta deberá indicar el grado de confianza de la detección del estado.
2. Requerimientos asociados a los datos:
 - 2.1. Se deberá resguardar la privacidad de los datos del hospital y de los pacientes.
 - 2.2. Por motivos de confidencialidad el almacenamiento de código se realizará en repositorios de acceso restringido.
3. Requerimientos de documentación:
 - 3.1. Se desarrollará un informe de avance y una memoria final del proyecto.
 - 3.2. Se entregarán recomendaciones para que el cliente pueda mejorar los procesos de captura y recolección de datos.
 - 3.3. El código se almacenará en la herramienta GitHub.
4. Requerimientos de la interfaz:
 - 4.1. La interfaz de usuario será simple y clara y permitirá agregar un video para su procesamiento.
 - 4.2. El estado del quirófano será visible desde la interfaz de usuario.

7. Historias de usuarios (*product backlog*)

Las historias de usuarios se ponderan en base a las siguientes categorías:

- Cantidad de trabajo a realizar para completar la tarea.
- Complejidad del trabajo requerido.
- Incertidumbre asociada a la actividad, es decir el riesgo de no poder completarla.

Para cada clase, los valores pueden ser 1 (bajo), 3 (medio) y 5 (alto). A las historias de usuario se les asigna un peso por cada categoría y luego estos valores se suman y se reemplazan por un número de la serie de Fibonacci (igual al resultado de la adición o inmediato superior).

En este proyecto se identifican los siguientes roles de usuarios:

- Usuario administrativo: personal del hospital responsable de gestionar el uso del quirófano.
- Administrador del sistema: responsable de la ejecución y monitoreo de los modelos y sistemas.
- Jefe de tecnología de Wúru: a cargo del correcto funcionamiento de la aplicación y su integración con los demás sistemas hospitalarios.

A continuación se detallan las historias de usuarios:

- Como usuario administrativo, quiero poder identificar el estado del o de los quirófanos en cualquier momento para la correcta programación de cirugías .
 - Cantidad de trabajo a realizar: 5
 - Complejidad del trabajo: 5
 - Incertidumbre/riesgo: 3
 - Ponderación final: 13 *story points*

- Como administrador del sistema, quiero poder monitorear la efectividad del modelo como así también la *performance* del sistema para evitar errores en la detección de eventos y la correcta asignación de estados al quirófano
 - Cantidad de trabajo a realizar: 5
 - Complejidad del trabajo: 5
 - Incertidumbre/riesgo: 5
 - Ponderación final: 21 *story points*

- Como jefe de tecnología de Wúru, quiero saber qué técnicas y/o modelos de visión por computadora se ensayaron, para realizar a futuro la implementación en producción.
 - Cantidad de trabajo a realizar: 3
 - Complejidad del trabajo: 2
 - Incertidumbre/riesgo: 1
 - Ponderación final: 8 *story points*

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Informe para el cliente con resumen de ensayos, modelos y/o técnicas utilizadas, resultados y recomendaciones para mejorar el proceso de captura de datos en el futuro.
- Código fuente.
- Plan del proyecto.
- Informe de avance.
- Memoria del trabajo final.

