

# **PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**

**BoxTrainer: Corrección de técnica de boxeo con  
inteligencia artificial en Argentina durante 2025**

**Muras, Lucas Manuel – LU 1140630**

Ingeniería en Informática

**Parrilla, Nicolás Adrián – LU 1140476**

Ingeniería en Informática

Tutor:

**Yaps, David Pablo, UADE**

**22 de noviembre de 2025**

# **UADE**

**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

## Resumen

La práctica del boxeo en Argentina ha mantenido una popularidad sostenida, la cual experimentó un cambio de paradigma hacia el entrenamiento autónomo y domiciliario, impulsado notablemente tras el aislamiento social preventivo del año 2020. Sin embargo, esta modalidad de práctica sin supervisión profesional ha derivado en una problemática latente: la adquisición de vicios técnicos y patrones de movimiento incorrectos que, ante la falta de corrección inmediata, incrementan significativamente el riesgo de lesiones físicas y limitan el desarrollo deportivo del practicante.

En respuesta a esta necesidad, el presente Proyecto Final de Ingeniería desarrolla BoxTrainer, una aplicación móvil nativa para Android diseñada para asistir en la corrección técnica de los cuatro golpes básicos de boxeo. La solución integra algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial y Visión por Computadora (Computer Vision) mediante una arquitectura desacoplada, permitiendo el análisis biomecánico de la postura y la ejecución del golpe a partir de videos capturados por el usuario, brindando retroalimentación objetiva y personalizada para depurar la técnica.

El software se encuentra dirigido hacia un segmento de boxeadores principiantes y aficionados que buscan perfeccionar su estilo fuera del ámbito de un gimnasio tradicional. A través de un sistema innovador de progresión por niveles basado en métricas de desempeño validadas y no meramente en la repetición física, la propuesta busca democratizar el acceso a la enseñanza técnica de calidad, ofreciendo una herramienta escalable y económicamente viable que complementa, sin reemplazar, la labor del entrenador profesional.

## Abstract

The practice of boxing in Argentina has maintained sustained popularity , experiencing a paradigm shift towards autonomous and home-based training, notably driven by the preventive social isolation of 2020. However, this unsupervised practice modality has led to a latent issue: the acquisition of technical flaws and incorrect movement patterns which, in the absence of immediate correction, significantly increase the risk of physical injuries and limit the practitioner's athletic development.

In response to this need, this Final Engineering Project develops BoxTrainer, a native Android mobile application designed to assist in the technical correction of the four basic boxing punches. The solution integrates advanced Artificial Intelligence and Computer Vision algorithms through a decoupled architecture, enabling biomechanical analysis of posture and punch execution based on videos captured by the user, providing objective and personalized feedback to refine technique.

The software is targeted at a segment of beginner and amateur boxers seeking to perfect their style outside a traditional gym environment. Through an innovative level progression system based on validated performance metrics rather than mere physical repetition, the proposal aims to democratize access to quality technical instruction, offering a scalable and economically viable tool that complements, without replacing, the work of a professional coach.

**Tabla de contenido**

**1. Introducción..... 9**

1.1. Objetivos ..... 10

1.1.1. Objetivo general..... 11

1.1.2. Objetivos específicos..... 11

1.2. Alcance ..... 11

**2. Antecedentes ..... 12**

2.1. Marco Teórico ..... 13

2.1.1. Desarrollo de la problemática ..... 13

2.1.1.1. Actividad física y deporte: bienestar personal y salud ..... 13

2.1.1.2. El deporte como industria y negocio ..... 14

2.1.1.3. Entrenamiento autónomo y uso de tecnología..... 15

2.1.1.4. El boxeo como disciplina deportiva ..... 15

2.1.1.5. Golpes básicos del boxeo y técnica de ejecución ..... 15

2.1.1.6. Riesgos de lesión asociados al entrenamiento sin supervisión ..... 17

2.1.2. Contexto tecnológico..... 17

2.1.2.1. Inteligencia Artificial ..... 18

2.1.2.2. Machine Learning ..... 19

2.1.2.3. Deep Learning..... 20

2.1.2.4. Redes neuronales convolucionales..... 21

2.1.2.5. Computer Vision..... 23

2.1.2.6. Pose Estimation..... 24

2.2. Estado del Arte ..... 25

2.2.1. Aplicaciones en el mercado – Competencia..... 25

2.2.1.1. BOXR..... 25

2.2.1.2.	AI Boxing Coach .....	26
2.2.1.3.	PunchLab .....	26
2.2.1.4.	Heavy Bag Pro .....	27
2.2.1.5.	Herramientas inteligentes para deportes de combate .....	27
2.2.1.6.	Tutoriales .....	28
2.2.1.7.	Comparación de competidores.....	29
2.3.	Océano Azul.....	31
2.3.1.	Análisis FODA.....	31
2.3.1.1.	Fortalezas .....	31
2.3.1.2.	Oportunidades .....	32
2.3.1.3.	Debilidades .....	33
2.3.1.4.	Amenazas.....	33
2.3.2.	Fuerzas de Porter.....	34
2.3.2.1.	Poder de negociación de los proveedores.....	34
2.3.2.2.	Poder de negociación de los clientes .....	34
2.3.2.3.	Amenaza de nuevos competidores .....	35
2.3.2.4.	Amenaza de productos sustitutos.....	35
2.3.2.5.	Rivalidad entre competidores existentes .....	35
2.4.	Conclusión .....	36
2.5.	User Research.....	37
2.5.1.	Entrevista .....	37
2.5.2.	Encuesta.....	39
2.5.3.	User Persona .....	42
<b>3.</b>	<b>Descripción .....</b>	<b>44</b>
3.1.	Requerimientos del sistema .....	44

- 3.1.1. Requerimientos funcionales..... 44
- 3.1.2. Requerimientos no funcionales..... 45
- 3.2. Atributos de calidad..... 46
  - 3.2.1. Disponibilidad..... 46
  - 3.2.2. Usabilidad..... 46
  - 3.2.3. Precisión ..... 47
- 3.3. Diagrama de procesos..... 48
  - 3.3.1. Reconocimiento y corrección de golpes..... 48
  - 3.3.2. Entrenamiento progresivo por niveles..... 50
  - 3.3.3. Seguimiento del progreso individual..... 51
- 3.4. Tecnologías utilizadas ..... 52
  - 3.4.1. Python..... 52
    - 3.4.1.1. Modelo de detección ..... 52
    - 3.4.1.2. Pose Estimation..... 53
  - 3.4.2. React Native..... 54
- 3.5. Modelo de datos ..... 54
- 3.6. Fuente de datos..... 56
  - 3.6.1. Dataset golpes básicos de boxeo ..... 56
    - 3.6.1.1. División para entrenamiento y validación ..... 57
    - 3.6.1.2. Validación del modelo y métricas de Desempeño ..... 57
- 3.7. Arquitectura de la aplicación ..... 58
  - 3.7.1. Diagrama C4 – Level 1..... 59
  - 3.7.2. Diagrama C4 – Level 2..... 61
- 3.8. Aspectos gráficos y visuales ..... 62
  - 3.8.1. Identidad visual..... 62

3.8.2.	Interfaz gráfica .....	64
3.8.2.1.	Login de usuario.....	64
3.8.2.2.	Registro de usuario.....	65
3.8.2.3.	Pantalla de prácticas .....	66
3.8.2.4.	Pantalla de golpes.....	67
3.8.2.5.	Historial de usuario .....	68
3.8.2.6.	Configuración .....	69
3.9.	Viabilidad legal .....	70
3.9.1.	Ley de Protección de Datos Personales.....	70
3.9.2.	Política de Privacidad y almacenamiento de video.....	70
3.9.3.	Derecho de Imagen.....	71
3.9.4.	Responsabilidad Civil y Aviso de Salud .....	71
3.9.5.	Términos y Condiciones.....	71
3.10.	Análisis económico .....	72
3.10.1.	Modelo de negocio .....	72
3.10.1.1.	Propuesta de valor .....	72
3.10.1.2.	Segmentos de clientes.....	73
3.10.1.3.	Canales.....	73
3.10.1.4.	Relación con los clientes .....	73
3.10.1.5.	Fuente de ingresos .....	74
3.10.1.6.	Recursos clave.....	75
3.10.1.7.	Actividades clave .....	75
3.10.1.8.	Socios clave .....	76
3.10.1.9.	Estructura de costos.....	76
3.10.2.	Análisis financiero .....	78

3.10.2.1.	Supuestos y escenarios proyectados.....	78
3.10.2.2.	Flujo de Fondos Neto (FFN).....	79
3.10.2.3.	Valor Actual Neto (VAN).....	80
3.10.2.4.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	81
3.10.2.5.	Payback.....	81
3.10.2.6.	Retorno Sobre la Inversión (ROI) .....	82
3.10.3.	Resultados esperados del análisis financiero .....	83
<b>4.</b>	<b>Metodología de Desarrollo .....</b>	<b>83</b>
<b>5.</b>	<b>Pruebas Realizadas.....</b>	<b>85</b>
5.1.	Pruebas unitarias.....	85
5.2.	Pruebas funcionales .....	87
5.3.	Pruebas de integración.....	90
<b>6.</b>	<b>Discusiones .....</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusión.....</b>	<b>94</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>95</b>
<b>9.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>97</b>
9.1.	Anexo 1 – Entrevistas.....	97
9.1.1.	Entrevista a Gustavo Santillán .....	97
9.2.	Anexo 2 - Encuesta.....	98
9.3.	Anexo 3 - Cronograma de actividades.....	102

## 1. Introducción

En Argentina, el boxeo es una de las disciplinas deportivas más practicadas. De acuerdo con la Encuesta Nacional sobre Actividad Física y Deporte (2023), el 8,1 % de las personas encuestadas manifestó practicar este deporte, lo que lo posiciona entre los de mayor popularidad. Asimismo, un 52,8 % de la población encuestada indicó que entrena en espacios públicos y un 43,1 % en el hogar, ubicando estos entornos como opciones frecuentes para la actividad física.

Esta tendencia se consolidó durante la pandemia de COVID-19 en el año 2020, en el contexto del Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio, cuando el cierre de gimnasios e instalaciones deportivas impulsó el entrenamiento autónomo en ámbitos no convencionales. Sin embargo, la ausencia de supervisión profesional derivó en rutinas mal ejecutadas, generando la formación de hábitos técnicos inadecuados, difíciles de corregir posteriormente. (Presidencia de la Nación Argentina, 2020).

Diversos estudios evidencian que entrenar boxeo sin una técnica apropiada incrementa significativamente el riesgo de lesiones (Alexander J. Alevras, Joel T. Fuller, Rebecca Mitchell, Reidar P. Lystad, 2022). Por otro lado, investigaciones recientes indican que el entrenamiento sin contacto puede mejorar la estabilidad postural mediante ajustes anticipatorios, siempre que se realice con una técnica correcta (Bryan W Shin, William P Berg, Meredith M Stutz, Michael R Hughes, 2022).

Frente a esta problemática, aparece BoxTrainer, una aplicación móvil accesible, escalable y técnicamente viable, destinada a asistir a boxeadores aficionados o principiantes en la mejora de su técnica individual mediante visión por computadora e inteligencia artificial. El sistema posee modelos de estimación de pose corporal para analizar, durante una rutina de entrenamiento, la ejecución de los cuatro golpes básicos del boxeo —jab, cross, hook y uppercut— evaluando variables como ángulos articulares, rotación del tronco y desplazamiento de los pies. Al finalizar la sesión, los datos recolectados se comparan con un modelo profesional vectorizado, generando sugerencias personalizadas de corrección.

La aplicación se plantea para el uso en el hogar o en espacios públicos, especialmente en situaciones donde no se cuenta con la guía de un entrenador especializado. A través de un sistema de niveles progresivos que solo se desbloquean al alcanzar un umbral técnico mínimo, se promueve un aprendizaje adaptativo, seguro y motivador. Este enfoque

permite democratizar el acceso a la corrección técnica desde etapas tempranas, brindando una herramienta pedagógica moderna que contribuye al desarrollo deportivo de quienes se inician en esta disciplina.

La aplicación BoxTrainer se encuentra disponible exclusivamente para dispositivos con sistema operativo Android, que concentra el 87,04 % de la cuota de mercado en Argentina para marzo de 2025 (Statcounter, 2025). La decisión de desarrollar una aplicación nativa para esta plataforma busca maximizar el alcance entre los usuarios que entrenan de forma autónoma.

En comparación con otras aplicaciones del mercado, como AI Boxing Coach y BOXR, BoxTrainer ofrece ventajas distintivas. AI Boxing Coach proporciona rutinas personalizadas y retroalimentación general, pero su sistema de avance se basa en la cantidad de sesiones completadas, sin considerar la calidad técnica de los movimientos basado en métricas, lo cual limita su efectividad para el aprendizaje técnico. Además, se encuentra disponible únicamente en inglés y presenta problemas de compatibilidad con Android. Por su parte, BOXR incluye entrenamientos multideportivos y elementos de gamificación, pero carece de análisis técnico detallado, lo que reduce su utilidad para quienes buscan perfeccionar la ejecución del boxeo. Su contenido, igualmente, se encuentra solo en inglés.

BoxTrainer, en cambio, se posiciona como una solución integral, enfocada en el análisis técnico personalizado y adaptada al idioma y contexto regional. A través de visión por computadora, retroalimentación automatizada y criterios de progresión basados en métricas objetivas, la aplicación permite a los usuarios avanzar en su técnica de manera estructurada, incluso en ausencia de supervisión profesional.

El desarrollo del Proyecto Final de Ingeniería se lleva adelante utilizando una metodología ágil, basada en iteraciones cortas que permiten validar requerimientos, incorporar hallazgos de investigación y ajustar funcionalidades según las necesidades emergentes del usuario final. Este enfoque favorece una evolución continua del producto, en consonancia con los objetivos planteados. En esta sección se analiza el plan de negocio y la factibilidad financiero-económica de BoxTrainer.

## **1.1. Objetivos**

El presente apartado establece los objetivos que estructuran el diseño y la implementación de la solución propuesta

### 1.1.1. Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil para dispositivos Android que permita asistir a boxeadores principiantes o aficionados, en la mejora de su técnica individual mediante el análisis automatizado de sus golpes, utilizando herramientas de visión por inteligencia artificial, en la República Argentina durante el año 2025.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Entrenar y ajustar un modelo de inteligencia artificial capaz de detectar y clasificar con al menos un 80 % de precisión los cuatro golpes básicos de boxeo (jab, cross, hook y uppercut) a partir de grabaciones en tiempo real.
- Identificar errores técnicos en postura, alineación y ejecución, contrastando los movimientos del usuario con modelos vectorizados de referencia, generando reportes personalizados de rendimiento en al menos el 85 % de los ejercicios realizados.
- Implementar un sistema de niveles progresivos basado en métricas internas del modelo (como umbral de similitud técnica  $\geq 80\%$ ) que habilite el avance solo al alcanzar una ejecución técnicamente aceptable, fomentando un aprendizaje guiado y adaptativo.
- Desarrollar una interfaz móvil funcional en idioma español, que brinde retroalimentación clara, correcciones personalizadas y rutinas adaptadas en función del desempeño técnico del usuario.

