



# Optimización biomecánica del ciclismo asistida por inteligencia artificial

Autor:

Ing. Rodrigo Iván Goñi

Director:

MSc. Fernando Corteggiano (FNRC)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 24 de junio de 2025 y el 16 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 . . . . .                                   | 7  |
| 5. Supuestos del proyecto . . . . .                                 | 8  |
| 6. Product Backlog . . . . .  | 8  |
| 7. Criterios de aceptación de historias de usuario . . . . .        | 10 |
| 8. Fases de CRISP-DM . . . . .                                      | 12 |
| 9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .                         | 14 |
| 10. Planificación de Sprints. . . . .                               | 15 |
| 11. Diagrama de Gantt(sprints) . . . . .                            | 17 |
| 12. Normativa y cumplimiento de datos (gobernanza). . . . .         | 20 |
| 13. Gestión de riesgos . . . . .                                    | 20 |
| 14. Sprint Review . . . . .   | 21 |
| 15. Sprint Retrospective . . . . .                                  | 22 |

## 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 5 inclusive  | 07 de julio de 2025 |
| 2        | Se completa hasta el punto 9 inclusive  | 15 de julio de 2025 |
| 3        | Se completa hasta el punto 12 inclusive | 29 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 Ing. Rodrigo Iván Goñi que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Optimización biomecánica del ciclismo asistida por inteligencia artificial ” y consistirá en el desarrollo de un prototipo de un sistema inteligente que, mediante la integración de la detección de pose por redes neuronales y el análisis de datos de sensores, optimice los parámetros biomecánicos de la bicicleta para maximizar la potencia, eficiencia y minimizar el riesgo de lesiones del ciclista. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$15000, con fecha de inicio el 24 de junio de 2025 y fecha de presentación pública el 15 de mayo de 2026.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Nombre del cliente  
Empresa del cliente

MSc. Fernando Corteggiano  
Director del Trabajo Final

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

La biomecánica en el ciclismo es un factor fundamental para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. Se basa en el principio de adaptar la bicicleta a las características físicas del ciclista. Un ajuste incorrecto no solo puede causar lesiones, sino también disminuir la potencia de salida hasta en un 20 %. Sin embargo, el acceso a un análisis biomecánico profesional presenta barreras significativas: las soluciones actuales suelen ser costosas, de baja disponibilidad y requieren visitas a laboratorios especializados.

El desafío principal de este proyecto es encontrar el balance óptimo entre la posición que maximiza la velocidad y aquella que minimiza el esfuerzo y el riesgo de lesiones. Frecuentemente, la postura más aerodinámica no es la más sostenible a largo plazo. Para abordar este problema, se propone el desarrollo de un sistema que ajuste automáticamente los parámetros de la bicicleta. Mediante el uso de inteligencia artificial, el sistema analizará la postura del ciclista para optimizar la potencia de salida y reducir la tensión muscular, lo que exige un enfoque de optimización multiobjetivo con diversas restricciones.

Las soluciones convencionales se basan en un análisis estático y puntual, realizado en un único día y dependiente en gran medida de la experiencia del biomecánico. La recomendación de repetir el ajuste anualmente, sumada a su alto costo y escasa disponibilidad, provoca que la mayoría de los ciclistas no mantengan una configuración óptima en sus bicicletas.

El valor fundamental de este sistema radica en ofrecer al ciclista la capacidad de realizar autoajustes frecuentes, de forma autónoma y a un costo significativamente menor que las alternativas tradicionales. Esto democratiza el acceso a una biomecánica de precisión, lo que permite una mejora continua del rendimiento y la prevención de lesiones.

Para lograr estos objetivos, el sistema propuesto se estructura en una serie de módulos interconectados, como se ilustra en el diagrama de bloques de la figura 1 a continuación:

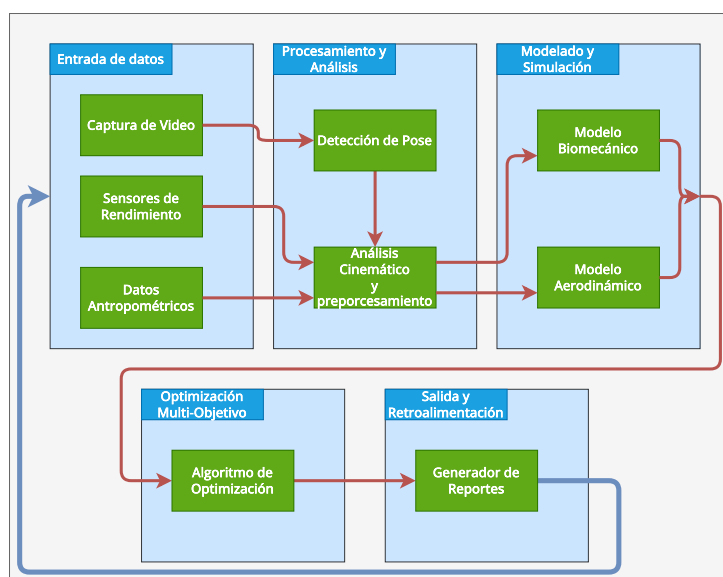


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

- Entrada de datos: este módulo es el encargado de recolectar datos de las distintas fuentes de información. Se compone de una fuente de video, sensores de rendimiento y los datos antropomórficos del ciclista.
- Procesamiento y análisis: este módulo toma los datos de entrada y los procesa. Con la ayuda de una red neuronal de detección de pose, añade los datos de posición del ciclista al sistema. Luego, en un módulo de preprocesamiento, los datos se filtran, sincronizan, limpian y completan.
- Modelado y simulación: con ayuda de un modelo físico y aerodinámico, se predice cómo impactarán los cambios de los parámetros de la bicicleta en el rendimiento.
- Optimización multi-objetivo: con un algoritmo genético, se buscará maximizar la performance del objetivo en un rango adecuado de posición, tratando de minimizar la resistencia aerodinámica y teniendo en cuenta la morfología y el nivel del ciclista.
- Salida y retroalimentación: con los datos de la optimización, se generará un reporte de recomendaciones y posibles configuraciones de la bicicleta. Una vez finalizado el reporte, se recomienda ajustar los parámetros para volver a iniciar el análisis.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

| Rol           | Nombre y Apellido            | Organización | Puesto                     |
|---------------|------------------------------|--------------|----------------------------|
| Responsable   | Ing. Rodrigo Iván Goñi       | FIUBA        | Alumno                     |
| Orientador    | MSc. Fernando Corteggiano    | FNRC         | Director del Trabajo Final |
| Usuario final | Ciclistas de distintos tipos | -            | -                          |