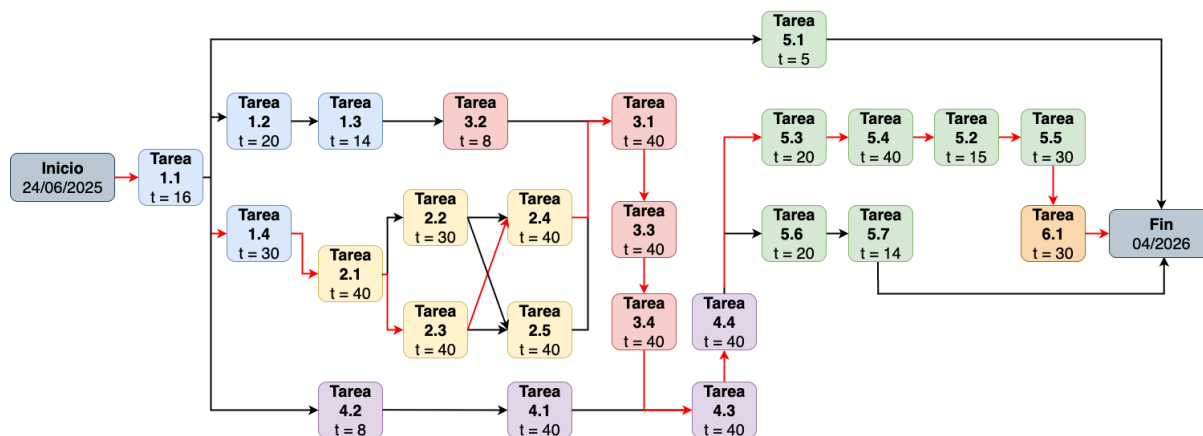
9. Desglose del trabajo en tareas

1. Configuración inicial y planificación. (80 h)
 - 1.1. Definición del problema, requerimientos y categorías de eventos. (16 h)
 - 1.2. Creación del repositorio en GitHub, y de los entornos UV y MLflow. (20 h)
 - 1.3. Configuración de control de versiones con DVC/Git LFS. (14 h)
 - 1.4. Selección y prueba inicial de una herramienta de etiquetado (CVAT/LabelStudio). (30 h)
2. Preparación de datos y etiquetado. (190 h)
 - 2.1. Análisis de videos, definición de eventos, preparación del dataset. (40 h)
 - 2.2. Definición del esquema de anotación (etiquetado). (30 h)
 - 2.3. Extracción de *frames* y sincronización de *timestamps*. (40 h)
 - 2.4. Etiquetado del quirófano 1. (40 h)
 - 2.5. Etiquetado del quirófano 2. (40 h)
3. Desarrollo del modelo. (128 h)
 - 3.1. Realización de pruebas y selección del modelo base. (40 h)
 - 3.2. Configuración y prueba de la herramienta MLflow para seguimiento de experimentos. (8 h)
 - 3.3. Evaluación del modelo y ajuste de umbrales. (40 h)
 - 3.4. Evaluación final y métricas por estado. (40 h)
4. Inferencia e integración (128 h)
 - 4.1. Desarrollo de la aplicación prototipo. (40 h)
 - 4.2. Diseño del esquema de base de datos (SQLite/PostgreSQL). (8 h)
 - 4.3. Empaquetamiento del modelo y sus APIs en un contenedor Docker. (40 h)
 - 4.4. Realización de pruebas *end-to-end* (video → predicción → base de datos → dashboard). (40 h)
5. Elaboración de documentos. (144 h)
 - 5.1. Elaboración del informe de avance del proyecto. (5 h)
 - 5.2. Elaboración del video de demostración de la solución. (15 h)
 - 5.3. Confección de la memoria del trabajo final (TTF A). (20 h)
 - 5.4. Confección de la memoria del trabajo final (TTF B). (40 h)
 - 5.5. Aplicación de correcciones y ajustes en la memoria. (30 h)
 - 5.6. Documentación de código, herramientas y experimentos. (20 h)
 - 5.7. Creación del documento de recomendaciones para el cliente. (14 h)
6. Presentación del trabajo. (30 horas)
 - 6.1. Preparación de la presentación final y defensa pública del trabajo. (30 h)

Cantidad total de horas: 700.

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 3 se aprecia el diagrama de Activity on Node para este proyecto. Las tareas se representan por medio de bloques interconectados con flechas para mostrar la dependencia que hay entre ellas. El tiempo para cada actividad está expresado en horas y la duración del camino crítico (identificado con color rojo) es de 501 h.



1. Configuración inicial y planificación.

- 1.1 Definición del problema, requerimientos y categorías de eventos.
- 1.2. Creación del repositorio en GitHub, y de los entornos UV y MLflow.1.
- 1.3. Configuración de control de versiones con DVC/Git LFS.
- 1.4. Selección y prueba inicial de una herramienta de etiquetado (CVAT/LabelStudio).

2. Preparación de datos y etiquetado.

- 2.1. Análisis de videos, definición de eventos, preparación del dataset.
- 2.2. Definición del esquema de anotación (etiquetado).
- 2.3. Extracción de frames y sincronización de timestamps.
- 2.4. Etiquetado del quirófano 1.
- 2.5. Etiquetado del quirófano 2.

3. Desarrollo del modelo.

- 3.1. Realización de pruebas y selección del modelo base.
- 3.2. Configuración y prueba de la herramienta MLflow para seguimiento de experimentos.
- 3.3. Evaluación del modelo y ajuste de umbrales.
- 3.4. Evaluación final y métricas por estado.

4. Inferencia e integración.

- 4.1. Desarrollo de la aplicación prototipo.
- 4.2. Diseño del esquema de base de datos (SQLite/PostgreSQL).
- 4.3. Empaquetamiento del modelo y sus APIs en un contenedor Docker.
- 4.4. Realización de pruebas end-to-end.