## 1.2. Alcance

La solución propuesta consiste en una aplicación móvil para dispositivos Android, desarrollada en idioma español, con las siguientes funcionalidades:

- **Reconocimiento de golpes de boxeo y posturas:** A partir de grabaciones de video, se identifican errores técnicos en golpes básicos de boxeo (jab, cross, hook, uppercut), rotación del tronco y desplazamiento de los pies mediante un modelo de inteligencia artificial con visión por computadora.

- **Corrección de técnica:** El sistema señala desviaciones posturales, desbalances o errores técnicos, contrastando la grabación con modelos vectorizados de movimientos ideales, generando una capa de análisis que permite al usuario visualizar las correcciones en tiempo real durante la reproducción de su entrenamiento.
- **Entrenamiento progresivo por niveles:** El entrenamiento se organiza en una estructura de niveles de dificultad creciente. Para avanzar, el usuario debe alcanzar una ejecución técnicamente aceptable según métricas internas del sistema, asegurando una progresión basada en desempeño técnico real.
- **Seguimiento del progreso individual:** La aplicación registra datos técnicos y evaluaciones asociadas a cada sesión de entrenamiento, permitiendo visualizar el avance del usuario en cada fase, facilitando la continuidad del proceso y la identificación de mejoras o estancamientos.

Quedan excluidas del alcance del proyecto las siguientes funcionalidades:

- El análisis de estrategias de combate completas, combinaciones complejas de golpes o secuencias defensivas.
- La incorporación de métricas físicas como velocidad de golpeo, potencia, resistencia o rendimiento cardiovascular.
- La evaluación simultánea de dos o más usuarios en tiempo real.
- La disponibilidad en iOS.

## 2. Antecedentes

La presente sección tiene como propósito establecer un marco de referencia teórico y técnico que permita comprender con mayor profundidad la problemática abordada. A través del análisis de distintos enfoques, se busca contextualizar el surgimiento de esta solución, así como identificar desarrollos previos y propuestas similares que fundamentan su relevancia y viabilidad.

## **2.1. Marco Teórico**

El Marco Teórico se organiza en dos componentes principales. En primer lugar, se presenta el Contexto de la problemática, donde se analiza la actualidad deportiva, las bases del boxeo y la tendencia del entrenamiento desde el hogar. En segundo lugar, se desarrolla el Contexto Tecnológico, que abarca los conceptos clave de visión por computadora, inteligencia artificial y aprendizaje automático, tecnologías fundamentales para el enfoque adoptado en este proyecto.

### **2.1.1. Desarrollo de la problemática**

En la presente sección del Marco Teórico se exponen los conceptos fundamentales necesarios para la comprensión integral del proyecto. Esta sección comprende un análisis de la situación actual del deporte, la creciente tendencia y popularidad de la práctica deportiva individual, los principios básicos del boxeo, así como las dificultades asociadas a la realización de actividad física sin supervisión especializada.

#### **2.1.1.1. Actividad física y deporte: bienestar personal y salud**

La actividad física regular y el deporte no solo representan formas de entretenimiento o competencia, sino que constituyen pilares fundamentales para la salud integral del ser humano. La Organización Mundial de la Salud (OMS) sostiene que realizar al menos 150 minutos semanales de actividad aeróbica moderada reduce significativamente el riesgo de enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes tipo 2, hipertensión y trastornos de salud mental como la ansiedad o depresión (OMS, 2020).

También se ha demostrado que la actividad física ayuda a mejorar la autoestima, reducir la ansiedad y la depresión, y fortalecer las relaciones sociales, lo que contribuye al bienestar emocional general (UNESCO, 2015).

A nivel colectivo, también genera un impacto económico significativo, constituyéndose en un motor de desarrollo que impulsa sectores como el turismo deportivo, el entrenamiento personalizado y las tecnologías para el cuidado físico (aplicaciones móviles, wearables e inteligencia artificial).

### 2.1.1.2. El deporte como industria y negocio

El deporte actúa como un motor económico crucial, impulsando diversos sectores relacionados con el bienestar y la salud (Figura 1). En particular, actividades como el turismo deportivo, el entrenamiento personalizado y la incorporación de tecnologías aplicadas al ejercicio físico —como aplicaciones móviles, dispositivos portátiles (wearables) e inteligencia artificial— han cobrado un papel central en la expansión de esta industria. Esta transformación evidencia cómo el deporte, más allá de su dimensión recreativa o competitiva, se consolida como un eje estratégico de desarrollo económico y social.

En este contexto, el mercado argentino de fitness digital y bienestar muestra un crecimiento sostenido. Para el año 2025, se estiman ingresos de US\$ 532,39 millones, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) estimada del 4,91 % entre 2025 y 2029. De mantenerse esta tendencia, se espera que el volumen de mercado alcance los US\$ 644,80 millones en 2029. Además, la penetración de usuarios se sitúa en el 26,31 % para 2025, con un ingreso medio por usuario (ARPU) de US\$ 43,67, lo que refleja una creciente demanda de soluciones digitales enfocadas en la salud física y mental en el país (Statista, 2025).

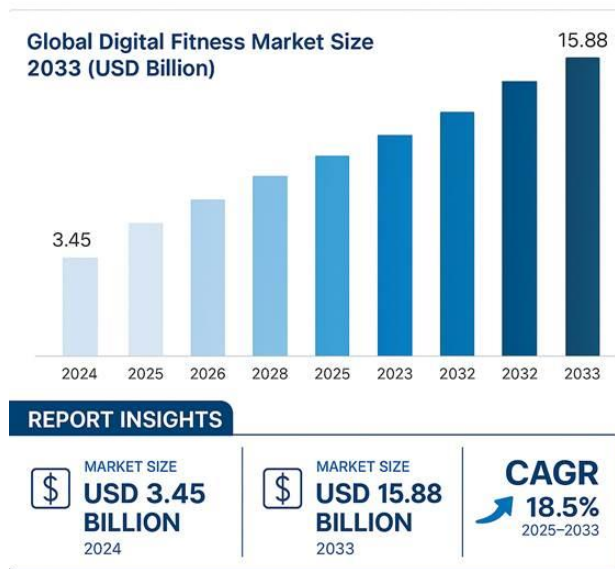


Figura 1: Evolución del tamaño del mercado deportivo mundial en miles de millones de dólares (Business Research, 2025)

### **2.1.1.3. Entrenamiento autónomo y uso de tecnología**

El avance de la tecnología y los cambios en las rutinas cotidianas han impulsado la consolidación de métodos de entrenamiento autónomo. Estos se apoyan en aplicaciones móviles, plataformas virtuales, videos instructivos y soluciones con inteligencia artificial, que permiten a los usuarios ejercitarse fuera de espacios convencionales como gimnasios o clubes.

Sin embargo, en disciplinas técnicas como el boxeo, estas herramientas no pretenden reemplazar la instrucción presencial, sino complementarla. Permiten al alumno:

- Repasar secuencias técnicas aprendidas en clase.
- Realizar ejercicios de sombra, cardio o movilidad en días sin entrenamiento formal.
- Reforzar la memoria motriz y mejorar su condición física general.

Esta modalidad incrementa la autonomía y compromiso del practicante, facilitando la progresión individual sin necesidad de depender exclusivamente del entrenador.

### **2.1.1.4. El boxeo como disciplina deportiva**

El boxeo es un deporte de combate y arte marcial en el cual dos personas intercambian golpes con los puños protegidos por vendas y guantes acolchados, con el fin de sumar puntos o ganar por nocaut en un cuadrilátero bajo la supervisión de un árbitro (Encyclopedia Britannica, 2025).

Las Reglas de Queensberry (1867) establecen el uso obligatorio de guantes, rounds de tres minutos con descansos de un minuto y la prohibición de agarres excesivos, dando así forma al boxeo moderno (Encyclopedia Britannica, 2025).

El boxeo combina técnica, resistencia y estrategia en niveles amateur, recreativos y profesionales. La International Boxing Association (IBA), organismo rector del boxeo olímpico y profesional, agrupa a 190 federaciones nacionales de todo el mundo, lo que refleja su alcance global (iba.sport, 2025).

### **2.1.1.5. Golpes básicos del boxeo y técnica de ejecución**

En el boxeo, los denominados golpes básicos (Figura 2) constituyen los cimientos técnicos sobre los cuales se construye cualquier estilo o estrategia de combate. Su dominio es imprescindible tanto en el nivel amateur como profesional, ya que permiten

desarrollar combinaciones, mantener el control del ritmo del enfrentamiento y responder de manera eficiente ante diferentes situaciones.

1. **Jab**: Golpe recto con la mano adelantada, utilizado para medir distancia y preparar combinaciones. Se lanza extendiendo el brazo delantero sin abrir demasiado el codo y rotando ligeramente la cadera (Precision Striking, 2025).
2. **Cross** (directo): Golpe recto con la mano trasera, de mayor potencia que el jab. Implica una rotación completa de cadera y tronco, transfiriendo la fuerza desde el pie trasero a través del núcleo hasta el puño (Precision Striking, 2025).
3. **Hook** (gancho): Golpe semicircular a media distancia, dirigido al rostro o costillas. Se ejecuta con el brazo doblado a 90° y pivote del pie del mismo lado, acompañado de giro del torso para generar impulso (Precision Striking, 2025).
4. **Uppercut** (ascendente): Golpe vertical de abajo hacia arriba, habitualmente dirigido al mentón. Requiere leve flexión de rodillas y explosión hacia arriba mediante extensión de piernas y rotación de cadera (Precision Striking, 2025).

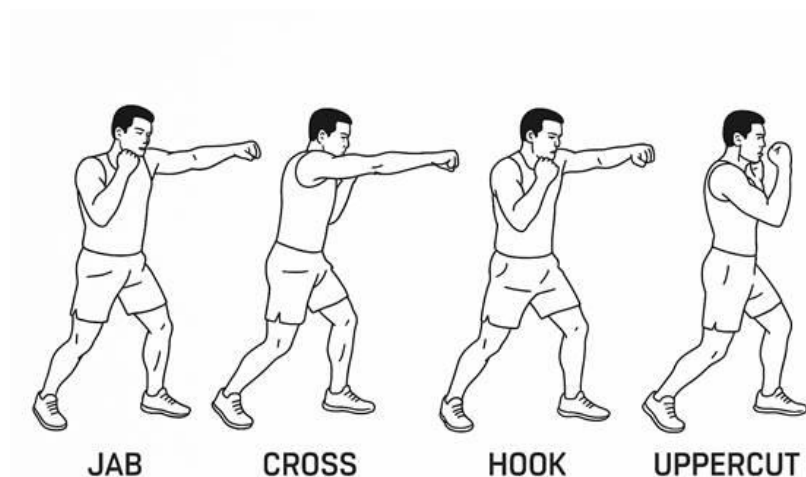


Figura 2: Representación de jab, cross, hook y uppercut (University of Notre Dame)

### **2.1.1.6. Riesgos de lesión asociados al entrenamiento sin supervisión**

La práctica de actividad física sin la supervisión adecuada, especialmente en disciplinas técnicas o de alto impacto, conlleva un riesgo elevado de sufrir lesiones. La falta de una guía profesional que asegure una correcta ejecución de los movimientos puede derivar en patrones posturales incorrectos, sobreuso de ciertos grupos musculares o cargas mal distribuidas, lo que incrementa la probabilidad de distensiones, esguinces y otras afecciones musculoesqueléticas. Esto se vuelve particularmente crítico en entrenamientos realizados de forma autónoma, como los que se realizan en el hogar, donde la corrección técnica suele estar ausente.

En el caso del boxeo, un deporte de contacto que exige coordinación, equilibrio, velocidad y precisión técnica, la ejecución incorrecta de los movimientos puede no solo limitar el rendimiento del practicante, sino también derivar en lesiones agudas o crónicas. Diversos estudios evidencian que entrenar sin una técnica apropiada incrementa significativamente el riesgo de lesiones, especialmente en boxeadores amateurs. Según el análisis realizado por Alevras, Fuller, Mitchell y Lystad (2022), los boxeadores no profesionales sufren, en promedio, una lesión cada 2,5 horas de combate y cada 772 horas de entrenamiento. En competencia predominan las contusiones (35 %) y laceraciones (20 %), mientras que durante las sesiones de práctica son más comunes los esguinces y distensiones, representando el 60 % de los casos.

No obstante, estudios recientes como el de Shin, Berg, Stutz y Hughes (2022) demuestran que el entrenamiento sin contacto, si es realizado con una técnica adecuada, puede generar beneficios significativos, como mejoras en la estabilidad postural a través de mecanismos anticipatorios. Esto refuerza la importancia de asegurar una ejecución técnica correcta incluso en prácticas no competitivas, para maximizar los beneficios y reducir los riesgos de lesión.

### **2.1.2. Contexto tecnológico**

En este apartado se presentan los conceptos tecnológicos que sustentan el desarrollo del proyecto. Se abordan los fundamentos de Inteligencia Artificial, Visión por Computadora y Estimación de Pose, tecnologías clave para el análisis automatizado del movimiento humano en el contexto deportivo.

### 2.1.2.1. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo interdisciplinario de la informática que estudia el diseño y desarrollo de sistemas capaces de ejecutar funciones cognitivas propias de los seres humanos, como el aprendizaje, el razonamiento, la planificación y la percepción (Poole & Mackworth, 2017). Su objetivo no se limita a la simple automatización de tareas, sino que busca construir sistemas que puedan adaptarse y mejorar su comportamiento frente a situaciones complejas y cambiantes.

Lejos de ser una tecnología emergente, la IA ha evolucionado durante décadas hasta convertirse en una herramienta estratégica con impacto transversal en múltiples disciplinas. Su crecimiento ha sido impulsado por el aumento en la capacidad de cómputo, el desarrollo de algoritmos más eficientes y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos.

Uno de los enfoques más reconocidos fue planteado por Stuart Russell y Peter Norvig en su libro *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, donde identifican cuatro categorías desde las cuales se puede abordar el estudio de la IA:

- Sistemas que piensan como humanos,
- Sistemas que actúan como humanos,
- Sistemas que piensan racionalmente,
- Sistemas que actúan racionalmente

En el contexto de estas categorías, surge el concepto de agente inteligente: cualquier entidad que puede percibir su entorno mediante sensores y actuar sobre él mediante actuadores. Su funcionamiento se basa en la interacción constante con el entorno para tomar decisiones y ejecutar acciones en función de los datos percibidos (Russell & Norvig, 2010) (Figura 3).