- Responsable: el Ing. Rodrigo Iván Goñi es el líder del proyecto de optimización biomecánica asistida por IA. Es ingeniero en mecatrónica.
- Orientador: el MSc. Fernando Corteggiano, ingeniero electricista y magister en ciencias de la ingeniería de la UNRC, es director y profesor adjunto. Ya ha dirigido diversas tesis, aportará su experiencia en electrónica, telecomunicaciones y software, para definir el alcance y requerimientos del sistema.
- Usuario final: ciclistas de distintos tipos que buscan optimizar la comodidad o el rendimiento de su bicicleta a través de ajustes personalizados.

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema inteligente y personalizado que, mediante la integración de la detección de pose por redes neuronales y el análisis exhaustivo de datos provenientes de sensores de ciclismo, optimice los parámetros biomecánicos de la bicicleta. Esto incluye la altura y posición del sillín, la longitud de las bielas, la altura y ancho del manillar. El objetivo principal es maximizar la potencia y eficiencia del pedaleo, minimizar el riesgo de lesiones y equilibrar estos factores con la aerodinámica. Este sistema permitirá a los ciclistas realizar autoajustes frecuentes, de forma autónoma y a un costo significativamente menor que las alternativas tradicionales, lo que democratiza el acceso a una biomecánica de precisión y permite una mejora continua del rendimiento y la prevención de lesiones.

#### 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Desarrollo de un sistema de optimización personalizado: proporcionará recomendaciones para el ajuste biomecánico de la bicicleta, que busquen maximizar el rendimiento (medido por la potencia y velocidad), la eficiencia y prevenir lesiones.
- Ciclo continuo de análisis y retroalimentación: el sistema funcionará a través de las siguientes etapas:
  - Captura de datos:
    - Calibración de la cámara.
    - Grabación de videos del ciclista pedaleando.
    - Recopilación simultánea de datos de rendimiento mediante sensores de potencia, cadencia y velocidad.
  - Análisis y modelado:
    - Análisis de movimiento: uso de red neuronal de estimación de pose para extraer coordenadas 2D de puntos clave del cuerpo del ciclista desde los videos.
    - Análisis cinemático: estudio de ángulos de articulaciones, fluidez del pedaleo y variabilidad del movimiento.
    - Modelo biomecánico: creación de un modelo digital del sistema ciclista y bicicleta para simular el impacto de los ajustes en la potencia y el riesgo de lesión.
  - Optimización integral: un algoritmo de optimización analizará combinaciones para lograr el equilibrio perfecto entre:
    - Ajuste biomecánico: determinación de la configuración óptima de componentes.
    - Aerodinámica: evaluación de la postura del ciclista para la resistencia del aire, que buscará la posición más aerodinámica y sostenible.
    - Prevención de lesiones: penalización de configuraciones que aumenten el estrés en articulaciones.
  - Recomendación y re-evaluación: generación de un reporte con recomendaciones claras para ajustar la bicicleta, que permita nuevas sesiones de captura de datos para refinar el ajuste.
- Adquisición y uso de datos:
  - Videos de ciclismo grabados desde el lateral y el frontal.
  - Datos de sensores sincronizados: potencia, cadencia y velocidad.
  - Datos antropométricos del ciclista y configuración actual de la bicicleta.
  - Utilización de recursos propios y entorno controlado para pruebas sistemáticas y sincronización precisa.

El presente proyecto no incluye:

- El desarrollo de hardware personalizado para la captura de datos, más allá de la integración con sensores comerciales existentes.
- El entrenamiento de la red neuronal de detección de pose desde cero. se espera utilizar o adaptar redes neuronales preexistentes.

- La integración con todos los posibles modelos de bicicletas y componentes del mercado.
- La simulación de factores externos complejos como condiciones climáticas extremas o interacciones con el tráfico.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispondrá de un rodillo de entrenamiento inteligente y sus respectivos sensores (potenciómetro, cadencia, velocidad) para la captura de datos en un entorno controlado y la realización de pruebas sistemáticas.
- Se tendrá acceso a una cámara de video con capacidad para grabar en alta resolución.
- La red neuronal de detección de pose (como Keypoint R-CNN o MediaPipe) a utilizar será lo suficientemente robusta y precisa para extraer los puntos clave del cuerpo del ciclista necesarios para el análisis biomecánico, y que su rendimiento será adecuado para el procesamiento de video.
- Existirá suficiente disponibilidad de datos propios y de la comunidad.
- El entorno de desarrollo y las herramientas de software necesarias son adecuadas.
- Se contará con el tiempo y los recursos humanos necesarios para la investigación, desarrollo, implementación y realización de pruebas del sistema, incluida la mano de obra propia para la ejecución del proyecto.
- Se contará con la revisión y retroalimentación constante del director del proyecto, MSc. Fernando Corteggiano, para asegurar la correcta orientación técnica y académica.
- Las condiciones de iluminación durante la captura de video serán adecuadas para permitir una detección de pose precisa.
- El proyecto se centrará en optimizaciones biomecánicas para el ciclismo en carretera o interior en rodillo.
- Las variaciones individuales en la anatomía y flexibilidad de los ciclistas podrán ser adecuadamente modeladas y tenidas en cuenta por el algoritmo de optimización.

