



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	7
4. Alcance del proyecto	7
5. Supuestos del proyecto.	7
6. Requerimientos	8
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	17
15. Procesos de cierre	20

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

Mg. Ing. Luciano Tourn
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.

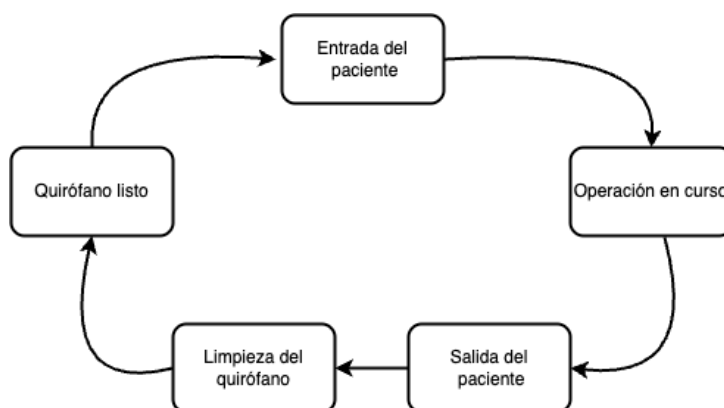


Figura 1. Ciclo de preparación y uso del quirófano.

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.

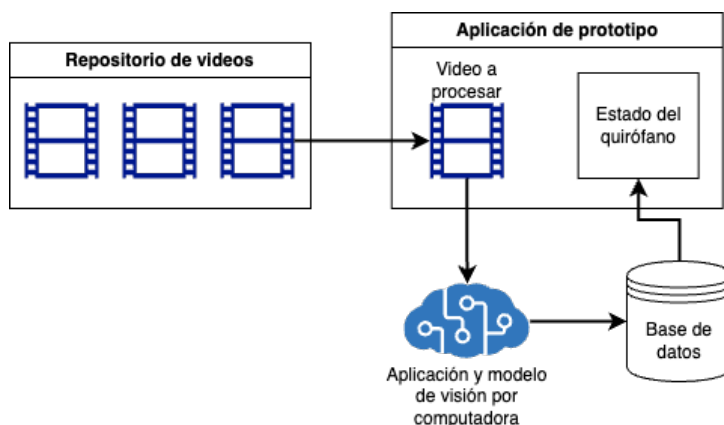


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema a desarrollar.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Mg. Ing. Luciano Tourn	Wúru	CEO
Cliente	Mg. Ing. Luciano Tourn	Wúru	CEO
Responsable	Esp. Ing. Marín A. Brocca	FIUBA	Alumno
Colaborador	Ing. 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.	-	-

- Cliente: Mg. Ing. Luciano Tourn es el fundador y CEO de Wúru, principal interesado en expandir la funcionalidad de su plataforma de gestión de recursos hospitalarios.
- Orientador: Dr. Ing. Felix Sebastian Leo Thomsen es experto en inteligencia artificial, en particular visión por computadora aplicada a la medicina y colaborará en el seguimiento del trabajo final.

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.