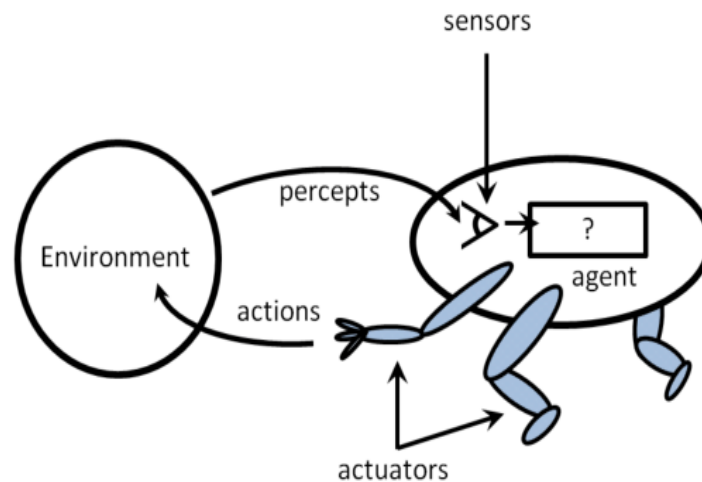


Figura 3: Los agentes interactúan con los entornos a través de sensores y actuadores (Russell & Norvig, 2010)

En los últimos años, la IA ha cobrado relevancia en el campo del deporte, donde se aplica para analizar patrones de movimiento, optimizar el rendimiento físico, prevenir lesiones y ofrecer retroalimentación personalizada a los atletas. Estas aplicaciones se apoyan en el procesamiento de grandes volúmenes de datos y en técnicas avanzadas de análisis automático, lo que permite un monitoreo continuo y no intrusivo de la actividad deportiva (Rein & Memmert, 2016).

El uso de esta tecnología en este ámbito permite superar las limitaciones de la observación humana, brindando un análisis más preciso, consistente y escalable, lo que representa un avance significativo en la forma en que se aborda el entrenamiento y la evaluación técnica.

### 2.1.2.2. Machine Learning

El aprendizaje automático (Machine Learning) constituye uno de los pilares fundamentales de la inteligencia artificial moderna. Se define como el campo de estudio que otorga a los agentes la capacidad de mejorar su desempeño en una tarea determinada a partir de la experiencia. En otras palabras, permite que un sistema aprenda de datos o de su entorno sin ser explícitamente programado para cada situación específica (Russell & Norvig, 2010).

De este modo, el aprendizaje se convierte en un componente esencial en entornos complejos y dinámicos, donde la programación manual resulta insuficiente para cubrir todos los posibles escenarios.

Se clasifican los enfoques de aprendizaje automático en tres grandes categorías, según el tipo de experiencia del agente:

- Aprendizaje supervisado: el agente recibe un conjunto de ejemplos con sus respectivas salidas correctas (etiquetas) y aprende una función de mapeo general. Este tipo de aprendizaje es particularmente útil para tareas de clasificación o regresión, donde se desea predecir un valor a partir de una entrada conocida.
- Aprendizaje no supervisado: en este caso, el agente observa únicamente entradas sin salidas asociadas. El objetivo es descubrir estructuras subyacentes en los datos, como agrupamientos (clustering) o representaciones compactas.
- Aprendizaje por refuerzo: el agente interactúa con un entorno y recibe recompensas o penalizaciones según sus acciones. Su meta es maximizar la recompensa acumulada a largo plazo. Este paradigma es adecuado para tareas secuenciales donde las consecuencias de una acción pueden manifestarse en el futuro.

Cada uno de estos enfoques se aplica en distintos contextos y plantea desafíos propios en cuanto a representación del conocimiento, eficiencia computacional y generalización del aprendizaje.

### **2.1.2.3. Deep Learning**

El aprendizaje profundo (Deep Learning) es una subárea del aprendizaje automático (Figura 4) que se centra en modelos capaces de aprender representaciones jerárquicas de datos a través de múltiples niveles de abstracción. Aunque comúnmente se asocia con redes neuronales profundas, el Deep Learning abarca una variedad de arquitecturas y técnicas diseñadas para procesar datos complejos y no estructurados.

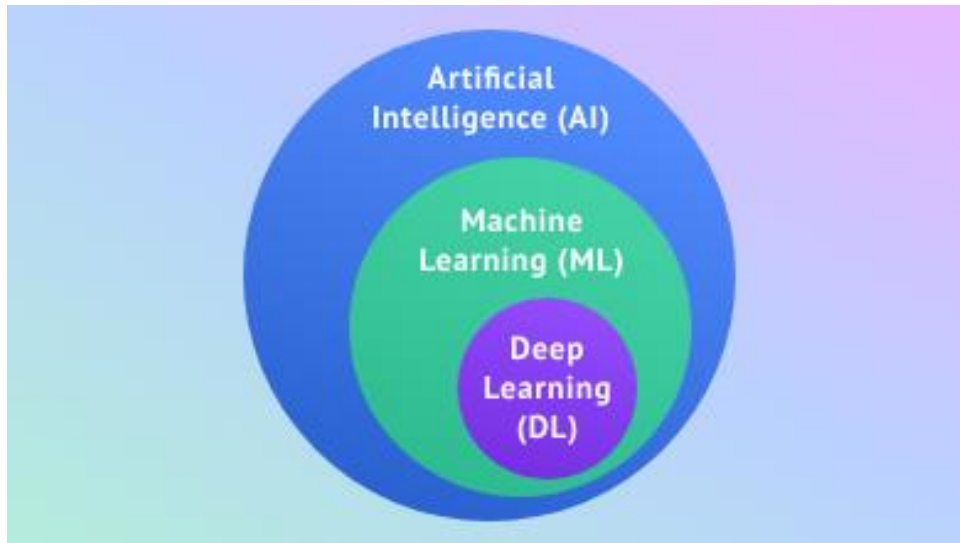


Figura 4: Esquema jerárquico y relación entre IA, ML y DL (Elaboración Propia)

Una característica distintiva del Deep Learning es su capacidad para automatizar la extracción de características relevantes directamente desde los datos brutos, reduciendo la necesidad de ingeniería manual de características. Esto lo hace especialmente eficaz en tareas como el reconocimiento de imágenes, procesamiento de lenguaje natural y análisis de señales temporales.

El auge del Deep Learning ha sido impulsado por avances en la disponibilidad de grandes conjuntos de datos, mejoras en el poder computacional y el desarrollo de algoritmos de entrenamiento más eficientes. Estas mejoras han permitido la implementación de modelos más profundos y complejos que superan a los métodos tradicionales en diversas aplicaciones. (Goodfellow, 2016).

#### 2.1.2.4. Redes neuronales convolucionales

Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) constituyen un tipo de red neuronal artificial diseñada específicamente para el procesamiento de datos con estructura espacial, como las imágenes. Su principal ventaja radica en la capacidad para aprender representaciones jerárquicas de los datos, extrayendo características desde niveles bajos (como bordes o texturas) hasta estructuras complejas y abstractas. (Goodfellow, 2016).

La arquitectura de una CNN se caracteriza por la integración de tres tipos de capas fundamentales (Figura 5):

- Las capas convolucionales aplican filtros (o kernels) que se deslizan sobre la entrada, generando mapas de activación que destacan patrones espaciales relevantes. Estos filtros son aprendidos automáticamente durante el entrenamiento.
- Las capas de pooling (o submuestreo) reducen la dimensionalidad de los mapas de activación, preservando las características más importantes y disminuyendo la carga computacional.
- Las capas completamente conectadas, situadas al final de la red, combinan la información extraída para realizar predicciones o clasificaciones sobre los datos.

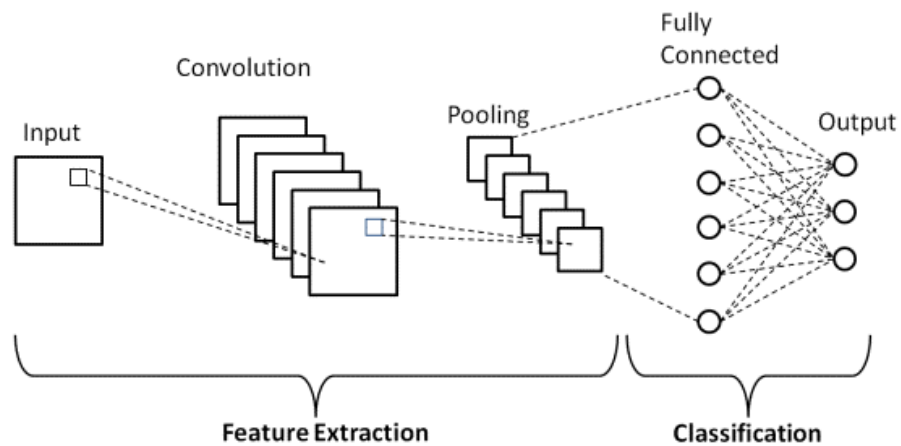


Figura 5: Flujo de una imagen a través de las distintas capas de una CNN (Elaboración Propia)

Su origen conceptual puede rastrearse hasta experimentos en neurociencia que estudiaron el comportamiento de neuronas en la corteza visual, y su desarrollo computacional se consolidó en la década del 2010, marcando un punto de inflexión en múltiples aplicaciones tecnológicas.

Gracias a estas propiedades, las CNN se han convertido en una herramienta clave dentro del aprendizaje profundo, destacándose en disciplinas como la medicina, el transporte, la robótica y, más recientemente, el análisis automático del rendimiento deportivo.

### 2.1.2.5. Computer Vision

La visión por computadora (Computer Vision, CV) es una subdisciplina de la inteligencia artificial que tiene como objetivo permitir que los sistemas informáticos interpreten el contenido visual del entorno, emulando la capacidad humana de percibir e identificar elementos dentro de una imagen o video. Esta interpretación se realiza mediante el uso de algoritmos que procesan datos visuales con el fin de extraer información significativa para la toma de decisiones o automatización de tareas (Szeliski, 2011).

El desarrollo de esta área comenzó a consolidarse a mediados del siglo XX, cuando la computación empezó a abordar el procesamiento de imágenes como una vía para interactuar con el entorno físico. Un hito fundacional fue la tesis de Lawrence Roberts (1963), que introdujo técnicas como la detección de contornos y la reconstrucción tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. Desde entonces, la visión por computadora ha recorrido un camino amplio, combinando enfoques geométricos con métodos estadísticos de reconocimiento de patrones, hasta desembocar en los modelos actuales de aprendizaje profundo.

Durante su evolución, CV se vio atravesada por dos corrientes metodológicas: una orientada al modelado estructural tridimensional de los objetos, y otra basada en el análisis estadístico de patrones visuales en imágenes planas. Esta separación fue notable durante las décadas de 1970 y 1980, pero comenzó a disiparse hacia finales de los años 90, con el surgimiento de enfoques híbridos que integraban técnicas de detección de características visuales con métodos de clasificación probabilística (LeCun & Bengio, 1995; Rowley et al., 1996).

En la actualidad, el campo se encuentra fuertemente impulsado por el aprendizaje profundo, en particular por el uso de redes neuronales convolucionales (CNN), las cuales han demostrado una notable capacidad para capturar y jerarquizar patrones visuales en múltiples niveles de abstracción. Estas tecnologías permiten abordar tareas como la segmentación semántica, el reconocimiento de objetos, el análisis de escenas o el seguimiento de movimiento, y se aplican ampliamente en sectores como la medicina, la industria, el transporte autónomo y el análisis deportivo (Voulodimos et al., 2018).

### 2.1.2.6. Pose Estimation

La visión por computadora (Computer Vision) ha habilitado una gran variedad de aplicaciones en contextos reales, gracias al desarrollo de algoritmos capaces de interpretar información visual con precisión. Entre sus usos más frecuentes se destacan la inspección industrial automatizada, el reconocimiento facial en sistemas de seguridad, el diagnóstico médico asistido por imágenes, la navegación autónoma en vehículos inteligentes y la clasificación de contenido visual en redes sociales (Szeliski, 2022).

Dentro de este campo, una subdisciplina particularmente relevante es la estimación de pose (Pose Estimation), cuyo objetivo es identificar la ubicación espacial de puntos clave del cuerpo humano a partir de imágenes o secuencias de vídeo. Esta técnica permite representar la postura o posición del cuerpo mediante un conjunto estructurado de coordenadas (esqueleto) que describen articulaciones y segmentos corporales (Figura 6).



Figura 6: “Puntos detectados del esqueleto humano” (Elaboración Propia)

El desarrollo de la estimación de pose tiene sus orígenes en la necesidad de analizar el movimiento humano sin recurrir a métodos invasivos o sensores físicos complejos. Inicialmente abordada desde modelos geométricos y cinemáticos, la evolución del aprendizaje profundo y las redes convolucionales permitió una mejora significativa en precisión y robustez, impulsando su uso en contextos como la biomecánica, la rehabilitación, la interacción persona-computadora y el análisis de rendimiento físico (Mathis, 2020).

Entre los beneficios clave de esta tecnología se encuentran su carácter no intrusivo, la capacidad de operar con cámaras convencionales y su aplicabilidad en tiempo real, lo que la convierte en una herramienta versátil para el análisis visual del movimiento humano. Esto ha posibilitado nuevos enfoques para la evaluación técnica, la automatización de tareas repetitivas y la personalización de la interacción hombre-máquina.

## **2.2. Estado del Arte**

Esta sección analiza el estado actual de las soluciones vinculadas al entrenamiento técnico en boxeo, abordando herramientas comerciales, investigaciones académicas y recursos utilizados según el nivel del practicante. Este análisis permite contextualizar la propuesta de BoxTrainer y destacar su aporte diferencial.

### **2.2.1. Aplicaciones en el mercado – Competencia**

Durante la investigación de soluciones existentes, se identificaron aplicaciones móviles que ofrecen funcionalidades relacionadas con el entrenamiento de boxeo mediante análisis automatizado. Para definir el alcance del análisis, se estableció un criterio de selección basado en la relevancia dentro de la tienda digital Play Store de Android. Se seleccionaron las herramientas con mayor volumen de descargas que abordan la problemática del entrenamiento autónomo, permitiendo contrastar la propuesta con los competidores directos disponibles localmente.

#### **2.2.1.1. BOXR**

BOXR Boxing Workout & Training, desarrollada por PLS Fix Labs Ltd, está disponible en las plataformas iOS y Android. Su objetivo principal es ofrecer una experiencia de entrenamiento integral en disciplinas como boxeo, Muay Thai, kickboxing, MMA y UFC, actuando como un entrenador personal virtual.

La aplicación se basa en rutinas diseñadas por profesionales experimentados en deportes de combate. Los entrenamientos están estructurados para adaptarse a diferentes niveles de habilidad, proporcionando una variedad de ejercicios que incluyen técnicas de sombra, acondicionamiento físico y combinaciones de golpes. Cada sesión está cuidadosamente elaborada para garantizar al usuario una mejora continua en habilidades y resistencia, como así también entrenamientos efectivos para quemar calorías.