## 6. Product Backlog

- Épica 1: adquisición y preprocesamiento de datos biomecánicos.
  - HU1: como ciclista, quiero que el sistema tome mi imagen de pedaleo para analizar mi postura.
    - Dificultad: 3
    - Complejidad: 2
    - Incertidumbre: 2
    - Suma: 7 → Story points: 8



- HU2: como ingeniero, quiero consolidar un proceso de obtención de datos coordinado y automatizado para asegurar la eficiencia del análisis.
  - Dificultad: 4
  - Complejidad: 4
  - Incertidumbre: 3
  - Suma: 11 → Story points: 13
- HU3: como ingeniero en inteligencia artificial, quiero aplicar técnicas de visión por computadora para obtener automáticamente los puntos clave de mi cuerpo en los videos de pedaleo, de manera que el análisis biomecánico sea preciso.
  - Dificultad: 5
  - Complejidad: 5
  - Incertidumbre: 4
  - Suma: 14 → Story points: 21
- HU4: como científico de datos, quiero realizar un análisis exploratorio de los datos y filtrarlos correctamente para asegurar la calidad de la información utilizada en los modelos.
  - Dificultad: 3
  - Complejidad: 3
  - Incertidumbre: 2
  - Suma: 8 → Story points: 8
- Épica 2: modelado y optimización biomecánica.
  - HU5: como ingeniero de software, quiero que el sistema simule las condiciones de pedaleo y el impacto de los ajustes mecánicos para predecir los resultados de la optimización.
    - Dificultad: 4
    - Complejidad: 4
    - Incertidumbre: 3
    - Suma: 11 → Story points: 13
  - HU6: como ingeniero, necesito modelar un algoritmo de optimización biomecánica multi-objetivo para encontrar la configuración de bicicleta más eficiente y cómoda.
    - Dificultad: 5
    - Complejidad: 5
    - Incertidumbre: 5
    - Suma: 15 → Story points: 21
  - HU7: Como ingeniero, necesito un sistema de optimización que considere la morfología y el nivel del ciclista para ofrecer recomendaciones personalizadas y efectivas.
    - Dificultad: 4
    - Complejidad: 3
    - Incertidumbre: 3
    - Suma: 10 → Story points: 13
- Épica 3: generación de recomendaciones y experiencia de usuario.
  - HU8: como ciclista, quiero recibir un reporte claro y conciso con las recomendaciones de configuración de mi bicicleta para poder realizar los ajustes yo mismo.

- Dificultad: 3
- Complejidad: 3
- Incertidumbre: 2
- Suma: 8 → Story points: 8
- HU9: como usuario, quiero que la interfaz me permita ingresar fácilmente los parámetros relevantes del ciclista y la bicicleta para obtener un análisis preciso.
  - Dificultad: 3
  - Complejidad: 2
  - Incertidumbre: 2
  - Suma: 7 → Story points: 8
- Épica 4: validación y mejora continua del sistema.
  - HU10: como ciclista, quiero poder re-evaluar mi postura y rendimiento después de aplicar los ajustes recomendados para refinar la optimización.
    - Dificultad: 3
    - Complejidad: 2
    - Incertidumbre: 2
    - Suma: 7 → Story points: 8
  - HU11: como desarrollador, necesito un entorno controlado para realizar pruebas sistemáticas y asegurar la precisión del sistema.
    - Dificultad: 4
    - Complejidad: 3
    - Incertidumbre: 3
    - Suma: 10 → Story points: 13

## 7. Criterios de aceptación de historias de usuario

- Épica 1: adquisición y preprocesamiento de datos biomecánicos.
  - Criterios de aceptación HU1:
    - El sistema debe activar y controlar la cámara de manera autónoma para la captura de video del ciclista mientras pedalea.
    - El ciclista debe recibir una confirmación visual o sonora clara de que la grabación ha comenzado y finalizado correctamente.
    - Los videos capturados deben guardarse automáticamente en un formato específico.
  - Criterios de aceptación HU2:
    - Tras la subida de un video, el sistema debe iniciar automáticamente la secuencia de preprocesamiento y extracción de datos.
    - El ingeniero debe poder visualizar el progreso de la obtención y procesamiento de los datos en una interfaz de estado.
    - El sistema debe registrar un log detallado de cada paso del proceso de obtención de datos, que incluya la hora de inicio y fin, y cualquier error.
  - Criterios de aceptación HU3:

- El algoritmo debe identificar correctamente los puntos clave del esqueleto del ciclista en cada fotograma del video.
- Los puntos clave detectados deben superponerse visualmente sobre el video original para una verificación rápida de la precisión por parte del ingeniero.
- La tasa de detección de puntos clave debe ser adecuada y en un tiempo razonable.
- Criterios de aceptación HU4:
  - El sistema debe permitir la aplicación de filtros predefinidos a los datos de los puntos clave.
  - Se deben generar gráficos de distribución y series temporales para cada punto clave y métrica, que permitan la identificación visual de anomalías.
  - La aplicación de filtros debe reducir el ruido en los datos al menos en un 20 % sin perder información relevante, según métricas preestablecidas.
- Épica 2: modelado y optimización biomecánica.
  - Criterios de aceptación HU5:
    - El sistema debe ser capaz de simular las métricas biomecánicas clave para configuraciones de bicicleta diferentes.
    - Los resultados de la simulación deben presentarse en gráficos comparativos que muestren claramente el impacto de cada ajuste en las métricas.
    - Cada simulación individual debe completarse en un tiempo adecuado.
  - Criterios de aceptación HU6:
    - El algoritmo debe generar un conjunto de soluciones de Pareto que maximicen la eficiencia, minimicen la incomodidad y respeten las restricciones biomecánicas.
    - Las soluciones del frente de Pareto deben visualizarse en un gráfico que permita al ingeniero entender el balance entre los diferentes objetivos.
    - El algoritmo debe demostrar convergencia hacia un conjunto de soluciones estables y diversas dentro de un número razonable de generaciones o iteraciones.
  - Criterios de aceptación HU7:
    - El sistema debe ajustar los rangos de optimización y las ponderaciones de los objetivos con base en los datos de morfología y nivel del ciclista.
    - Las recomendaciones generadas deben mostrar una justificación clara de cómo la morfología y el nivel del ciclista influyeron en los ajustes sugeridos.
    - Los modelos internos deben integrar los parámetros morfológicos y de nivel del ciclista como variables de entrada en el proceso de optimización.
- Épica 3: generación de recomendaciones y experiencia de usuario.
  - Criterios de aceptación HU8:
    - El sistema debe generar un reporte descargable que incluya las configuraciones de la bicicleta recomendadas.
    - El reporte debe contener diagramas o imágenes que ilustren visualmente cada ajuste y su ubicación en la bicicleta.
    - El reporte debe ser compatible con lectores de PDF estándar y poder ser accedido desde dispositivos móviles y de escritorio.
  - Criterios de aceptación HU9:
    - La interfaz debe presentar campos de entrada de datos claros y con etiquetas descriptivas para todos los parámetros requeridos.