5. Elaboración de documentos.

- 5.1. Elaboración del informe de avance del proyecto.
- 5.2. Elaboración del video de demostración de la solución.
- 5.3. Confección de la memoria del trabajo final (TTF A).
- 5.4. Confección de la memoria del trabajo final (TTF B).
- 5.5. Aplicación de correcciones y ajustes en la memoria.
- 5.6. Documentación de código, herramientas y experimentos.
- 5.7. Creación del documento de recomendaciones para el cliente.

6. Presentación del trabajo.

- 6.1. Preparación de la presentación final y defensa pública del trabajo.

Figura 3. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

En base al las tareas identificadas y su orden de ejecución descripto en el diagrama *Activity on Node*, se confeccionó el diagrama de Gantt del proyecto. Para una mejor lectura, en la tabla 1 se enumeran las actividades a ser realizadas, sus fechas de comienzo y finalización. En la figura 4 se observa el diagrama de Gantt propiamente dicho.

Nombre de tarea	Inicio	Fin
1. Configuración inicial y planificación.		
1.1 Definición del problema.	24/06/25	01/07/25
1.2 Creación del repositorio.	02/07/25	10/07/25
1.3 Configuración de DVC/Git LFS.	11/07/25	17/07/25
1.4 Selección y prueba de herramienta de etiquetado.	02/07/25	15/07/25
2. Preparación de datos y etiquetado.		
2.1 Análisis de videos, definición de eventos.	16/07/25	04/08/25
2.2 Definición del esquema de etiquetado.	05/08/25	18/08/25
2.3 Extracción de <i>frames</i> .	05/08/25	22/08/25
2.4 Etiquetado del quirófano 1.	25/08/25	11/09/25
2.5 Etiquetado del quirófano 2.	25/08/25	11/09/25
3. Desarrollo del modelo.		
3.1 Realización de pruebas y selección del modelo base.	12/09/25	01/10/25
3.2 Configuración de MLflow.	18/07/25	22/07/25
3.3 Evaluación del modelo y ajuste de umbrales.	02/10/25	21/10/25
3.4 Evaluación final y métricas por estado.	22/10/25	10/11/25
4. Inferencia e integración.		
4.1 Desarrollo de la aplicación prototipo.	07/09/25	24/09/25
4.2 Diseño del esquema de base de datos.	02/09/25	04/09/25
4.3 Empaquetamiento del modelo y sus APIs.	11/11/25	20/11/25
4.4 Realización de pruebas <i>end-to-end</i> .	25/11/25	01/12/25
5. Elaboración de documentos.		
5.1 Elaboración del informe de avance del proyecto.	02/10/25	03/10/25
5.2 Elaboración del video de demostración de la solución.	15/03/26	01/04/26
5.3 Confección de la memoria (TTF A).	05/12/25	21/12/25
5.4 Confección de la memoria (TTF B).	01/03/26	15/03/26
5.5 Aplicación de correcciones y ajustes en la memoria.	01/04/26	10/04/26
5.6 Documentación de código, herramientas y experimentos.	19/12/25	30/12/25
5.7 Creación del documento de recomendaciones.	31/12/25	07/01/26
6. Presentación del trabajo.		
6.1 Presentación final y defensa pública del trabajo.	12/04/26	20/04/26

Cuadro 1. Resumen de tareas del cronograma de trabajo.