En cuanto a su funcionamiento, BOXR guía al usuario a través de cada entrenamiento, asegurando una ejecución adecuada de las técnicas. La aplicación también proporciona seguimiento del progreso, permitiendo a los usuarios monitorear su evolución a lo largo del tiempo. Además, permite la reproducción de música en segundo plano y la clasificación en un ranking, compitiendo contra otros usuarios.

### **2.2.1.2. AI Boxing Coach**

AI Boxing Coach es una aplicación móvil desarrollada por Vladyslav Tsepenok, disponible en las plataformas iOS y Android. Su objetivo principal es ofrecer una experiencia de entrenamiento de boxeo personalizada, actuando como un entrenador virtual que proporciona correcciones en tiempo real, a través del análisis y reconocimiento de ciertos patrones de movimiento en el shadowboxing.

La aplicación se centra en mejorar las habilidades del usuario mediante sesiones de entrenamiento dinámicas, basándose en el estilo y preferencias del usuario. Estas sesiones abarcan desde el trabajo de pies hasta combinaciones de golpes más avanzados. Además, AI Boxing Coach proporciona análisis detallados que identifican fortalezas y áreas de mejora, ayudando al usuario a eliminar malos hábitos y perfeccionar su técnica.

También permite realizar un seguimiento del progreso, ofreciendo estadísticas e información diseñada para ayudar al usuario a alcanzar sus objetivos de manera más rápida.

### **2.2.1.3. PunchLab**

Desarrollado por PunchLab, PunchLab: Home Boxing Workouts es una aplicación móvil disponible para dispositivos IOS y Android que propone una experiencia de entrenamiento interactivo para usuarios interesados en el boxeo y otras disciplinas de combate.

Su objetivo principal es ofrecer rutinas guiadas por entrenadores profesionales a través de instrucciones en video y audio, adaptadas tanto a principiantes como a usuarios avanzados. La plataforma permite realizar entrenamientos de sombra, rutinas con saco de boxeo y ejercicios de alta intensidad, promoviendo una práctica dinámica y motivadora.

Una de sus principales características es la capacidad de rastrear la cantidad y potencia de los golpes durante el entrenamiento mediante sensores compatibles (como el propio teléfono móvil sujeto al saco o sensores portables), brindando estadísticas en tiempo real sobre el rendimiento físico, como número de impactos, potencia y calorías quemadas.

Además, ofrece modalidades de entrenamiento estructuradas y modo libre, permitiendo al usuario diseñar su propia rutina. Si bien presenta una interfaz intuitiva y funcionalidades atractivas, algunas herramientas avanzadas, como el seguimiento de golpes, requieren la compra de accesorios específicos.

#### **2.2.1.4. Heavy Bag Pro**

Heavy Bag Pro: Entrenamiento de Saco de Boxeo es una aplicación desarrollada por el equipo de Open Techiz, disponible para dispositivos Android e iOS, orientada a practicantes de boxeo, kickboxing, Muay Thai y otras disciplinas de combate que desean estructurar sus entrenamientos de forma autónoma, ya sea en casa o en el gimnasio, utilizando un saco de boxeo.

El objetivo principal de la aplicación es proporcionar rutinas guiadas de entrenamiento que simulan la experiencia de contar con un entrenador personal. Ofrece múltiples combinaciones de golpes diseñadas por profesionales, adaptadas a distintos niveles de habilidad, incluyendo ejercicios de sombra (shadowboxing), golpes al saco y entrenamientos de alta intensidad. Además, permite al usuario personalizar sus propias sesiones, elegir el ritmo, duración e intensidad del entrenamiento, y realizar un seguimiento del tiempo y las repeticiones.

Entre sus funcionalidades destacadas se encuentra la posibilidad de crear rutinas propias, acceder a entrenamientos con duración variable (de 3 a 60 minutos) y activar efectos sonoros para simular un ambiente real de combate. También permite llevar un registro del progreso mediante indicadores como el número de sesiones completadas o la intensidad del entrenamiento.

#### **2.2.1.5. Herramientas inteligentes para deportes de combate**

El avance de la tecnología ha impulsado el desarrollo de dispositivos inteligentes orientados al entrenamiento técnico y físico de deportes de combate, especialmente para su uso en entornos domiciliarios. Dentro de este grupo se destacan, por un lado, los guantes inteligentes de boxeo, y por otro, los punching balls interactivos.

Los guantes inteligentes integran sensores inerciales (acelerómetros, giroscopios) que permiten medir métricas clave como velocidad, potencia, frecuencia y tipo de golpe. Marcas como DribbleUp, Move It Swift y StrikeTec han desarrollado soluciones que se sincronizan con aplicaciones móviles para ofrecer entrenamientos guiados, estadísticas

detalladas y retroalimentación en tiempo real. Estas herramientas resultan útiles tanto para principiantes como para boxeadores experimentados que desean cuantificar su rendimiento y perfeccionar su técnica.

En paralelo, el punching ball inteligente —una evolución del clásico dispositivo de coordinación— ha incorporado conectividad Bluetooth y compatibilidad con aplicaciones móviles. Además de mejorar el ritmo, la precisión y los reflejos del usuario, los modelos más modernos permiten acceder a entrenamientos estructurados y visualizar estadísticas de desempeño. Algunas versiones también ofrecen retroalimentación visual o auditiva en tiempo real.

Ambos dispositivos representan un complemento valioso para el entrenamiento en casa, especialmente para usuarios que ya poseen cierto grado de familiaridad con el boxeo y buscan reforzar aspectos técnicos o físicos específicos.

#### **2.2.1.6. Tutoriales**

Los tutoriales de boxeo en línea constituyen uno de los recursos más utilizados por practicantes aficionados y autodidactas para aprender y perfeccionar técnicas sin la necesidad de asistir a un gimnasio físico o contar con la supervisión directa de un entrenador. Estos contenidos, disponibles mayoritariamente en plataformas como YouTube, ofrecen explicaciones en video sobre ejecución de golpes, combinaciones, desplazamientos, defensa, acondicionamiento físico y rutinas completas de entrenamiento.

Se estructuran en niveles progresivos (principiante, intermedio, avanzado), permitiendo al usuario elegir según su experiencia y objetivos. Entre los canales más reconocidos y con mayor autoridad en el ámbito del boxeo figuran Precision Striking (dirigido por el exboxeador profesional Jason Van Veldhuisen), FightTips (de Shane Fazen), NateBowerFitness y Title Boxing, todos con millones de suscriptores y alta frecuencia de publicación.

Estos canales presentan no solo ejercicios prácticos, sino también análisis técnicos, estrategias de combate y recomendaciones de entrenamiento. Además de YouTube, existen sitios web especializados como Trifecta Boxing, ExpertBoxing.com y plataformas de cursos pagados como Udemy y MasterClass, que incluyen lecciones más estructuradas e incluso certificaciones.

Este tipo de contenido se ha consolidado como una herramienta pedagógica fundamental, especialmente en contextos de entrenamiento domiciliario, al ofrecer acceso gratuito o de bajo costo a conocimientos provenientes de profesionales del deporte.

### 2.2.1.7. Comparación de competidores

A continuación, se muestra una comparación exhaustiva de las principales aplicaciones que ofrecen rutinas de boxeo.

TABLA I: Características de las diferencias entre las distintas aplicaciones.

	<b>BOXR</b>	<b>AI Boxing Coach</b>	<b>PunchLab</b>	<b>Heavy Bag Pro</b>
Costo Mensual de la herramienta	\$9.99	\$3.99 – \$19.99	\$17.99	\$3.99
Incluye múltiples disciplinas de combate	SI	NO	SI	SI
Análisis de la técnica en tiempo real	NO	SI	NO	NO
Entrenamientos por niveles (principiante, intermedio, avanzado)	SI	SI	SI	SI
Entrenamiento adaptativo en función del rendimiento técnico	NO	NO	NO	NO
Progresión basada en métricas	NO	NO	NO	NO
Segmentación del progreso por golpe y error técnico	NO	NO	NO	NO
Seguimiento de progreso del usuario	SI	SI	SI	SI
Registro técnico histórico de cada sesión (con métricas objetivas)	SI	SI	SI	NO

Uso independiente a sensores o dispositivos externos	SI	SI	NO	SI
Pensada para el idioma y contexto local	NO	NO	NO	NO

Como se puede observar, las aplicaciones existentes en el mercado destinadas al entrenamiento de boxeo desde el hogar presentan enfoques diversos, priorizando en la mayoría de los casos el aspecto físico y la motivación por sobre la enseñanza técnica estructurada.

Aplicaciones como BOXR, PunchLab y Heavy Bag Pro centran su propuesta en entrenamientos guiados por audio o video, orientados a mejorar la resistencia, la quema calórica y el rendimiento físico general. Estas herramientas permiten al usuario realizar rutinas de sombra o con saco de boxeo, sin ofrecer correcciones en tiempo real ni retroalimentación personalizada en función de la ejecución técnica. Si bien pueden resultar útiles para usuarios que buscan mantenerse activos y practicar boxeo de forma recreativa, carecen de mecanismos de validación técnica o progresión pedagógica. Además, la ausencia de un sistema estructurado de niveles basado en métricas hace que el avance dependa exclusivamente de la percepción subjetiva del usuario.

Por otro lado, AI Boxing Coach se presenta como la única aplicación que introduce elementos de corrección en tiempo real, aunque de forma limitada. Ofrece cierto grado de retroalimentación visual o estadística sobre la ejecución de técnicas, pero sin un análisis detallado por tipo de error ni un sistema de progresión validado. Es decir, el usuario puede avanzar en los entrenamientos sin haber corregido errores técnicos persistentes, lo cual puede generar estancamiento o reforzar malas prácticas. Esta aplicación puede ser útil para usuarios con un nivel intermedio que ya dominan los fundamentos y buscan pequeñas mejoras puntuales, pero no para principiantes que requieren un seguimiento más pedagógico.

Una limitación común a todas las aplicaciones analizadas es la ausencia de un sistema de progresión técnica basado en métricas objetivas. Ninguna de ellas condiciona el acceso a nuevas rutinas o niveles en función de un desempeño técnico validado. Esto implica que el usuario no cuenta con una guía clara para avanzar de forma gradual y controlada, lo cual debilita su potencial como herramienta de aprendizaje estructurado. Asimismo, salvo por AI Boxing Coach en algunos aspectos, ninguna app ofrece retroalimentación en tiempo real que permita corregir la postura, la trayectoria del golpe o la técnica durante la ejecución.

Finalmente, si bien algunas aplicaciones incorporan seguimiento básico del rendimiento (como número de golpes o tiempo), estas métricas se limitan al aspecto físico y no contemplan criterios técnicos. Además, en la mayoría de los casos, los contenidos están diseñados en inglés y sin adaptación regional, lo que puede dificultar su uso para personas hispanoparlantes sin conocimientos técnicos previos.

## **2.3. Océano Azul**

La estrategia del océano azul plantea un enfoque orientado a la creación de espacios de mercado nuevos, donde la competencia directa deja de ser relevante al generar una propuesta de valor claramente diferenciada. Este marco conceptual permite identificar oportunidades para innovar más allá de las reglas establecidas por la industria y construir ventajas competitivas difíciles de imitar. En esta sección se presentan dos herramientas derivadas de dicho enfoque, empleadas para analizar los factores que permiten distinguir a BoxTrainer de las soluciones actualmente disponibles en el mercado y que contribuyen a la formulación de un posicionamiento estratégico propio.

### **2.3.1. Análisis FODA**

El análisis FODA, constituye una herramienta fundamental dentro de la dirección estratégica para evaluar la interacción entre factores internos (fortalezas y debilidades) y factores externos (oportunidades y amenazas). Su utilidad radica en integrar la capacidad interna de un proyecto con las condiciones del contexto en el cual debe competir, permitiendo formular estrategias coherentes con los recursos y limitaciones disponibles. En el marco del desarrollo de BoxTrainer, el FODA permite contrastar la propuesta tecnológica con la oferta real del mercado FitnessTech y con las tendencias que condicionan la adopción de herramientas basadas en inteligencia artificial aplicadas al entrenamiento técnico del boxeo.

#### **2.3.1.1. Fortalezas**

BoxTrainer exhibe una serie de fortalezas que pueden considerarse capacidades distintivas capaces de generar ventajas competitivas basadas en diferenciación técnica. La principal fortaleza radica en la integración de algoritmos de visión por computadora para estimación de pose y un modelo entrenado para la clasificación técnica de golpes, lo que permite ofrecer retroalimentación objetiva y segmentada por error técnico. Este tipo de análisis no se

encuentra presente en ninguna de las aplicaciones existentes como BOXR, PunchLab o Heavy Bag Pro, que se limitan a entrenamientos físicos sin corrección técnica. Incluso AI Boxing Coach, que introduce algunos elementos de análisis, no incorpora progresión académica ni un sistema de validación técnica formal.

La ausencia de sensores externos constituye otra fortaleza clave. Mientras que PunchLab depende de accesorios físicos para medir potencia o golpes, BoxTrainer funciona exclusivamente desde el dispositivo móvil, reduciendo barreras de entrada para el usuario y ampliando la accesibilidad.

La progresión basada en métricas objetivas, inexistente en los competidores, posiciona al sistema como una herramienta pedagógica más que recreativa, alineada con estándares de aprendizaje gradual y validado. Finalmente, la disponibilidad en español y la adaptación al contexto local representan ventajas directas frente a aplicaciones con contenido únicamente en inglés, lo que mejora la usabilidad y adopción en mercados hispanohablantes.

### **2.3.1.2. Oportunidades**

Las oportunidades derivan de condiciones externas que pueden potenciar el crecimiento cuando coinciden con las capacidades internas del proyecto. El análisis del mercado evidencia una oportunidad clara: ninguna aplicación del segmento ofrece un sistema de progresión técnica basado en métricas, lo que deja un espacio vacío para una solución con orientación pedagógica.

El crecimiento del fitness digital, combinado con el aumento del entrenamiento autónomo, constituye un entorno favorable para herramientas basadas en IA que permitan mejorar técnica sin requerir un entrenador presencial. Las aplicaciones actuales priorizan la quema calórica, la resistencia o las rutinas pregrabadas, lo que abre la posibilidad de posicionar BoxTrainer como la primera opción centrada en la enseñanza estructurada del boxeo para principiantes y aficionados.

Además, el hecho de que ninguna de las apps esté adaptada al idioma ni al contexto local representa una oportunidad para captar usuarios hispanohablantes que carecen de alternativas especializadas. También existe potencial para alianzas con gimnasios y academias que podrían complementar sus prácticas con retroalimentación automatizada, aprovechando la necesidad de herramientas que permitan estandarizar la técnica.