- La interfaz debe ofrecer validación en tiempo real de los datos ingresados e indicar errores de formato o rangos inválidos de forma intuitiva.
- La interfaz debe ser compatible con los navegadores web modernos.
- Épica 4: validación y mejora continua del sistema.
  - Criterios de aceptación HU10:
    - El sistema debe permitir al ciclista iniciar un nuevo ciclo de captura de video y análisis de postura para una reevaluación.
    - El sistema debe generar un informe comparativo que visualice los cambios en la postura y las métricas de rendimiento entre la evaluación inicial y la reevaluación.
    - Los datos de cada reevaluación deben almacenarse, vincularse con el historial del ciclista y permitir el acceso a versiones anteriores.
  - Criterios de aceptación HU11:
    - El entorno debe permitir la ejecución de pruebas unitarias, de integración y de extremo a extremo para todas las funcionalidades principales del sistema.
    - Los resultados de las pruebas deben visualizarse en un dashboard o reporte que muestre el estado de las pruebas de forma clara.
    - El entorno de pruebas debe ser reproducible y configurable para simular diferentes entornos y conjuntos de datos.

## 8. Fases de CRISP-DM

A continuación se detallan las fases del modelo CRISP-DM aplicadas al proyecto.

### 1. Comprensión del negocio:

- Objetivo: el proyecto busca desarrollar un prototipo de sistema inteligente que optimice los parámetros biomecánicos de una bicicleta. El propósito principal es maximizar la potencia y eficiencia del pedaleo, mientras se minimiza el riesgo de lesiones y se equilibra con la aerodinámica para alcanzar la máxima velocidad posible.
- Valor agregado de IA: la inteligencia artificial se utilizará para analizar la postura del ciclista a través de redes neuronales de detección de pose y para ejecutar un algoritmo de optimización multiobjetivo.
- Métricas de éxito: el éxito del proyecto se medirá por la capacidad del sistema para generar un reporte con recomendaciones claras y cuantificables. Además, la mejora en el rendimiento y la comodidad del ciclista se verificará a través de métricas objetivas y subjetivas post-ajuste, lo que permite un ciclo de reevaluación para validar el impacto positivo de las sugerencias.

### 2. Comprensión de los datos:

- Tipo y origen:
  - Videos del ciclista: grabaciones desde perspectivas lateral y frontal para el análisis de pose.
  - Datos de sensores: información de rendimiento como potencia (W), cadencia (RPM) ritmo cardíaco (BPM), y velocidad (km/h), recopilada de forma simultánea a los videos.

- Datos antropométricos: medidas del ciclista y de la configuración inicial de su bicicleta.
- Cantidad y calidad: se utilizarán recursos propios, que incluyen un rodillo de entrenamiento inteligente que permite realizar pruebas en un entorno controlado. Esta configuración es clave para garantizar la sincronización precisa entre el video y los datos de los sensores. Para enriquecer el dataset, se podrán utilizar datos de plataformas comunitarias como Strava o Zwift.

### 3. Preparación de los datos:

- Características clave y transformaciones:
  - Se aplicarán técnicas de visión por computadora, mediante una red neuronal de estimación de pose, como Keypoint R-CNN o MediaPipe, para extraer las coordenadas 2D de puntos clave del cuerpo del ciclista a partir de los videos.
  - Los datos de sensores y los puntos clave extraídos serán filtrados, sincronizados, limpiados y completados en un módulo de preprocesamiento.
  - A partir de las coordenadas, se realizará un análisis cinemático para estudiar ángulos de articulaciones, fluidez del pedaleo y variabilidad del movimiento.

### 4. Modelado:

- Tipo de problema: el núcleo del proyecto es un problema de optimización multiobjetivo. Se busca encontrar el balance óptimo entre la aerodinámica y la potencia, ya que la postura más aerodinámica no siempre es la más potente o sostenible.
- Algoritmos posibles: se planea utilizar un algoritmo genético para explorar el espacio de soluciones y encontrar una configuración óptima de la bicicleta. Este algoritmo trabajará sobre un modelo físico que predice cómo los cambios en los parámetros impactan en el rendimiento. Además, se creará un modelo biomecánico digital para simular el efecto de los ajustes.