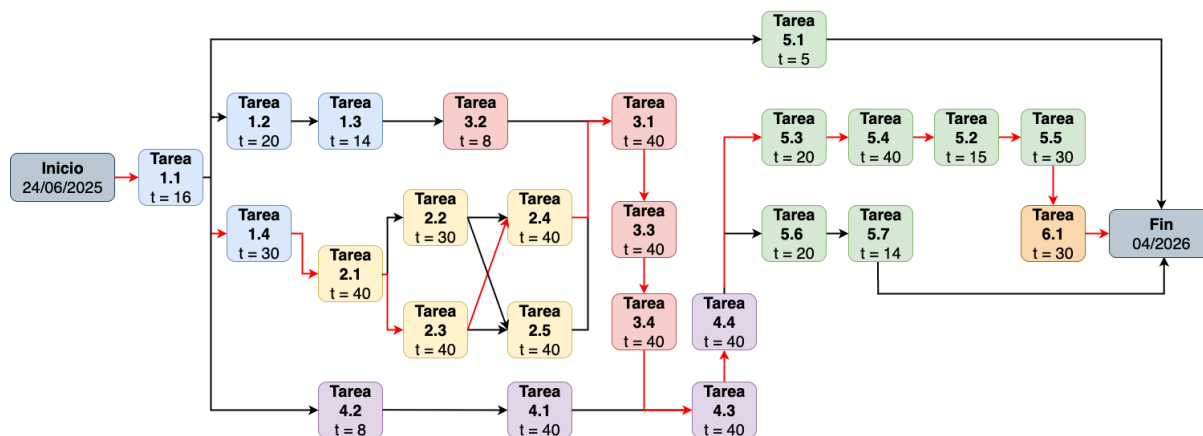
9. Desglose del trabajo en tareas

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.