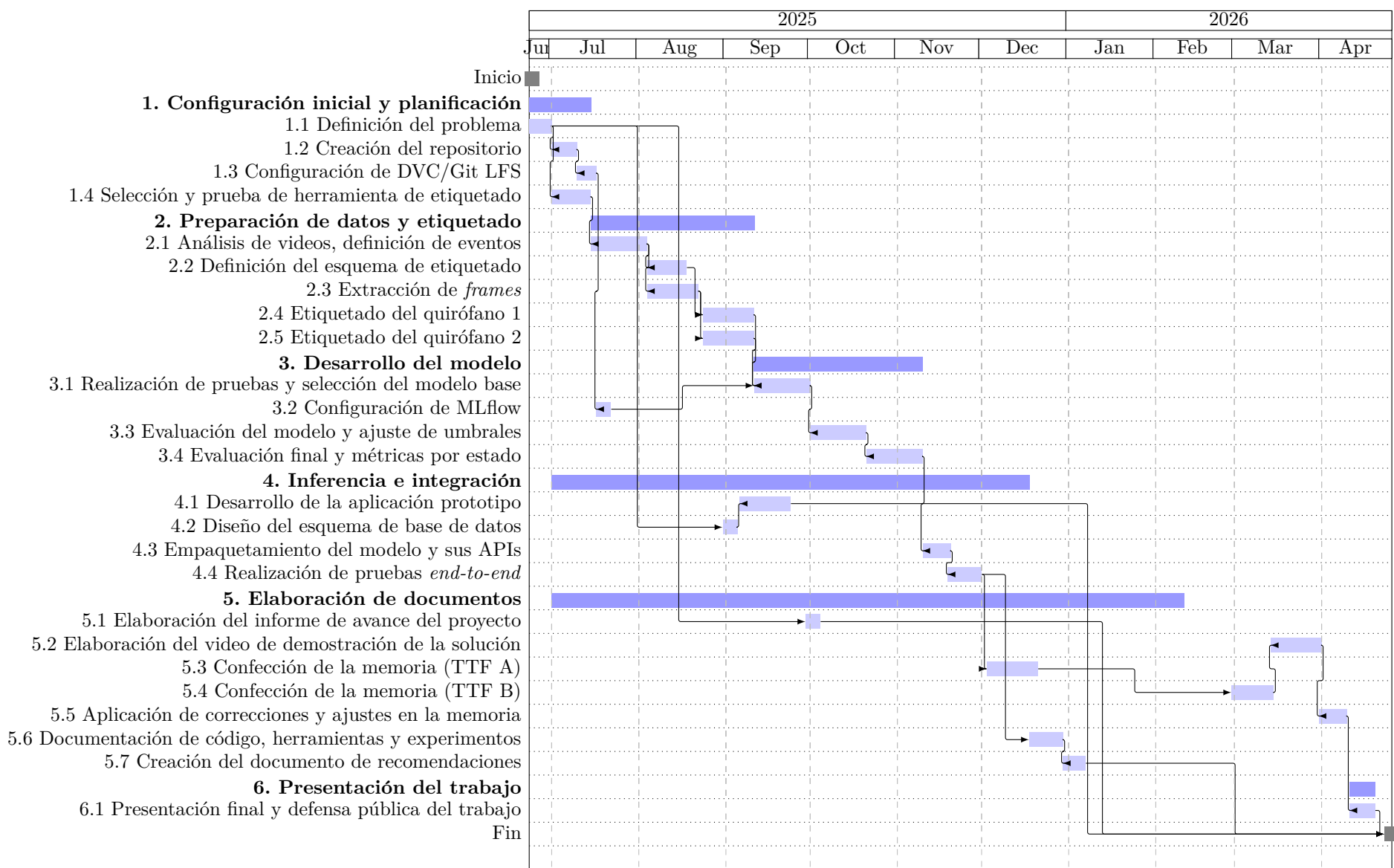


Figura 4. Diagrama de Gantt del proyecto.

12. Presupuesto detallado del proyecto

A continuación se detalla el presupuesto del proyecto con sus costos expresados en dólares estadounidenses.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mano de obra del responsable	700 h	\$50	\$35 000
Computadora personal con <i>GPU</i>	1	\$5 000	\$5 000
SUBTOTAL			\$40 000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Almacenamiento de videos en la nube	50GB	\$0,15 por GB/mes	\$75
SUBTOTAL			\$75
TOTAL			\$40 075

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 $RPN=S \times O$)

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

Una vez finalizado el proyecto, el proceso de cierre contemplará las siguientes actividades:

- Análisis de las pautas de trabajo:

Responsable: Esp. Ing. Marín A. Brocca

Procedimiento:

- Contraste entre el plan y la ejecución: Analizar si se respetaron los plazos originales, si se cumplieron los requerimientos y si el plan de mitigación de riesgos fue el adecuado.
- Transición del repositorio de código al cliente, entregar la documentación asociada y los hallazgos del proyecto.
- Repaso de recomendaciones para la implementación en producción, modificaciones a la arquitectura implementada y modelo desarrollado.

- Análisis de las pautas de trabajo:

Responsable: Esp. Ing. Marín A. Brocca

Procedimiento:

- Se realizará en modalidad virtual y participarán los interesados, jurados y personal docente. Concluida la presentación se agradecerá formalmente a los directores, colaboradores, docentes y autoridades de la Maestría en Computación de Borde.