### 5. Evaluación del modelo:

- Métricas de rendimiento: la evaluación no se centrará en métricas de clasificación tradicionales. En su lugar, se evaluará la calidad de las soluciones generadas por el algoritmo de optimización. El algoritmo deberá producir un conjunto de soluciones en el frente de Pareto que representen los mejores compromisos posibles entre los objetivos.
- Métricas cuantificables y automatizables:
  - Reducción de la frecuencia cardíaca (FC) para una potencia dada: a una potencia de salida constante, un menor ritmo cardíaco post-ajuste indicaría una mayor eficiencia cardiovascular y un menor esfuerzo percibido. Esto es directamente medible con los sensores.
  - Reducción de la variabilidad de ángulos críticos: una menor desviación estándar en ángulos articulares clave a lo largo del ciclo de pedaleo puede indicar mayor fluidez, estabilidad y menor riesgo de lesiones. Esto es automatizable a partir del análisis cinemático.
- Métricas subjetivas (para validación funcional):
  - Percepción del esfuerzo (RPE): el ciclista reporta su nivel de esfuerzo en una escala de 6 a 20 para una sesión de potencia y duración predefinida. Una disminución del RPE sería un indicador de confort y eficiencia.
  - Escalas de dolor/molestia: reportes del ciclista sobre la ausencia o reducción de molestias en articulaciones o músculos específicos.

- Proceso de evaluación: la validación final será funcional. El sistema generará un reporte con recomendaciones claras. El ciclista aplicará los ajustes y realizará una nueva sesión de captura de datos en el entorno controlado. En esta nueva sesión, se compararán las métricas objetivas y se recopilarán las métricas subjetivas con respecto a la configuración inicial. Esto permitirá cerrar un ciclo de mejora continua y validar empíricamente la efectividad de las recomendaciones.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

Cuadro 1. Desglose de tareas del proyecto

| Historia de usuario   | Tarea técnica  | Estimación | Prioridad |
|---|--|------------|-----------|
| Épica 1: adquisición y preprocesamiento de datos biomecánicos |  |            |           |
| HU1   | Investigar y seleccionar la librería de Python para el control de la cámara.                                   | 4 h        | Alta      |
| HU1   | Desarrollar el script para iniciar/detener la grabación y guardar el video.                                    | 8 h        | Alta      |
| HU2   | Configurar la recolección de datos de sensores en sincronía con el video.                                      | 8 h        | Alta      |
| HU2   | Implementar una función para la carga de datos antropométricos y de la bicicleta.                              | 6 h        | Media     |
| HU2   | Desarrollar el script que automatice la ejecución secuencial de la captura de video y sensores.                | 8 h        | Alta      |
| HU3   | Investigar y comparar modelos pre-entrenados para la detección de pose.  | 8 h        | Alta      |
| HU3   | Implementar el modelo seleccionado para procesar los videos y extraer coordenadas 2D de puntos clave.          | 8 h        | Alta      |
| HU3   | Desarrollar una función para visualizar los puntos clave superpuestos en los fotogramas para verificación.     | 6 h        | Media     |
| HU4   | Desarrollar scripts para la carga y visualización inicial de datos.  | 8 h        | Alta      |
| HU4   | Implementar filtros para suavizar el ruido en los datos de sensores y coordenadas.                             | 8 h        | Media     |
| HU4   | Escribir funciones para detectar y gestionar valores atípicos o faltantes en las series de datos.              | 6 h        | Media     |
| Épica 2: modelado y optimización biomecánica                  |  |            |           |
| HU5   | Desarrollar el modelo físico-matemático que relacione los ángulos articulares con la potencia y la eficiencia. | 8 h        | Alta      |
| HU5   | Implementar una función que reciba los parámetros de la bicicleta y simule el impacto en el modelo.            | 8 h        | Alta      |
| HU5   | Crear visualizaciones para mostrar los resultados de la simulación.  | 6 h        | Media     |

Continúa en la página siguiente

Cuadro 1 – continuación de la página anterior

| Historia de usuario   | Tarea técnica  | Estimación | Prioridad |
|---|--|------------|-----------|
| HU6   | Investigar y seleccionar una librería de Python para algoritmos genéticos.                                   | 8 h        | Alta      |
| HU6   | Definir la función de fitness multiobjetivo.   | 8 h        | Alta      |
| HU6   | Implementar el algoritmo genético para que explore el espacio de soluciones y encuentre el frente de Pareto. | 8 h        | Alta      |
| HU7   | Definir cómo los datos de entrada ajustarán los rangos y pesos del optimizador.                              | 8 h        | Alta      |
| HU7   | Integrar las variables de personalización como parámetros de entrada en el modelo de simulación.             | 8 h        | Media     |
| HU7   | Ajustar la función de fitness para que penalice soluciones no viables según el perfil del ciclista.          | 8 h        | Media     |
| Épica 3: generación de recomendaciones y experiencia de usuario |  |            |           |
| HU8   | Diseñar la estructura y contenido del reporte final en PDF.  | 6 h        | Alta      |
| HU8   | Desarrollar el script que genere el reporte en PDF con textos, datos y gráficos de forma automática.         | 8 h        | Alta      |
| HU9   | Desarrollar una interfaz de usuario simple para la entrada de datos.   | 8 h        | Media     |
| HU9   | Implementar validaciones de entrada para asegurar que los datos del usuario sean correctos y estén en rango. | 6 h        | Baja      |
| Épica 4: validación y mejora continua del sistema               |  |            |           |
| HU10  | Implementar la funcionalidad para guardar y cargar sesiones de análisis previas.                             | 8 h        | Media     |
| HU10  | Desarrollar un módulo que genere un reporte comparativo entre dos sesiones de un mismo ciclista.             | 8 h        | Media     |
| HU11  | Estructurar el proyecto para permitir pruebas unitarias de los módulos clave.                                | 8 h        | Alta      |
| HU11  | Crear un conjunto de datos de prueba para validar el pipeline completo.                                      | 8 h        | Media     |
| HU11  | Escribir pruebas de integración que verifiquen la correcta comunicación entre los módulos del sistema.       | 8 h        | Media     |