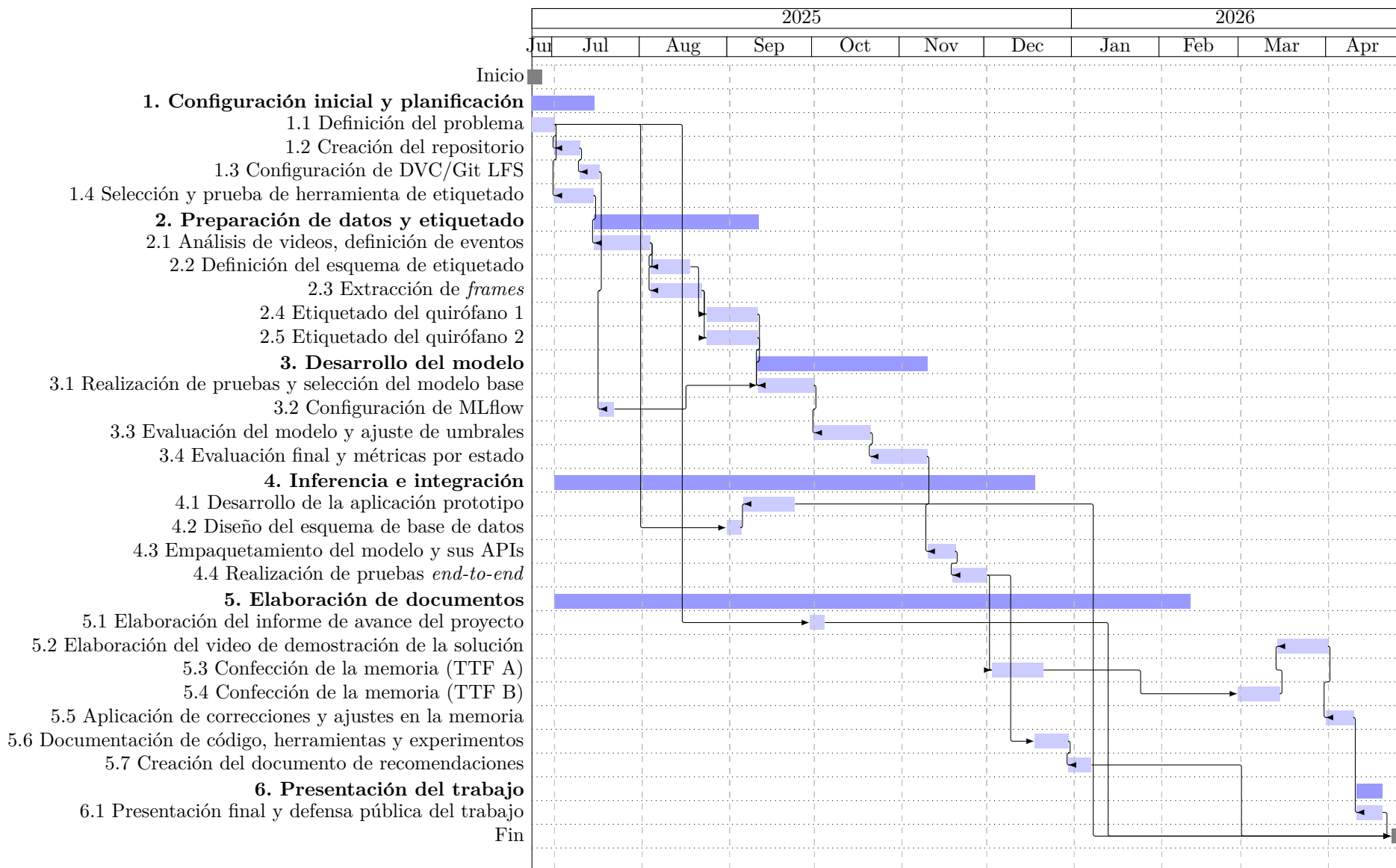


Figura 4. Diagrama de Gantt del proyecto.

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 GPU	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 y estimación de sus consecuencias. Para este análisis se asigna un puntaje a cada riesgo en función de dos aspectos distintos: severidad (S) y probabilidad de ocurrencia (O). La valoración se realiza asignando un número entre 1 y 10 que depende de qué tan severo es el riesgo y qué tan alta es su probabilidad de ocurrencia (a mayor importancia, más grande es el puntaje asignado).

Riesgo 1: la calidad y cantidad de los videos provistos por el cliente no son adecuadas para el problema que se desea resolver.

- Severidad (S): 8.
Los datos de entrenamiento son cruciales para los algoritmos de inteligencia artificial, ya que tienen un impacto directo en su efectividad.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 8.
Es la primera vez que el cliente plantea un experimento de esta naturaleza y se desconocen las características óptimas que debe tener el *set* de datos para lograr los resultados buscados.

Riesgo 2: los recursos computacionales (GPU) disponibles son insuficientes para completar el entrenamiento y ensayo de algoritmos en tiempo y forma.

- Severidad (S): 6.
Esta situación introduciría demoras en el proyecto, o afectar la calidad del resultado para la evaluación de la solución
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
En el supuesto que la computadora adquirida no fuera suficiente, se negociará con el cliente opciones de procesamiento en la nube a fin de evitar demoras en las tareas de entrenamiento.

Riesgo 3: los algoritmos desarrollados no logran identificar los eventos de interés para el cliente (incumplimiento de los requerimientos funcionales).

- Severidad (S): 6.
Si bien el objetivo del cliente es automatizar el relevamiento de los quirófanos en tiempo real, la obtención de resultados parciales o un subconjunto de eventos identificados y las lecciones aprendidas serán igualmente valiosos para mejorar procesos existentes y también como punto de partida para futuros proyectos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
Se considera media-baja, dado que existen técnicas bien conocidas que son efectivas para resolver problemas similares.

Riesgo 4: incumplimiento del cronograma del proyecto debido a enfermedad del responsable, compromisos laborales u otros imprevistos.

- Severidad (S): 6.
El cronograma del proyecto incluye suficiente holgura en las tareas para acomodar imprevistos en la ejecución al reducir la presión sobre el camino crítico.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6.
Se considera este valor dado que es un proyecto con un único responsable para todo el trabajo.

Riesgo 5: falta de soporte por parte del cliente en relación al etiquetado de las imágenes, cuando se requieran conocimientos específicos o para validar resultados.

- Severidad (S): 8.
El éxito del proyecto depende en gran medida de la disponibilidad de los expertos en el área de manejo y administración de quirófanos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
El cliente cuenta con personas idóneas que pueden ayudar a responder consultas y dar soporte cuando sea necesario.

b) Tabla de gestión de riesgos. En el siguiente cuadro se listan los riesgos del proyecto junto con sus valores de severidad (S) y probabilidad de ocurrencia (O). Además, se indica el “número de prioridad de riesgo”(RPN), que se calcula multiplicando la severidad por la probabilidad de ocurrencia ($RPN = S \times O$).