### 2.3.1.3. Debilidades

Las debilidades son factores internos que pueden limitar la competitividad si no se gestionan adecuadamente. BoxTrainer presenta ciertas limitaciones propias del enfoque técnico adoptado. La precisión del análisis depende de las condiciones de captura: mala iluminación, obstrucciones o velocidad elevada de ejecución pueden afectar la detección de landmarks, especialmente en movimientos rápidos como uppercuts o hooks cerrados.

La cobertura inicial se restringe a cuatro golpes básicos, lo que puede resultar insuficiente para usuarios con experiencia o para entrenamientos más avanzados.

Existe también una dependencia relativa del hardware del usuario: si bien no requiere sensores externos, dispositivos con cámaras de baja calidad pueden registrar peores resultados. Esta variabilidad en el rendimiento constituye una debilidad que debe contemplarse en ciclos futuros de optimización.

### 2.3.1.4. Amenazas

Respecto a los riesgos del entorno competitivo, BoxTrainer enfrenta amenazas derivadas tanto de la competencia como de factores tecnológicos y regulatorios. La principal amenaza es la posible respuesta de competidores consolidados: aplicaciones como PunchLab o BOXR poseen recursos económicos, visibilidad y bases masivas de usuarios, lo que les permitiría incorporar técnicas de IA que reduzcan la ventaja diferencial actual.

Asimismo, el mercado de las aplicaciones deportivas presenta un alto grado de sustitución: tutoriales de YouTube, entrenadores presenciales, rutinas grabadas y aplicaciones de fitness general pueden reemplazar parcialmente el valor percibido por ciertos perfiles de usuario.

También existe una amenaza tecnológica asociada a la rápida evolución de frameworks como MediaPipe o PyTorch: cambios en APIs, requisitos o modelos pueden exigir adaptaciones continuas. Por último, la normativa sobre protección de datos biométricos (particularmente en relación con capturas de video y reconocimiento de patrones corporales) exige cumplimiento riguroso para evitar riesgos legales o de confianza.

### **2.3.2. Fuerzas de Porter**

El modelo de las Cinco Fuerzas de Porter, permite analizar la estructura competitiva de una industria a partir de los factores que condicionan su rentabilidad y su nivel de rivalidad. Este enfoque identifica cinco presiones fundamentales (la rivalidad entre competidores, la amenaza de nuevos entrantes, la amenaza de productos sustitutos, el poder de negociación de los clientes y el de los proveedores) que determinan la capacidad de una solución para sostener una ventaja competitiva. En el caso de BoxTrainer, la aplicación del modelo resulta especialmente pertinente debido a la naturaleza dinámica del mercado FitnessTech, caracterizado por la proliferación de aplicaciones móviles, ciclos de innovación rápidos y propuestas de valor que compiten tanto en funcionalidad como en accesibilidad.

#### **2.3.2.1. Poder de negociación de los proveedores**

BoxTrainer depende de frameworks de desarrollo y librerías de visión por computadora como React Native, MediaPipe y PyTorch, los cuales se encuentran ampliamente disponibles y cuentan con comunidades abiertas, lo que reduce significativamente el poder de negociación de los proveedores. Además, al no requerir sensores externos, accesorios ni hardware especializado, la dependencia tecnológica se limita a los entornos de distribución móvil (Google Play y App Store). Estas plataformas poseen reglas estrictas, pero no imponen costos diferenciales que afecten la viabilidad del proyecto. Por lo tanto, el poder de los proveedores en este mercado es bajo, con un impacto operativo más que estratégico.

#### **2.3.2.2. Poder de negociación de los clientes**

Los usuarios de aplicaciones deportivas poseen un alto poder de negociación debido a la amplia oferta de alternativas gratuitas o de bajo costo como PunchLab, BOXR o Heavy Bag Pro. Esto aumenta la sensibilidad al precio y facilita que el cliente cambie de plataforma sin costos relevantes. Sin embargo, la capacidad de BoxTrainer para ofrecer análisis técnico mediante IA incrementa el valor percibido y reduce parcialmente la elasticidad del usuario frente al precio. La diferenciación funcional disminuye el poder del cliente en el nicho específico del análisis técnico, aunque continúa siendo elevado en el mercado general de fitness digital.

### **2.3.2.3. Amenaza de nuevos competidores**

Desarrollar una aplicación móvil básica no representa una barrera de entrada alta, pero replicar el nivel técnico de BoxTrainer sí requiere inversiones importantes en dataset, anotación, entrenamiento de modelos y validación técnica, lo que genera barreras significativas para nuevos entrantes. No obstante, competidores establecidos como PunchLab o BOXR cuentan con recursos y bases de usuarios que podrían incorporar IA en futuras versiones, elevando la amenaza competitiva. Mientras la tecnología especializada siga siendo un diferencial, la amenaza de nuevos entrantes se mantiene en un nivel medio; pero podría incrementarse si el acceso a modelos de visión por computadora avanzados se vuelve más accesible.

### **2.3.2.4. Amenaza de productos sustitutos**

Existen numerosos sustitutos que pueden reemplazar el uso de una aplicación de entrenamiento, incluyendo entrenadores presenciales, rutinas en video, tutoriales gratuitos en YouTube y aplicaciones de cardio o fitness general. Estos sustitutos compiten por el mismo tiempo de uso y motivación del usuario. Sin embargo, ninguno de ellos ofrece un sistema de análisis técnico automatizado ni correcciones basadas en IA, lo que reduce la amenaza dentro del nicho pedagógico del boxeo técnico. Aun así, dado que los sustitutos pueden satisfacer parcialmente las necesidades de usuarios recreativos, la amenaza se mantiene en niveles medios, especialmente entre quienes priorizan el ejercicio físico por encima de la técnica.

### **2.3.2.5. Rivalidad entre competidores existentes**

El mercado de aplicaciones de boxeo digital presenta una rivalidad alta, con opciones reconocidas como PunchLab, BOXR y Heavy Bag Pro que poseen millones de descargas y fuerte presencia comercial. Estas aplicaciones compiten agresivamente mediante rutinas guiadas, planes de entrenamiento y contenido audiovisual. No obstante, ninguna incorpora un sistema de corrección técnica integral ni segmentación por error, lo que reduce la intensidad competitiva en el nicho específico de análisis técnico. BoxTrainer se diferencia al ofrecer un enfoque pedagógico basado en métricas objetivas, lo que suaviza la rivalidad directa y genera un espacio competitivo propio dentro del sector.

## 2.4. Conclusión

El análisis integral del estado del arte muestra que el ecosistema actual de aplicaciones destinadas al entrenamiento de boxeo se encuentra fuertemente orientado hacia rutinas físicas, ejercicios guiados y métricas generales de actividad, sin abordar la dimensión técnica que resulta fundamental para el aprendizaje correcto de la disciplina. Herramientas populares como BOXR, PunchLab o Heavy Bag Pro ofrecen entrenamientos variados y seguimiento básico del desempeño, pero carecen de mecanismos de retroalimentación sobre la ejecución del golpe, evaluación postural o progresión basada en criterios objetivos. Incluso la única alternativa que incorpora elementos de inteligencia artificial, AI Boxing Coach, lo hace de manera limitada, sin segmentación de errores, sin análisis técnico detallado y sin un sistema pedagógico que condicione el avance del usuario según la calidad de su técnica.

La comparación funcional revela que ninguna aplicación del mercado integra un sistema de progresión técnica, un modelo de evaluación basado en métricas, un seguimiento por tipo de golpe o un análisis automatizado de errores; tampoco existe una propuesta adaptada al idioma español ni al contexto regional, lo cual afecta la accesibilidad para usuarios principiantes en Argentina. Este vacío tecnológico y pedagógico se confirma al observar que todas las soluciones priorizan la intensidad física o el entretenimiento por sobre la corrección técnica, dejando a los usuarios sin herramientas para mejorar su ejecución de manera estructurada.

Los análisis estratégicos aplicados profundizan esta conclusión. Desde la perspectiva competitiva, la rivalidad en el sector es alta en términos de volumen de aplicaciones, pero la competencia directa en el nicho de análisis técnico automático es prácticamente inexistente, lo que configura un espacio de mercado libre, coherente con los principios del océano azul. Las barreras de entrada para reproducir un sistema de visión por computadora entrenado específicamente para boxeo, junto con la ausencia de propuestas pedagógicas basadas en métricas, refuerzan la oportunidad para introducir un producto diferenciador. Al mismo tiempo, se identifican amenazas propias de mercados dinámicos, como la eventual incorporación de IA por parte de actores consolidados; sin embargo, esta posibilidad no invalida la oportunidad actual y sí exige una propuesta sólida, validada y técnicamente robusta, como la que plantea este proyecto.

En conjunto, el estado del arte evidencia una brecha clara entre las necesidades reales de los usuarios (particularmente aquellos principiantes o aficionados que requieren aprender técnica desde una base correcta) y las alternativas disponibles. Esta brecha se alinea de manera directa con los objetivos definidos para BoxTrainer: desarrollar un modelo capaz de detectar y clasificar golpes con precisión, identificar errores posturales, generar reportes personalizados y guiar al usuario mediante un sistema de progresión técnica adaptativa basado en métricas objetivas, todo dentro de una interfaz accesible y en idioma español.

## **2.5. User Research**

Se busca llevar a cabo la investigación de usuario para validar la existencia de la problemática y conocer las necesidades de los potenciales usuarios de BoxTrainer. Con tal objetivo, se llevó a cabo una entrevista a un profesor de boxeo con experiencia en entrenamiento de competidores amateur. Como complemento, se distribuyó una encuesta orientada a personas que practican deportes en general, con el fin de identificar el interés y la necesidad de herramientas que permitan corregir técnica y ejecución en sus disciplinas.

### **2.5.1. Entrevista**

Durante la etapa de investigación se realizó una entrevista al profesor y entrenador de boxeo Gustavo Santillán. Gustavo cuenta con una amplia trayectoria en el ámbito del boxeo amateur, habiendo trabajado en diversos gimnasios y actualmente desempeñándose como entrenador en el gimnasio FITB Center de Villa Urquiza. Además de brindar clases particulares para personas que practican el deporte de manera recreativa, también integra un equipo dedicado a la formación de boxeadores amateurs, cumpliendo el rol de director técnico de boxeo.

Consultado sobre la importancia de ejecutar correctamente los golpes básicos en boxeo, Gustavo subrayó que aprender bien las bases del deporte es fundamental. Explicó que los errores mal aprendidos desde el inicio tienden a trasladarse a instancias más avanzadas del entrenamiento, lo que impide construir una base sólida y puede volverse evidente con el tiempo, generando incluso lesiones en prácticas o combates. En este sentido, remarcó también la relevancia de una buena postura y desplazamiento al momento de golpear, ya que —si bien los golpes se dan con las manos— el trabajo con piernas y pies es esencial para la estabilidad del boxeador. Un mal desplazamiento puede derivar en caídas o desbalances durante un combate.

Asimismo, enfatizó el valor de la práctica frente al espejo, ya que permite al boxeador observar y analizar en tiempo real su técnica. Según explicó, esta es una de las herramientas más efectivas para corregir errores, ya que le brinda al practicante una imagen clara de lo que está haciendo bien o mal. Esta observación se vincula con uno de los objetivos centrales de la aplicación desarrollada en este proyecto, que busca replicar esa experiencia visual y analítica en entornos donde no siempre se dispone de un espejo grande, como en casas o gimnasios pequeños.

Sobre la formación técnica, Gustavo sostuvo que es clave establecer buenos hábitos desde el inicio. Señaló que la repetición sin supervisión puede generar vicios técnicos difíciles de corregir, y que estos no solo afectan la salud —por riesgo de lesiones— sino también el rendimiento competitivo del boxeador. En este contexto, destacó que el boxeo requiere constancia, paciencia y práctica cotidiana.

En relación con el uso de tecnologías aplicadas al boxeo, mencionó que actualmente muchos profesores utilizan redes sociales para difundir contenidos didácticos, lo que, en ciertos casos, puede resultar incluso más útil que una clase presencial mal dictada. Aunque manifestó no conocer aplicaciones específicas de boxeo, consideró muy valiosa la idea de contar con una app que complemente la enseñanza, permitiendo a los alumnos reforzar los contenidos vistos en clase.

Además, señaló que emplea el trabajo frente al espejo como una herramienta habitual y eficaz, y observó que existe una diferencia marcada entre quienes han practicado deporte previamente y quienes no. También hizo hincapié en que la forma en la que una persona se vincula con la práctica (recreativa, técnica o competitiva) condiciona sus necesidades y progresos. No obstante, consideró que siempre es útil regresar a los fundamentos: “nunca está de más volver a las bases”, afirmó.

Consultado sobre los elementos técnicos que la aplicación debería corregir, indicó que estas indicaciones deben tener un fundamento claro, ya que no existe un único estilo universal de boxeo. Cada país, explicó, tiene su propia escuela técnica, lo que se traduce en diferentes parámetros sobre lo que se considera una ejecución correcta. A grandes rasgos, sugirió que la app podría enfocarse en aspectos básicos y esenciales como mantener los brazos correctamente elevados, evitar cruzar las piernas y realizar golpes de forma prolija. También advirtió que muchos confunden la velocidad y fuerza con la buena técnica, cuando en realidad el boxeo es un deporte de precisión, disciplina y constancia.

Finalmente, al conocer el funcionamiento de la aplicación y su sistema de niveles, Gustavo expresó que la idea le resultó interesante por su capacidad de motivar al usuario. Lo comparó con la lógica de los videojuegos, donde los niveles y la progresión sostenida son elementos clave para mantener el interés: “un juego no dura solo 15 minutos”, dijo, destacando el valor de tener un objetivo a largo plazo.

### **2.5.2. Encuesta**

El propósito principal de esta encuesta fue explorar la relación entre el uso de herramientas tecnológicas y la mejora en la práctica deportiva. Debido a que el volumen de boxeadores disponibles para encuestar de forma directa era limitado, se optó por ampliar el universo a personas que practican (o desean practicar) deportes en general. Esta decisión metodológica se tomó con el objetivo de determinar si existe una necesidad real, percibida por los usuarios, de contar con una aplicación que facilite y complemente la práctica de disciplinas deportivas —y por extensión, del boxeo.

Este enfoque permite mantener la validez de los resultados, ya que las preguntas fueron formuladas de manera general, evitando inducir respuestas específicas y respetando los criterios de claridad, neutralidad y relevancia vistos en clase. Además, al ampliar el universo muestral, se buscó evitar el sesgo por especialización, garantizando una mayor diversidad de perfiles y una mejor representatividad del público objetivo.