## 10. Planificación de Sprints

Cuadro 2. Planificación detallada de sprints del proyecto

| Sprint   | HU o Fase     | Tarea técnica o de gestión                              | Horas | Responsable | % comp. |
|----------|---------------|---|-------|-------------|---------|
| Sprint 0 | Planificación | Definición del alcance, cronograma y acta constitutiva. | 15 h  | Alumno      | 70 %    |

continúa en la página siguiente

Cuadro 2 – continuación de la página anterior

| Sprint   | HU o Fase     | Tarea técnica o de gestión   | Horas | Responsable | % comp. |
|----------|---------------|--|-------|-------------|---------|
| Sprint 0 | Planificación | Configuración del entorno de desarrollo y repositorios.            | 10 h  | Alumno      | 80 %    |
| Sprint 1 | HU1           | Investigación y selección de librería para control de cámara.      | 8 h   | Alumno      | 50 %    |
| Sprint 1 | HU1, HU2      | Desarrollo del script de grabación y sincronización de sensores.   | 20 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 1 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 2 | HU2           | Desarrollo del script para automatizar la captura de datos.        | 18 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 2 | HU3           | Investigación y comparación de modelos de estimación de pose.      | 12 h  | Alumno      | 100 %   |
| Sprint 2 | HU3           | Implementación de la extracción de puntos clave de videos.         | 15 h  | Alumno      | 90 %    |
| Sprint 2 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 3 | HU3           | Desarrollo de función para visualización del esqueleto.            | 12 h  | Alumno      | 50 %    |
| Sprint 3 | HU4           | Desarrollo de scripts para carga y análisis exploratorio (EDA).    | 18 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 3 | HU4           | Implementación de filtros para suavizado y limpieza de datos.      | 15 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 3 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 4 | HU5           | Desarrollo del modelo físico-matemático del ciclista.              | 25 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 4 | HU5           | Implementación de la simulación de ajustes posturales.             | 20 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 4 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 5 | HU6           | Investigación y selección de librería para optimización genética.  | 10 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 5 | HU6           | Definición de la función de fitness multiobjetivo.                 | 25 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 5 | HU9           | Desarrollo de interfaz de usuario para la entrada de datos.        | 15 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 5 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 6 | HU6           | Implementación del algoritmo genético para la optimización.        | 30 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 6 | HU7           | Definición de la influencia de datos de entrada en el optimizador. | 15 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 6 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 7 | HU7           | Integración de variables de personalización en el modelo.          | 20 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 7 | HU8           | Diseño de la estructura y plantilla del reporte en PDF.            | 10 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 7 | HU8           | Desarrollo del script para la generación automática del reporte.   | 15 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 7 | Gestión       | Documentación continua del sprint.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 8 | HU11          | Creación de un conjunto de datos de prueba con casos conocidos.    | 20 h  | Alumno      | 0 %     |

continúa en la página siguiente



Cuadro 2 – continuación de la página anterior

| Sprint                   | HU o Fase | Tarea técnica o de gestión                                    | Horas | Responsable | % comp. |
|--------------------------|-----------|---|-------|-------------|---------|
| Sprint 8                 | HU11      | Escritura de pruebas de integración para el flujo completo.   | 25 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 8                 | Gestión   | Documentación continua del sprint.                            | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 9                 | HU10      | Implementación de guardado y carga de sesiones de análisis.   | 20 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 9                 | HU10      | Desarrollo de reporte comparativo entre sesiones.             | 20 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 9                 | Gestión   | Documentación continua del sprint.                            | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 10                | Memoria   | Redacción de secciones iniciales e intermedias de la memoria. | 45 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 10                | Gestión   | Revisión y ajustes con tutor.                                 | 5 h   | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 11                | Memoria   | Redacción final y revisión completa de la memoria.            | 25 h  | Alumno      | 0 %     |
| Sprint 11                | Defensa   | Preparación de la presentación y material de defensa.         | 25 h  | Alumno      | 0 %     |
| Total de horas estimadas |           |   | 600 h |             |         |

## 11. Diagrama de Gantt (sprints)

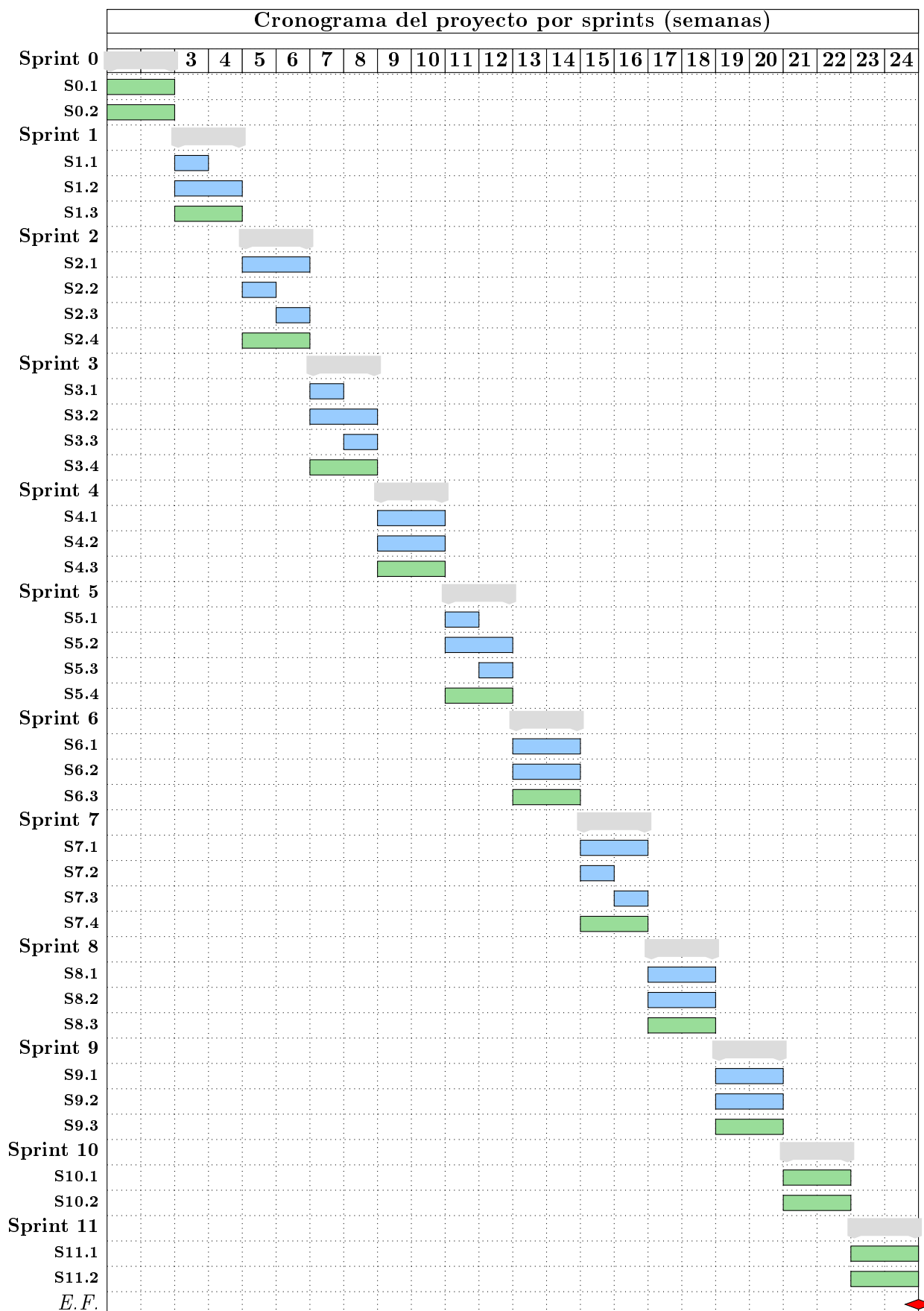
Para mejorar la legibilidad del diagrama de Gantt, se utilizan identificadores abreviados para cada tarea. La siguiente tabla detalla la correspondencia entre cada ID y su descripción completa.