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
La calidad y cantidad de los videos provistos por el cliente no son adecuadas para el problema que se desea resolver.	8	8	64	8	3	24
Los recursos computacionales (GPU) disponibles son insuficientes para completar el entrenamiento y ensayo de algoritmos en tiempo y forma.	6	4	24	-	-	-
Los algoritmos desarrollados no logran identificar los eventos de interés para el cliente (incumplimiento de los requerimientos funcionales).	6	4	24	-	-	-
Incumplimiento del cronograma del proyecto, debido a enfermedad del responsable, compromisos laborales u otros imprevistos.	6	6	36	3	6	18
Falta de soporte por parte del cliente en relación al etiquetado de las imágenes, cuando se requieran conocimientos específicos o para validar resultados.	8	2	16	-	-	-

Criterio adoptado: se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 30.

Nota: los campos marcados con (*) en la tabla indican los valores resultantes luego de haber aplicado la mitigación.

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

Riesgo 1: se acordó con el cliente la entrega de videos de un hospital por el período de 2 semanas, con posibilidad de expandir la cantidad de ejemplos en caso de ser necesario.

- Severidad (S): 8.
La severidad de este riesgo no se modifica luego del plan de mitigación.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3.
Se reduce considerablemente porque se acordará con el cliente la cantidad y las características de los videos adicionales a capturar en base a las necesidades puntuales o evento en particular a detectar.

Riesgo 4: se incluyó un tiempo de contingencia en la planificación de las tareas que conforman el camino crítico, de manera de mitigar posibles demoras causadas por imprevistos como enfermedades, viajes o mudanzas por trabajo, etc.

- Severidad (S): 3.
El tiempo adicional incluido en la planificación ayuda a reducir el impacto de una posible demora.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6.
El plan no afecta la probabilidad de ocurrencia de este riesgo.

14. Gestión de la calidad

A continuación se describen las pruebas de verificación y validación destinadas a comprobar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

- Req #1.1: el modelo deberán reconocer 6 posibles estados del quirófano: Quirófano vacío, Entrada de paciente, Operación en curso, Salida de paciente, Quirófano en limpieza, etc.
 - Verificación: se ejecutará el modelo con un conjunto de datos de prueba comprensivo de los posibles estados del quirófano. Se analizarán las predicciones del modelo para cada video, comparándolas con las etiquetas de manualmente definidas, y se calcularán métricas de rendimiento (precisión, *recall*, *F1-score*) para cada estado. Se revisará el código del modelo para asegurar la correcta implementación de los algoritmos de detección.
 - Validación: el cliente proporcionará un conjunto de videos nuevos (no usados en entrenamiento/prueba) de quirófanos reales. Se procesarán estos videos con la solución final y el cliente inspeccionará visualmente los resultados en la interfaz de usuario, confirmando que el modelo identifica correctamente los diferentes estados en escenarios operativos.
- Req #1.2: el estado identificado deberá ser guardado en una base de datos.
 - Verificación: se ejecutará el módulo de guardado de datos con estados simulados y se verificará directamente en la base de datos (mediante consultas SQL o herramientas de gestión de BD) que los datos se insertan correctamente con el formato y los campos esperados. Se revisará el esquema de la base de datos para asegurar que cumple con los requisitos de almacenamiento.
 - Validación: el cliente procesará algunos videos a demanda. Luego, se le mostrará cómo acceder a la base de datos (o a un reporte generado desde ella) para confirmar que los estados detectados por el modelo se registran y persisten correctamente.
- Req #1.3: el usuario debe poder procesar videos a demanda.
 - Verificación: se realizarán pruebas *end-to-end* donde se carguen diferentes videos a través de la interfaz de usuario y se monitoree el la ejecución del procesamiento hasta la obtención de resultados.
 - Validación: el cliente cargará y procesará varios videos de prueba a través de la interfaz de usuario, confirmando que la funcionalidad de procesamiento a demanda es intuitiva y funciona como se espera.
- Req #1.4: la solución propuesta deberá indicar el grado de confianza de la detección del estado.
 - Verificación: se ejecutará el modelo con un conjunto de videos de prueba y se inspeccionará la salida del modelo para confirmar que, además del estado detectado, se proporciona un valor numérico o una indicación del grado de confianza.
 - Validación: el cliente revisará los resultados de detección para varios videos, prestando atención al indicador de confianza. Se discutirá si la representación de la confianza es clara y útil para la toma de decisiones.
- Req #2.1: se deberá resguardar la privacidad de los datos del hospital y de los pacientes.
 - Verificación: se revisarán los protocolos de anonimización o seudonimización aplicados a los datos de video y cualquier metadato sensible. Se verificará que el acceso a los datos crudos está estrictamente controlado y que no se almacena información personal identificable sin consentimiento explícito. Se realizará una auditoría del flujo de datos para identificar posibles puntos de fuga.