La encuesta fue respondida por un total de 110 personas, y sus resultados permiten observar tendencias de comportamiento, interés tecnológico y disposición hacia el uso de herramientas digitales aplicadas al entrenamiento físico. En cuanto al perfil demográfico, la mayoría de los participantes se encuentra en la franja etaria de 18 a 24 años (50,5 %), predominando el género masculino (62,6 %), y con residencia mayoritaria en la provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (alrededor del 90 %).

Los resultados muestran que más del 93 % de los encuestados practica actualmente algún deporte o manifestó intención de iniciarse en el corto plazo, lo que confirma la existencia de un público objetivo predispuesto a incorporar herramientas de apoyo digital. Entre quienes realizan actividad física, la práctica se concentra principalmente en gimnasio/musculación, fútbol y running, con una frecuencia semanal de entre dos y cuatro veces en la mayoría de los casos. Esta tendencia indica una base de usuarios con rutinas estables, condición favorable para integrar un sistema progresivo de entrenamiento. Asimismo, se

observa que la modalidad de práctica se reparte entre quienes entrenan en instituciones deportivas (58,9 %) y quienes lo hacen de forma autónoma (27,4 %), lo cual respalda la pertinencia de una aplicación que pueda servir tanto como complemento de clases dirigidas como de guía personal para quienes entrenan por su cuenta (Figura 7).

¿Dónde realizás deporte?  
 73 respuestas

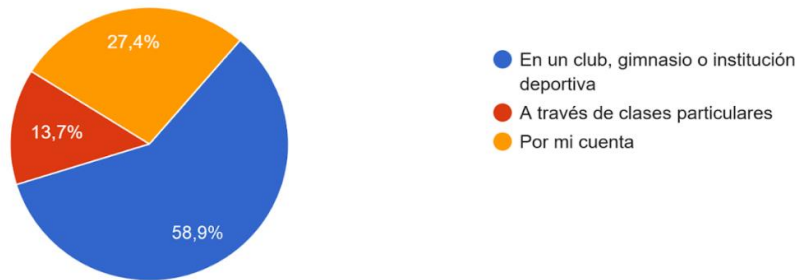


Figura 7: Modalidad de práctica deportiva

En relación con la aceptación de soluciones tecnológicas, se destaca que la gran mayoría expresa disposición a utilizar aplicaciones deportivas: el 79,5 % de quienes ya practican deporte señaló que probable o definitivamente las incorporaría (Figura 8).

¿Utilizarías alguna aplicación para complementar la práctica de algún deporte?  
 73 respuestas

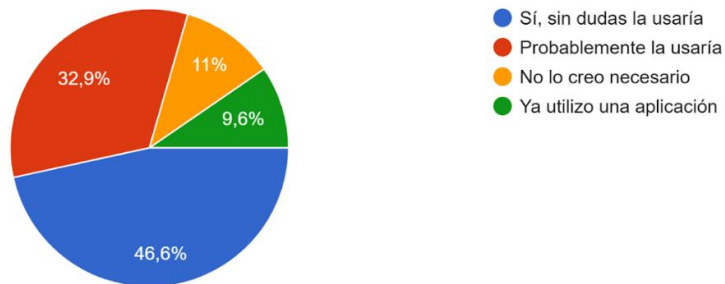


Figura 8: Intención de uso de aplicaciones deportivas

Estos datos evidencian una fuerte oportunidad de adopción digital en el sector. Un hallazgo igualmente relevante es la valoración del sistema de progreso por niveles, donde más del 90 % de los encuestados consideró motivador o útil que una aplicación registre avances

en función de la ejecución correcta de sesiones (Figura 9). Esta preferencia valida la propuesta central de BoxTrainer de organizar el entrenamiento en niveles técnicos crecientes, en contraste con otras apps que se limitan a contabilizar repeticiones o tiempo de actividad.

¿Te parecería útil que la app tenga un sistema de progreso basado en sesiones que vas completando correctamente?

77 respuestas

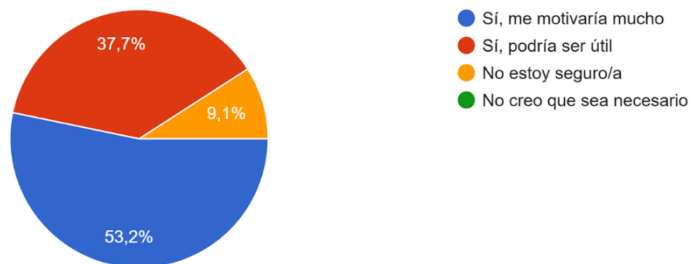


Figura 9: Percepción sobre sistemas de progreso

Finalmente, al consultar sobre el tipo de análisis preferido, los resultados muestran una leve inclinación por el feedback en tiempo real (52,4 %) frente al análisis a partir de videos grabados (47,6 %), con una diferencia que no resulta estadísticamente significativa (Figura 10).

Si la aplicación evaluara tus prácticas deportivas mediante video, ¿preferirías que el análisis se realice en tiempo real o a partir de videos grabados previamente?

84 respuestas



Figura 10: Preferencia de análisis

Esto sugiere que la solución más robusta es ofrecer ambas modalidades, integrando corrección inmediata para quienes buscan aprendizaje más rápido y revisión diferida para quienes prefieren analizar con más calma su desempeño.

La encuesta confirma la existencia de una necesidad real de herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la técnica en disciplinas como el boxeo. La mayoría de los encuestados practica deporte o tiene intención de comenzar, y muestra una alta disposición a utilizar aplicaciones que complementen su entrenamiento. Funcionalidades como el análisis técnico y el seguimiento del progreso fueron especialmente valoradas, lo que respalda el desarrollo de BoxTrainer como una solución útil y alineada con los intereses y expectativas del público objetivo.

### 2.5.3. User Persona

A partir del User Research se definen tres User Personas que representan distintos perfiles de usuarios potenciales de la app BoxTrainer. Estos arquetipos permiten comprender mejor sus motivaciones, necesidades y contextos, y ayudan a enfocar el diseño de la aplicación en función de sus expectativas reales.

**MARTÍN LÓPEZ**

<p><b>PERFIL</b></p> <p>Edad : 23                  Ocupación : Diseñador gráfico                  Familia : Soltero                  Hobbies : Boxeo, gimnasio, gamer casual.                  Ubicación : Caballito, Ciudad Autónoma de Buenos Aires</p>	<p><b>BIOGRAFÍA</b></p> <p>Martín es diseñador gráfico freelance en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Le gusta mantenerse activo y se inició en el boxeo como parte de su rutina de entrenamiento y con fines recreativos. Va entre tres y cuatro veces por semana al gimnasio.</p>	<p><b>PERSONALITY</b></p> <p>Introvertido ● Extrovertido                  Pensante ● Sensible                  Calificador ● Perceptivo                  Calmado ● Inquieto</p>
	<p><b>MOTIVACIONES Y OBJETIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar su técnica de boxeo para entrenar y competir de forma más eficiente.</li> <li>• Mantener un estilo de vida saludable y activo.</li> <li>• Contar con apoyo visual para corregir movimientos fuera del gimnasio.</li> <li>• Encontrar una herramienta práctica que complemente sus clases presenciales.</li> </ul>	<p><b>TECNOLOGÍA</b></p> <p>Usa su celular principalmente para redes sociales (Instagram, TikTok) y YouTube. Nunca usó apps específicas de entrenamiento, pero mira videos de rutinas y técnicas, aunque no siempre encuentra herramientas específicas para mejorar su técnica deportiva.</p>
	<p><b>FRUSTRACIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No tener retroalimentación constante cuando entrena solo.</li> <li>• Dudar de si está ejecutando correctamente los movimientos técnicos.</li> <li>• Sentir que su progreso se estanca sin supervisión adecuada.</li> <li>• Falta de motivación cuando no ve mejoras claras.</li> </ul>	

Figura 11: User Persona de un potencial usuario masculino adulto joven (Elaboración propia)



Figura 12: User Persona de un potencial usuario masculino adulto (Elaboración propia)



Figura 13: User Persona de un potencial usuario femenino adulto joven (Elaboración propia)

### 3. Descripción

Identificada la problemática, la solución propuesta consiste en una aplicación móvil para Android que, mediante visión por computadora e inteligencia artificial, muestra en tiempo real la técnica de los golpes básicos de boxeo y brinda retroalimentación personalizada. De esta manera, BoxTrainer busca asistir a practicantes principiantes en la corrección técnica, promoviendo un entrenamiento seguro, progresivo y accesible fuera del ámbito profesional.

#### 3.1. Requerimientos del sistema

En esta sección se definen los requerimientos de la solución propuesta, divididos en requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales. Los primeros detallan las funcionalidades que la aplicación debe realizar desde la perspectiva del usuario, mientras que los segundos establecen las propiedades y restricciones que guían el modo en que el sistema debe operar para cumplir con los objetivos planteados.

##### 3.1.1. Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales constituyen las capacidades mínimas que debe ofrecer la aplicación *BoxTrainer* para satisfacer las necesidades detectadas en la problemática y validadas en la investigación de usuario.

- RF001: El sistema procesa los videos (capturados o cargados por el usuario) mediante un motor de análisis. Dicho análisis valida que los golpes de boxeo ejecutados coincidan con los solicitados por la aplicación. El video con el análisis resultante solo estará disponible para su visualización una vez completado el procesamiento.
- RF002: El sistema debe identificar errores técnicos en la ejecución de golpes, incluyendo desviaciones en la postura, rotación del tronco, alineación de brazos y desplazamiento de pies.
- RF003: El sistema debe contrastar los movimientos del usuario con modelos vectorizados de referencia, generando un análisis técnico comparativo.
- RF004: El sistema debe brindar retroalimentación personalizada en cada sesión de entrenamiento, indicando aciertos y errores en la técnica del usuario.
- RF005: El sistema debe registrar el progreso individual del usuario, almacenando evaluaciones de desempeño por sesión.

- RF006: El sistema debe implementar un esquema de entrenamiento progresivo basado en niveles, que se desbloqueen únicamente al alcanzar un umbral técnico mínimo definido por métricas internas.
- RF007: El sistema debe permitir la visualización de reportes históricos con métricas técnicas, de manera que el usuario pueda identificar mejoras o estancamientos a lo largo del tiempo.
- RF008: El sistema debe permitir seleccionar y ejecutar rutinas de entrenamiento adaptadas al nivel técnico del usuario.
- RF009: El sistema debe proveer una interfaz clara en idioma español, con instrucciones y resultados fácilmente interpretables por usuarios sin conocimientos técnicos previos.

### 3.1.2. Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales definen cómo debe comportarse la aplicación para garantizar un funcionamiento confiable, eficiente y seguro.

- RNF001: La aplicación debe ser desarrollada de manera nativa para el sistema operativo Android (versión mínima Android 10 o superior).
- RNF002: El módulo de análisis en el backend debe garantizar una velocidad de procesamiento promedio de al menos 5 cuadros por segundo (FPS) para la generación de las correcciones técnicas.
- RNF003: El modelo de inteligencia artificial debe alcanzar al menos un 80 % de precisión en la clasificación de los cuatro golpes básicos.
- RNF004: La aplicación debe ser usable en dispositivos móviles con Android, de gama media en adelante (al menos 4GB de RAM y procesador Octa-Core).
- RNF005: La interfaz debe cumplir con principios de usabilidad, accesibilidad y simplicidad.
- RNF006: La aplicación debe almacenar los datos del usuario de manera segura en el dispositivo, empleando encriptación local para información sensible.
- RNF007: La arquitectura del sistema debe ser modular y soportar la integración directa con servicios en la nube para el almacenamiento centralizado y escalable de métricas.

### 3.2. Atributos de calidad

Si bien los requerimientos funcionales y no funcionales permiten definir de manera general qué debe hacer el sistema y bajo qué condiciones, resulta necesario destacar aquellos aspectos de calidad que son críticos para garantizar el valor real de la solución (Nielsen Norman Group, 2025). En este sentido, los atributos de calidad seleccionados para *BoxTrainer* profundizan en características clave como la disponibilidad, la usabilidad o la precisión del análisis técnico, estableciendo criterios medibles que aseguran que la aplicación no solo cumpla con sus funciones, sino que lo haga de manera efectiva y confiable para el usuario.

#### 3.2.1. Disponibilidad

La disponibilidad en *BoxTrainer* se refiere a que el sistema esté accesible para el usuario en cualquier momento que desee entrenar. El objetivo es que la app no presente interrupciones inesperadas al ejecutar rutinas y que, en caso de cierre repentino, el usuario pueda reiniciar la práctica sin que esto afecte la experiencia general.

TABLA II – Atributo de calidad: Disponibilidad

Elemento	Descripción
Origen del estímulo	El usuario inicia una rutina y la aplicación no responde.
Estímulo	Intento de ejecutar un entrenamiento.
Ambiente	Condiciones normales de operación.
Componentes	Aplicación móvil y motor de análisis.
Respuesta	La app informa al usuario el fallo y permite reiniciar la sesión de entrenamiento.
Medida de respuesta	La aplicación debe reiniciarse y estar lista en menos de 5 segundos.

#### 3.2.2. Usabilidad

La usabilidad es esencial para asegurar que cualquier usuario, sin conocimientos técnicos ni experiencia previa en boxeo profesional, pueda utilizar *BoxTrainer* de manera intuitiva. La aplicación debe guiar al usuario con instrucciones claras en español y mostrar resultados simples de interpretar.

TABLA III – Atributo de calidad: Usabilidad

Elemento	Descripción
Origen del estímulo	Usuario novato interactúa con la aplicación.
Estímulo	Acciones del usuario: seleccionar rutina, ver feedback, consultar progreso.
Ambiente	Entrenamiento en condiciones normales.
Componentes	Interfaz de usuario, módulo de feedback.
Respuesta	La app presenta pantallas claras, en idioma español, con mensajes simples y gráficos fáciles de entender.
Medida de respuesta	El 100 % de las funcionalidades debe ser accesible con un máximo de 5 toques en pantalla.

### 3.2.3. Precisión

Si bien “precisión” no figura entre los atributos de calidad tradicionales, en el caso de *BoxTrainer* constituye un aspecto crítico. Al tratarse de una aplicación que depende de la detección de golpes y posturas mediante IA, la utilidad del sistema para el usuario está directamente condicionada por la exactitud de ese análisis.

Por este motivo, la precisión del reconocimiento técnico se considera aquí como un atributo de calidad particular del dominio, equivalente a la “confiabilidad” en otros sistemas, y se mide a través del porcentaje de acierto en la clasificación de golpes y posturas.

TABLA IV – Atributo de calidad: Precisión

Elemento	Descripción
Origen del estímulo	Usuario realiza golpes de la rutina.
Estímulo	Movimientos captados por la cámara.
Ambiente	Entrenamiento en condiciones normales, con iluminación adecuada.
Componentes	Cámara del dispositivo, motor de IA de clasificación, módulo de métricas.
Respuesta	La app identifica el tipo de golpe y señala si cumple con los parámetros técnicos básicos.
Medida de respuesta	Precisión mínima del 80 % en la clasificación de golpes.