Cuadro 3. Tabla de referencias para las tareas del diagrama de Gantt.

| ID   | Descripción de la tarea   |
|--|---|
| <b>Sprint 0: planificación</b>                       |   |
| S0.1   | Definición del alcance, cronograma y acta constitutiva          |
| S0.2   | Configuración del entorno de desarrollo y repositorios          |
| <b>Sprint 1: adquisición de datos (HU1, HU2)</b>     |   |
| S1.1   | Investigación y selección de librería para control de cámara    |
| S1.2   | Desarrollo del script de grabación y sincronización de sensores |
| S1.3   | Documentación continua del sprint                               |
| <b>Sprint 2: preprocesamiento (HU2, HU3)</b>         |   |
| S2.1   | Desarrollo del script para automatizar la captura de datos      |
| S2.2   | Investigación y comparación de modelos de estimación de pose    |
| S2.3   | Implementación de la extracción de puntos clave de videos       |
| S2.4   | Documentación continua del sprint                               |
| <b>Sprint 3: análisis y visualización (HU3, HU4)</b> |   |
| S3.1   | Desarrollo de función para visualización del esqueleto          |
| S3.2   | Desarrollo de scripts para carga y análisis exploratorio (EDA)  |
| S3.3   | Implementación de filtros para suavizado y limpieza de datos    |
| S3.4   | Documentación continua del sprint                               |
| <b>Sprint 4: modelado (HU5)</b>                      |   |
| S4.1   | Desarrollo del modelo físico-matemático del ciclista            |
| S4.2   | Implementación de la simulación de ajustes posturales           |
| S4.3   | Documentación continua del sprint                               |
| <b>Sprint 5: optimización y ui (HU6, HU9)</b>        |   |

Cuadro 3 – continuación de la página anterior

| ID   | Descripción de la tarea   |
|--|---|
| S5.1   | Investigación y selección de librería para optimización genética  |
| S5.2   | Definición de la función de fitness multiobjetivo                 |
| S5.3   | Desarrollo de interfaz de usuario para la entrada de datos        |
| S5.4   | Documentación continua del sprint                                 |
| <b>Sprint 6: implementación de optimización (HU6, HU7)</b> |   |
| S6.1   | Implementación del algoritmo genético para la optimización        |
| S6.2   | Definición de la influencia de datos de entrada en el optimizador |
| S6.3   | Documentación continua del sprint                                 |
| <b>Sprint 7: personalización y reportes (HU7, HU8)</b>     |   |
| S7.1   | Integración de variables de personalización en el modelo          |
| S7.2   | Diseño de la estructura y plantilla del reporte en PDF            |
| S7.3   | Desarrollo del script para la generación automática del reporte   |
| S7.4   | Documentación continua del sprint                                 |
| <b>Sprint 8: pruebas (HU11)</b>                            |   |
| S8.1   | Creación de un conjunto de datos de prueba con casos conocidos    |
| S8.2   | Escritura de pruebas de integración para el flujo completo        |
| S8.3   | Documentación continua del sprint                                 |
| <b>Sprint 9: funcionalidades extra (HU10)</b>              |   |
| S9.1   | Implementación de guardado y carga de sesiones de análisis        |
| S9.2   | Desarrollo de reporte comparativo entre sesiones                  |
| S9.3   | Documentación continua del sprint                                 |
| <b>Sprint 10: redacción de memoria</b>                     |   |
| S10.1  | Redacción de secciones iniciales e intermedias de la memoria      |
| S10.2  | Revisión y ajustes con el tutor                                   |
| <b>Sprint 11: cierre de proyecto</b>                       |   |
| S11.1  | Redacción final y revisión completa de la memoria                 |
| S11.2  | Preparación de la presentación y material de defensa              |



## 12. Normativa y cumplimiento de datos (gobernanza)

El proyecto gestiona datos personales y sensibles, por lo que su tratamiento exige el cumplimiento estricto de la normativa vigente. Los datos que se recolectan incluyen:

- Datos personales: videos con la imagen del ciclista, sus medidas antropométricas y las métricas de rendimiento (potencia, cadencia) que se asocian a él.
- Datos sensibles: la frecuencia cardíaca (FC), por ser un dato relativo a la salud y requerir un nivel superior de protección.