- Validación: el cliente (o un representante de seguridad de datos del hospital) revisará la política de manejo de datos y los procedimientos implementados, confirmando que cumplen con las normativas de privacidad aplicables y sus propias expectativas de confidencialidad.
- Req #2.2: por motivos de confidencialidad el almacenamiento de código se realizará en repositorios de acceso restringido.
 - Verificación: se inspeccionarán las configuraciones de seguridad del repositorio de código (GitHub privado) para confirmar que solo los miembros autorizados tienen acceso de lectura/escritura y que no es público. Se intentará acceder al repositorio desde una cuenta no autorizada para confirmar el bloqueo.
 - Validación: el cliente verificará que el repositorio de código es privado y que solo las personas designadas tienen acceso, confirmando que la confidencialidad del código fuente está asegurada.
- Req #3.1: se desarrollará un informe de avance y una memoria final del proyecto.
 - Verificación: se revisarán los borradores del informe de avance y la memoria final para asegurar que cumplen con la estructura, contenido, y requisitos de formato establecidos por la dirección del posgrado y el cliente. Se verificará la coherencia y completitud de la información.
 - Validación: el director del proyecto, el equipo docente, y los jurados (para la memoria final) revisarán los documentos y proporcionarán retroalimentación, aprobando su contenido y formato.
- Req #3.2: se entregarán recomendaciones para que el cliente pueda mejorar los procesos de captura y recolección de datos.
 - Verificación: se revisará el documento de recomendaciones para asegurar que es claro, conciso, accionable y basado en los hallazgos del proyecto. Se verificará que las recomendaciones son relevantes para los procesos de captura y recolección de datos del cliente.
 - Validación: el cliente revisará el documento de recomendaciones y confirmará que las sugerencias son comprensibles, aplicables y valiosas para sus operaciones futuras.
- Req #4.1: la interfaz de usuario será simple y clara y permitirá agregar un video para su procesamiento.
 - Verificación: se realizarán pruebas de usabilidad internas para asegurar que la interfaz es intuitiva, los elementos están bien organizados y la función de carga de video es fácil de encontrar y usar. Se verificarán diferentes escenarios de carga (ej., formatos de archivo, tamaños).
 - Validación: el cliente interactuará con la interfaz de usuario para cargar y procesar videos, proporcionando retroalimentación sobre la simplicidad, claridad y facilidad de uso de la función de carga de videos.
- Req #4.2: el estado del quirófano será visible desde la interfaz de usuario.
 - Verificación: se ejecutarán pruebas con el sistema en funcionamiento, verificando que el estado detectado por el modelo se actualiza y muestra correctamente en la interfaz de usuario en tiempo real (o casi real) a medida que los videos son procesados. Se comprobará la legibilidad y visibilidad del estado.

- Validación: el cliente observará la interfaz de usuario mientras se procesan videos, confirmando que el estado del quirófano se muestra de manera clara, precisa y útil para su monitoreo.

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.