### 3.3. Diagrama de procesos

Un diagrama de procesos es una representación gráfica que describe, de manera secuencial y ordenada, las interacciones entre los actores de un sistema y las actividades que estos realizan. Su objetivo es mostrar cómo fluye la información y cuáles son las tareas principales, facilitando la comprensión del funcionamiento global de la solución propuesta.

En el contexto de *BoxTrainer*, el diagrama de procesos permite ilustrar con claridad el rol del usuario (que inicia y conduce la práctica de entrenamiento) y el rol de la aplicación (que captura, analiza y registra los movimientos). De este modo, se brinda una visión estructurada y de fácil interpretación sobre cómo se lleva a cabo el entrenamiento asistido por la app, desde la selección de la rutina hasta la consolidación de los resultados.

#### 3.3.1. Reconocimiento y corrección de golpes

Este proceso describe cómo la aplicación, a través de la cámara, detecta y corrige los golpes del usuario. El sistema inicia con la selección de la rutina y la validación de la postura inicial; si es correcta, se ejecuta la rutina capturando los cuadros. El modelo de reconocimiento identifica el tipo de golpe (jab, cross, hook o uppercut), lo compara con un patrón ideal y genera correcciones sobre técnica y postura. Paralelamente, se actualizan los conteos por golpe y se registran métricas de desempeño en la base de datos. Finalmente, el usuario es notificado del fin de la sesión (Figura 14).

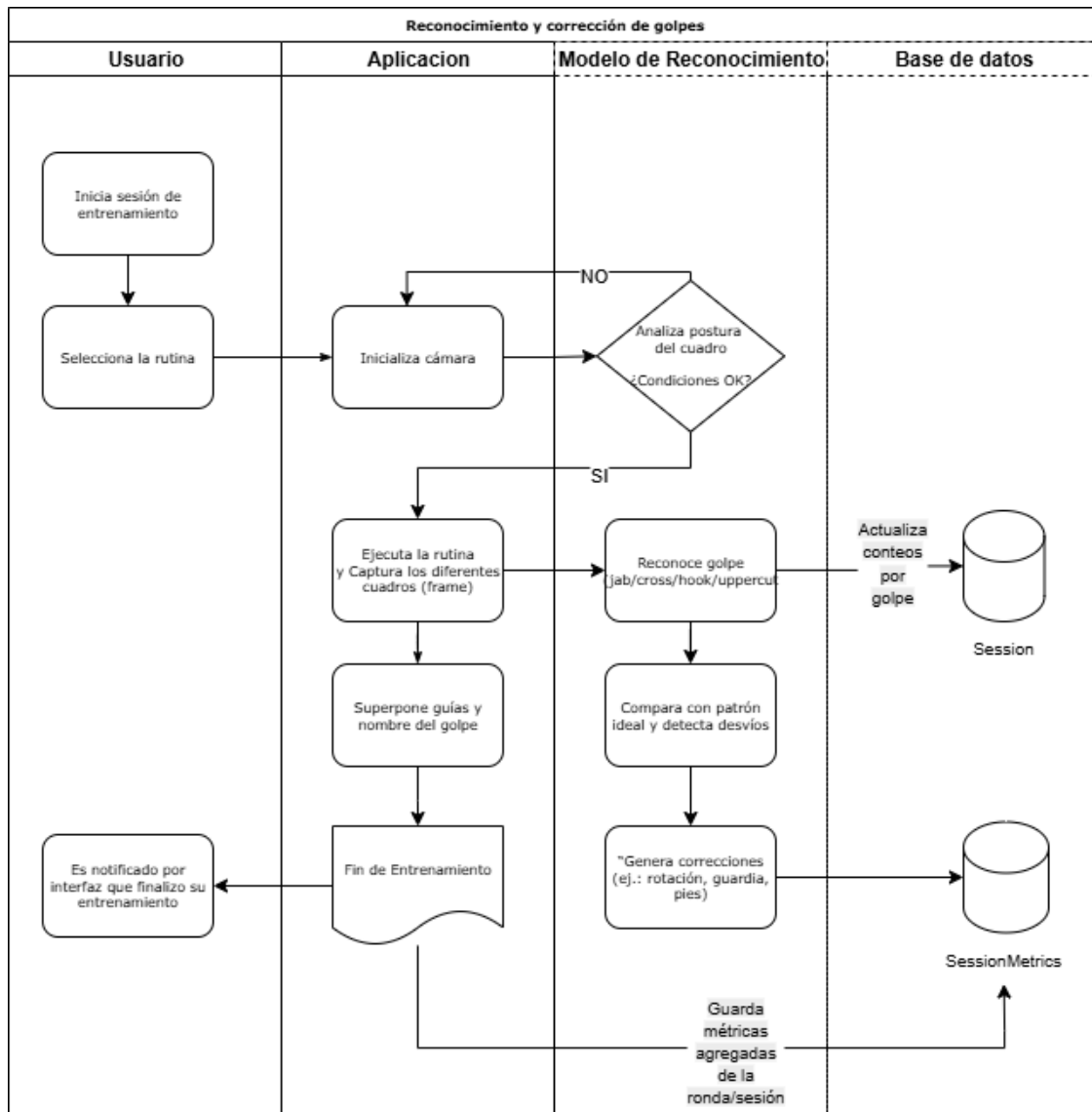


Figura 14: Flujo de proceso del reconocimiento y corrección del golpe ejecutado (Elaboración propia)

### 3.3.2. Entrenamiento progresivo por niveles

En este apartado se muestra cómo el usuario avanza en la aplicación de forma estructurada por niveles (Figura 15). Primero selecciona el nivel disponible y completa la rutina, tras lo cual el sistema calcula una puntuación con base en métricas técnicas como precisión, similitud, consistencia y estabilidad temporal. Si no se cumplen los umbrales establecidos, la aplicación sugiere repetir con foco en áreas de mejora; si los alcanza, desbloquea el siguiente nivel. Toda la información se almacena en la base de datos, actualizando el progreso y dejando registro de los logros.

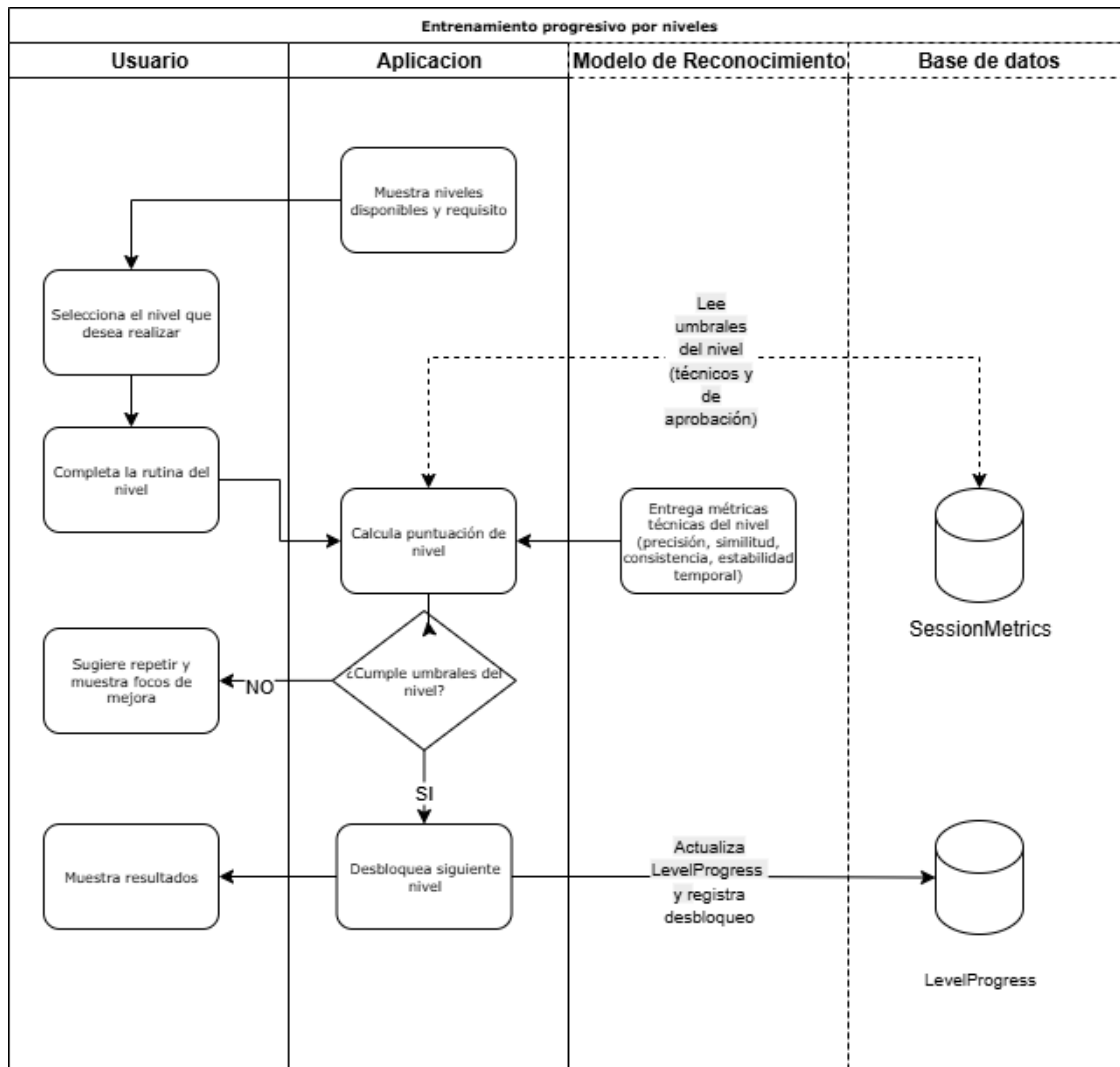


Figura 15: Flujo de proceso del sistema progresivo de niveles (Elaboración propia)

### 3.3.3. Seguimiento del progreso individual

Permite al usuario revisar su evolución histórica. Al acceder a los reportes, la aplicación consulta sesiones pasadas y métricas acumuladas (golpes, niveles, desempeño técnico), componiendo un informe que combina datos de distintas fuentes (Session y SessionMetrics). El resultado es un reporte visualizado por el usuario, que resume su progreso por nivel y por tipo de golpe, brindando retroalimentación sobre la evolución de su entrenamiento (Figura 16).

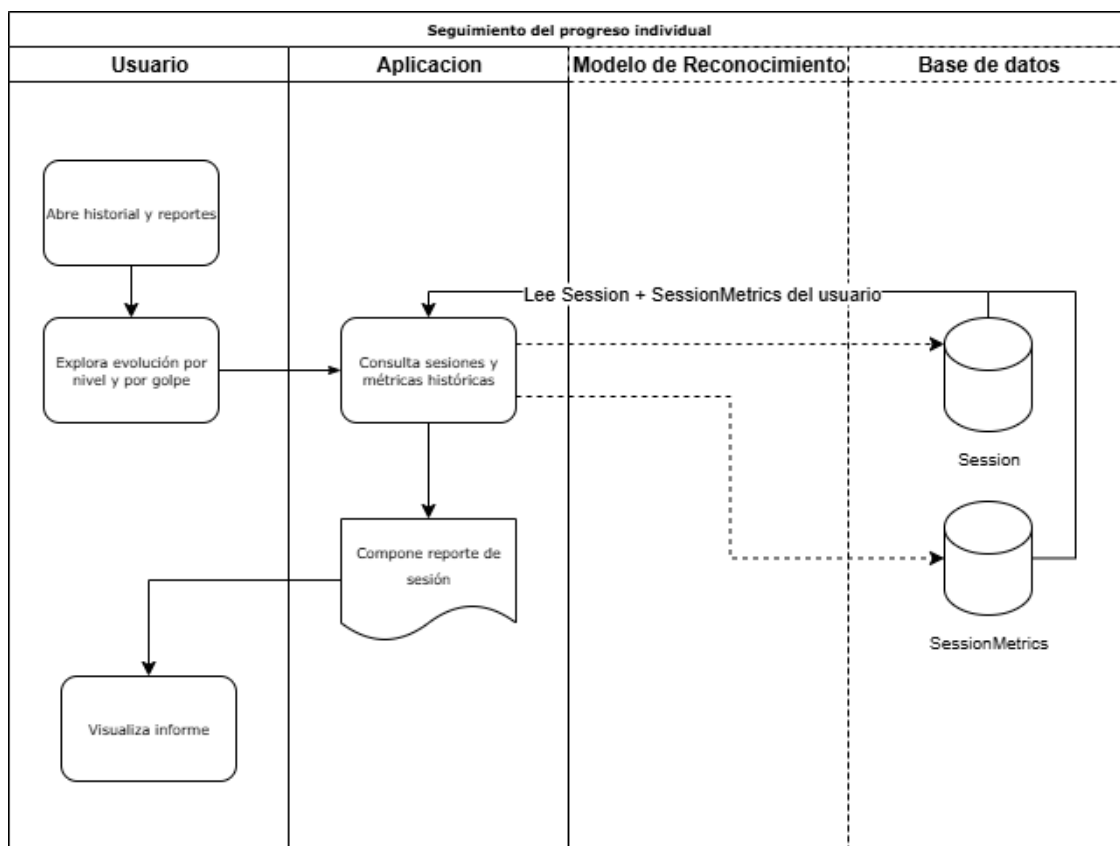


Figura 16: Flujo de proceso del seguimiento del progreso individual del usuario (Elaboración propia)

### 3.4. Tecnologías utilizadas

En esta sección se presentan las herramientas y entornos empleados en el desarrollo del proyecto, organizados de acuerdo con su rol dentro de la solución propuesta.

#### 3.4.1. Python

La elección de Python 3 se fundamenta en la versatilidad que ofrece para integrar múltiples librerías en un mismo entorno (Python Software Foundation, 2025), la rapidez con la que permite prototipar soluciones y el extenso soporte comunitario disponible. Estas características hacen de Python una opción adecuada para proyectos de investigación aplicada, como el presente, que requieren combinar captura de datos, y análisis automático mediante modelos de aprendizaje automático.

En complemento, se incorpora Django (Django Software Foundation, 2025) como framework de desarrollo, cuya función principal en el backend es proveer una arquitectura ordenada para la gestión de la lógica de negocio y la interacción con la base de datos mediante su ORM. Esta herramienta facilita el enrutamiento de solicitudes, la definición de modelos de datos y la exposición de servicios a través de Django REST Framework, permitiendo que la aplicación cliente se comuniquen de forma eficiente con los módulos de procesamiento y reconocimiento.

##### 3.4.1.1. Modelo de detección

En el módulo de detección, Python cumple el rol de orquestador del flujo completo de machine learning, desde la preparación del dataset hasta la inferencia del modelo entrenado. Para esta tarea se emplean diversas librerías del ecosistema científico.