El marco legal principal es la ley 25.326 de Protección de Datos Personales de la República Argentina, y se adoptan como referencia los principios del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) europeo. Para garantizar la legalidad y la ética del proyecto, se establecen los siguientes requisitos obligatorios:

- Consentimiento explícito: se debe obtener el consentimiento informado de cada ciclista antes de la recolección de datos, con un detalle claro de la finalidad del tratamiento y los derechos del titular.
- Limitación de la finalidad: el uso de los datos se restringe exclusivamente al objetivo del proyecto, que es la optimización biomecánica.
- Seguridad y confidencialidad: es imperativa la implementación de medidas técnicas para la protección de los datos. Se prioriza la anonimización en las etapas tempranas del proceso para mitigar riesgos.

En conclusión, el proyecto es viable desde el punto de vista legal y ético. Su ejecución se condiciona a la correcta y continua aplicación del marco de gobernanza de datos aquí descrito. Al centrarse en el uso de recursos propios en un entorno controlado, el proyecto tiene una gran ventaja para implementar correctamente estos controles.

## 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. Sprint Review

La revisión de sprint (*Sprint Review*) es una práctica fundamental en metodologías ágiles. Consiste en revisar y evaluar lo que se ha completado al finalizar un sprint. En esta instancia, se presentan los avances y se verifica si las funcionalidades cumplen con los criterios de aceptación establecidos. También se identifican entregables parciales y se consideran ajustes si es necesario.

Aunque el proyecto aún se encuentre en etapa de planificación, esta sección permite proyectar cómo se evaluarán las funcionalidades más importantes del backlog. Esta mirada anticipada favorece la planificación enfocada en valor y permite reflexionar sobre posibles obstáculos.

**Objetivo:** anticipar cómo se evaluará el avance del proyecto a medida que se desarrollen las funcionalidades, utilizando como base al menos cuatro historias de usuario del *Product Backlog*.

Seleccionar al menos 4 HU del Product Backlog. Para cada una, completar la siguiente tabla de revisión proyectada:

**Formato sugerido:**

| HU seleccionada | Tareas asociadas | Entregable esperado | ¿Cómo sabrás que está cumplida?          | Observaciones o riesgos          |
|-----------------|------------------|---------------------|--|----------------------------------|
| HU1             | Tarea 1          | Módulo funcional    | Cumple criterios de aceptación definidos | Falta validar con el tutor       |
|                 | Tarea 2          |                     |  |                                  |
| HU3             | Tarea 1          | Reporte generado    | Exportación disponible y clara           | Requiere datos reales            |
|                 | Tarea 2          |                     |  |                                  |
| HU5             | Tarea 1          | Panel de gestión    | Roles diferenciados operativos           | Riesgo en integración            |
|                 | Tarea 2          |                     |  |                                  |
| HU7             | Tarea 1          | Informe trimestral  | PDF con gráficos y evolución             | Puede faltar tiempo para ajustes |
|                 | Tarea 2          |                     |  |                                  |

## 15. Sprint Retrospective

La retrospectiva de sprint es una práctica orientada a la mejora continua. Al finalizar un sprint, el equipo (o el alumno, si trabaja de forma individual) reflexiona sobre lo que funcionó bien, lo que puede mejorarse y qué acciones concretas pueden implementarse para trabajar mejor en el futuro.

Durante la cursada se propuso el uso de la **Estrella de la Retrospectiva**, que organiza la reflexión en torno a cinco ejes:

- ¿Qué hacer más?
- ¿Qué hacer menos?
- ¿Qué mantener?
- ¿Qué empezar a hacer?
- ¿Qué dejar de hacer?

Aun en una etapa temprana, esta herramienta permite que el alumno planifique su forma de trabajar, identifique anticipadamente posibles dificultades y diseñe estrategias de organización personal.

**Objetivo:** reflexionar sobre las condiciones iniciales del proyecto, identificando fortalezas, posibles dificultades y estrategias de mejora, incluso antes del inicio del desarrollo.

Completar la siguiente tabla tomando como referencia los cinco ejes de la Estrella de la Retrospectiva (*Starfish* o estrella de mar). Esta instancia te ayudará a definir buenas prácticas desde el inicio y prepararte para enfrentar el trabajo de forma organizada y flexible. Se deberá completar la tabla al menos para 3 sprints técnicos y 1 no técnico.

**Formato sugerido:**

| Sprint tipo y N°                            | ¿Qué hacer más?                                   | ¿Qué hacer menos?                          | ¿Qué mantener?               | ¿Qué empezar a hacer?               | ¿Qué dejar de hacer?                   |
|---|---|--|------------------------------|-------------------------------------|--|
| Sprint técnico - 1                          | Validaciones continuas con el alumno              | Cambios sin versión registrada             | Pruebas con datos simulados  | Documentar cambios propuestos       | Ajustes sin análisis de impacto        |
| Sprint técnico - 2                          | Verificar configuraciones en múltiples escenarios | Modificar parámetros sin guardar historial | Perfiles reutilizables       | Usar logs para configuración        | Repetir pruebas manuales innecesarias  |
| Sprint técnico - 8                          | Comparar correlaciones con casos previos          | Cambiar parámetros sin justificar          | Revisión cruzada de métricas | Anotar configuraciones usadas       | Trabajar sin respaldo de datos         |
| Sprint no técnico - 12 (por ej.: "Defensa") | Ensayos orales con feedback                       | Cambiar contenidos en la memoria           | Material visual claro        | Dividir la presentación por bloques | Agregar gráficos difíciles de explicar |