En primer lugar, fue utilizado un Random Forest Classifier (Scikit-learn, 2025) por su robustez y baja latencia en CPU, lo que permitió validar rápidamente la idea del clasificador de golpes. Posteriormente, se decide migrar el modelo a TorchScript, una red neuronal que ofrece mayor precisión, portabilidad y compatibilidad con el backend, facilitando su integración en la aplicación y permitiendo ejecutar la inferencia de manera eficiente con capacidad de escalar a futuros dispositivos o plataformas. El uso del modelo inicial no se descarta para posibles aplicaciones futuras.

Complementariamente, se empleó NumPy para la gestión de estructuras de datos matriciales, permitiendo organizar los vectores en un dataset estructurado. Asimismo, se utiliza la librería pickle exclusivamente para la serialización del objeto *StandardScaler* en un archivo *.pkl*. Este componente es crítico, ya que almacena los parámetros de normalización estadística aprendidos durante el entrenamiento; estos mismos parámetros deben aplicarse a los datos de entrada antes de ser procesados por la red neuronal, asegurando la consistencia matemática de la inferencia.

En síntesis, en este módulo Python articula la carga de datos, el entrenamiento supervisado, la evaluación mediante métricas estandarizadas y el despliegue del modelo, asegurando la reproducibilidad y eficiencia del proceso.

### 3.4.1.2. Pose Estimation

En el módulo de estimación de pose, Python se utiliza para coordinar la captura de video, la inferencia cuadro a cuadro de la postura corporal y la preparación de los vectores de entrada para el clasificador. Este proceso se sustenta principalmente en dos librerías: MediaPipe y OpenCV.

MediaPipe, desarrollado por Google, es un framework optimizado para la detección de puntos clave del cuerpo humano. Su implementación en este proyecto permite obtener de manera automática los 33 landmarks corporales en cada frame de video, incluyendo coordenadas normalizadas y un índice de visibilidad. Estos landmarks constituyen la representación estructurada del movimiento que se utiliza como insumo directo para el modelo de clasificación. La elección de MediaPipe se justifica en su capacidad para operar en tiempo real, con bajo consumo de recursos y alta robustez frente a oclusiones parciales, lo que lo convierte en una herramienta ideal para aplicaciones deportivas.

Por su parte, OpenCV se emplea como soporte para la captura de video y la gestión del flujo visual. Esta librería permite acceder a la cámara del dispositivo, procesar las imágenes en el formato adecuado para MediaPipe y superponer sobre el video tanto los landmarks detectados como las predicciones generadas por el modelo. De esta forma, se garantiza una retroalimentación inmediata y visualmente clara para el usuario.

En conjunto, Python articula ambos frameworks para generar un flujo continuo: OpenCV captura y procesa los cuadros, MediaPipe extrae la información postural y los datos resultantes se transforman en vectores numéricos que alimentan al modelo de detección. Esta

integración asegura la coherencia entre la etapa de percepción (Pose Estimation) y la de clasificación (modelo de golpes), consolidando una solución funcional.

### 3.4.2. React Native

Es un framework de desarrollo móvil basado en JavaScript que permite construir aplicaciones nativas para Android e iOS a partir de una única base de código. En este proyecto se utiliza para desarrollar la aplicación cliente, proporcionando la interfaz de usuario y la lógica de interacción principal.

- Expo: conjunto de herramientas que facilita el desarrollo en React Native, simplificando la configuración del entorno y permitiendo el acceso a funcionalidades nativas como la cámara y la galería de imágenes.
- React Navigation: librería utilizada para la gestión de la navegación dentro de la aplicación, estructurando los distintos flujos de interacción a través de pantallas y pestañas de manera organizada e intuitiva.

### 3.5. Modelo de datos

Los datos generados por el sistema *BoxTrainer* se resguardan en una base de datos relacional implementada con el ORM de Django. Este enfoque permite mantener la integridad referencial entre las distintas entidades, garantizar la durabilidad ACID de las operaciones y facilitar la trazabilidad de la información técnica (Figura 17). La elección de esta tecnología responde a la necesidad de priorizar la persistencia como atributo central: cada sesión de entrenamiento, métrica o progreso registrado debe conservarse de forma íntegra y accesible, evitando pérdidas o inconsistencias.

Asimismo, se adoptan mecanismos de normalización para separar información sensible, catálogos de contenido y registros operativos, a fin de asegurar un almacenamiento eficiente, escalable y orientado a la confiabilidad a largo plazo.

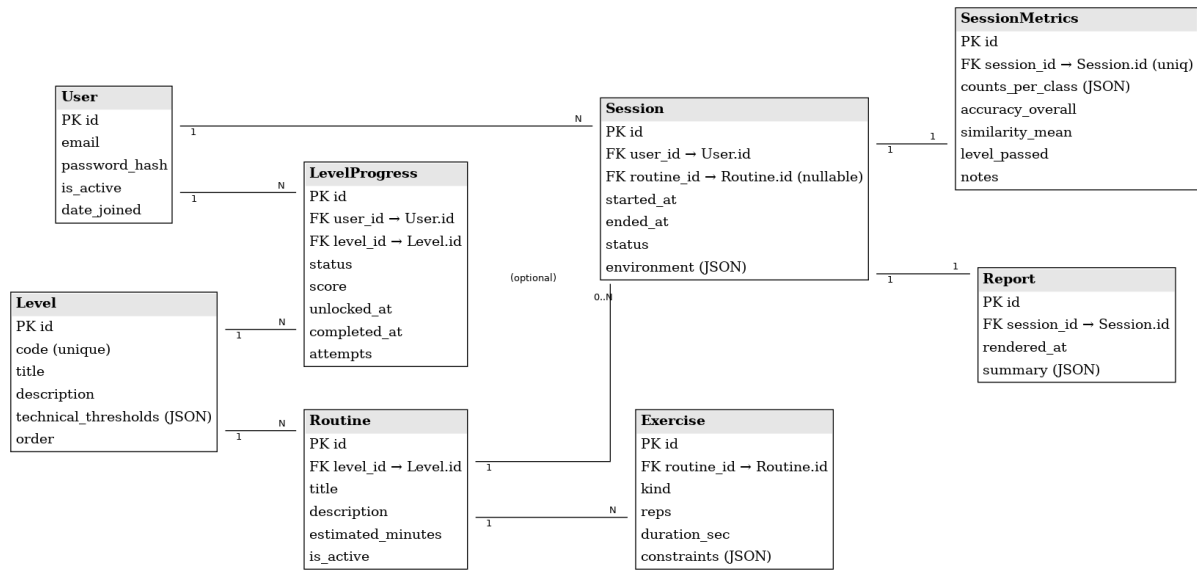


Figura 17: Diagrama Entidad Relación (DER) (Elaboración propia)

El modelo se organiza en torno a cuatro bloques lógicos. En primer término, la identidad del usuario se concentra en la entidad User, desde la cual se relacionan todas las evidencias de uso del sistema. Cada sesión de entrenamiento —realizada por un usuario autenticado— queda asociada a User, lo que permite mantener un historial individual completo y auditable.

En segundo lugar, el contenido pedagógico se modela de manera jerárquica para asegurar progresión técnica. Un Level define umbrales y reglas de evaluación; a cada nivel pueden asociarse múltiples Routine (relación 1:N), y cada rutina se descompone en múltiples Exercise (relación 1:N). Esta estructura permite diseñar prácticas coherentes con el grado de dificultad esperado y, a la vez, reutilizar rutinas y ejercicios en diferentes momentos del proceso formativo. Los umbrales técnicos se preservan en Level para sostener evaluaciones comparables en el tiempo.

En tercer término, la operación del sistema se materializa en Session, entidad que representa una práctica concreta ejecutada por un usuario en una fecha y bajo un contexto determinado. Una sesión puede estar vinculada a una Routine predefinida o, de manera opcional, registrarse sin rutina (el campo es anulable) para admitir prácticas libres. Finalizada la ejecución, la sesión genera un único resumen técnico en SessionMetrics (relación 1:1), donde se consolidan conteos por clase de golpe, precisión global, medidas de similitud y el indicador de aprobación del nivel. De forma complementaria, se prevé un único Report por sesión

(relación 1:1) con el feedback legible para el usuario, manteniendo separados los datos cuantitativos del resumen textual.

Por último, el progreso se administra mediante *LevelProgress*, que vincula a cada usuario con cada nivel y registra su estado (bloqueado, desbloqueado o completado), el puntaje alcanzado, los intentos y las fechas relevantes. Esta entidad funciona como un tablero de control persistente para la lógica de avance: se actualiza cuando una sesión supera los umbrales técnicos definidos en el nivel correspondiente y habilita o deniega el acceso a niveles posteriores. La relación entre *User* y *LevelProgress* es de uno a muchos, al igual que entre *Level* y *LevelProgress*, permitiendo un seguimiento longitudinal por persona y por nivel.

### 3.6. Fuente de datos

El sistema *BoxTrainer* se apoya en dos fuentes de datos principales, que en conjunto posibilitan la detección de golpes básicos de boxeo y la corrección técnica. Por un lado, se desarrolla un dataset propio que concentra la información necesaria para el entrenamiento del modelo de clasificación de golpes. Por otro, se adopta un modelo preentrenado de estimación de pose que provee de manera continua los landmarks corporales durante las sesiones de práctica.

#### 3.6.1. Dataset golpes básicos de boxeo

Con el propósito de disponer de un conjunto de ejemplos representativos, se elabora un dataset específico a partir de secuencias de video de prácticas de boxeo. En lugar de conservar imágenes crudas, el material es procesado mediante *MediaPipe Pose*, obteniéndose así una representación vectorizada basada en la postura corporal.

El resultado de este procesamiento se consolida en el archivo *dataset.npz*, que constituye la fuente primaria de información para el clasificador. Dicho archivo contiene:

- 17.242 instancias (fragmentos de video) que describen ejecuciones de golpes individuales.
- Una matriz de características con 132 atributos por instancia, derivados de los 33 landmarks detectados (coordenadas x, y, z y un índice de visibilidad).

- Un vector de etiquetas categóricas que identifica a cada golpe dentro de cuatro clases: jab, cross, hook y uppercut.

La construcción de este dataset permite contar con una fuente controlada y balanceada de información, diseñada específicamente para el dominio del proyecto.

### **3.6.1.1. División para entrenamiento y validación**

Con el objetivo de evaluar de manera objetiva el desempeño del clasificador, se lleva a cabo una división del dataset en dos subconjuntos mutuamente excluyentes: conjunto de entrenamiento y conjunto de validación (prueba). Esta estrategia permite que el modelo aprenda patrones generales a partir de un grupo representativo de ejemplos y que posteriormente sea evaluado sobre instancias no vistas previamente, lo cual constituye una medida robusta de su capacidad de generalización.

El criterio adoptado es el de partición estratificada, garantizando que la proporción de las clases se mantenga de forma equivalente en ambos subconjuntos. En esta etapa, se consideran cinco categorías: los cuatro golpes básicos (jab, cross, hook y uppercut) y la guardia, fundamental para distinguir la inactividad de la ejecución del golpe. De este modo, se evita que alguna categoría quede sobrerrepresentada en el entrenamiento o insuficientemente representada en la validación, lo cual puede introducir sesgos en la evaluación.

La división se realiza siguiendo una proporción aproximada de 80 % para entrenamiento y 20 % para validación. Con esta distribución, de la totalidad del dataset, se utilizan la mayoría de los registros para ajustar los parámetros del modelo, mientras que 3.742 registros quedan reservados exclusivamente para medir su desempeño en la etapa de prueba.

### **3.6.1.2. Validación del modelo y métricas de Desempeño**

Para verificar el cumplimiento del requerimiento no funcional RNF003, que exige una precisión mínima del 80 % en la clasificación de los movimientos, se somete al modelo entrenado a una evaluación exhaustiva utilizando el mencionado subconjunto de prueba.

Los resultados que se obtienen, detallados en la Figura 18, evidencian una exactitud global (Test Accuracy) del 88,73 %, superando el umbral técnico establecido.

```

=====
TEST ACCURACY: 0.8873
=====

Reporte de Clasificación:
      precision    recall  f1-score   support
cross    0.933      0.872    0.901     745
guardia  0.893      0.848    0.870     783
hooks    0.888      0.824    0.855     714
jabs     0.851      0.895    0.872     749
uppercuts 0.957      0.908    0.932     751

accuracy                0.887     3742
macro avg  0.867      0.877    0.877     3742
weighted avg 0.887      0.887    0.887     3742
    
```

Figura 18: Reporte de clasificación generado sobre el set de validación (3.742 muestras).

El reporte demuestra una alta capacidad de generalización del modelo. Se destacan los siguientes puntos que validan la viabilidad técnica:

- **Precisión por clase:** Se observa un rendimiento sobresaliente en golpes complejos como el uppercut (precisión de 0.957) y el cross (precisión de 0.933), lo que asegura una identificación fiable del tipo de golpe.
- **Detección de guardia:** La clase "guardia" presenta un F1-score de 0.870, validando la capacidad del sistema para diferenciar correctamente entre la postura base y la ejecución activa de un movimiento.
- **Consistencia:** Todas las clases mantienen un F1-score superior a 0.85, lo que indica un equilibrio adecuado entre la precisión y la capacidad de recuperación (recall) del modelo.

En conclusión, la alta precisión en la métrica global confirma que la arquitectura seleccionada satisface los requisitos de calidad necesarios para la operación de la aplicación.

### 3.7. Arquitectura de la aplicación

La aplicación sigue un diseño móvil-centrado con backend monolítico. Los videos capturados desde la app en React Native se envían al backend de Django REST Framework, donde se realiza la estimación de pose con MediaPipe y la clasificación de golpes mediante el modelo TorchScript. Esta centralización permite ejecutar la inferencia de manera

eficiente, aprovechar la precisión y portabilidad de TorchScript, y mantener control sobre el procesamiento sin cargar los dispositivos móviles.

El backend también gestiona la autenticación de usuarios, el historial de entrenamientos, y la lógica de niveles y progresión, almacenando toda esta información en una base de datos relacional.

Esta arquitectura (Figura 19) facilita mantener consistencia, seguridad y escalabilidad, al tiempo que permite evolucionar el modelo o agregar nuevas funcionalidades sin afectar la app móvil.



Figura 19: Diagrama de Arquitectura (Elaboración propia)

### 3.7.1. Diagrama C4 – Level 1

El C4 Level 1 (Figura 20) presenta el sistema como una “caja” con sus actores y sistemas vecinos, mostrando los canales de comunicación y, a alto nivel, qué hace cada parte. Sirve para que cualquier lector entienda quién interactúa, por dónde circula la información y qué responsabilidades asume cada bloque sin entrar aún en detalles internos de implementación.

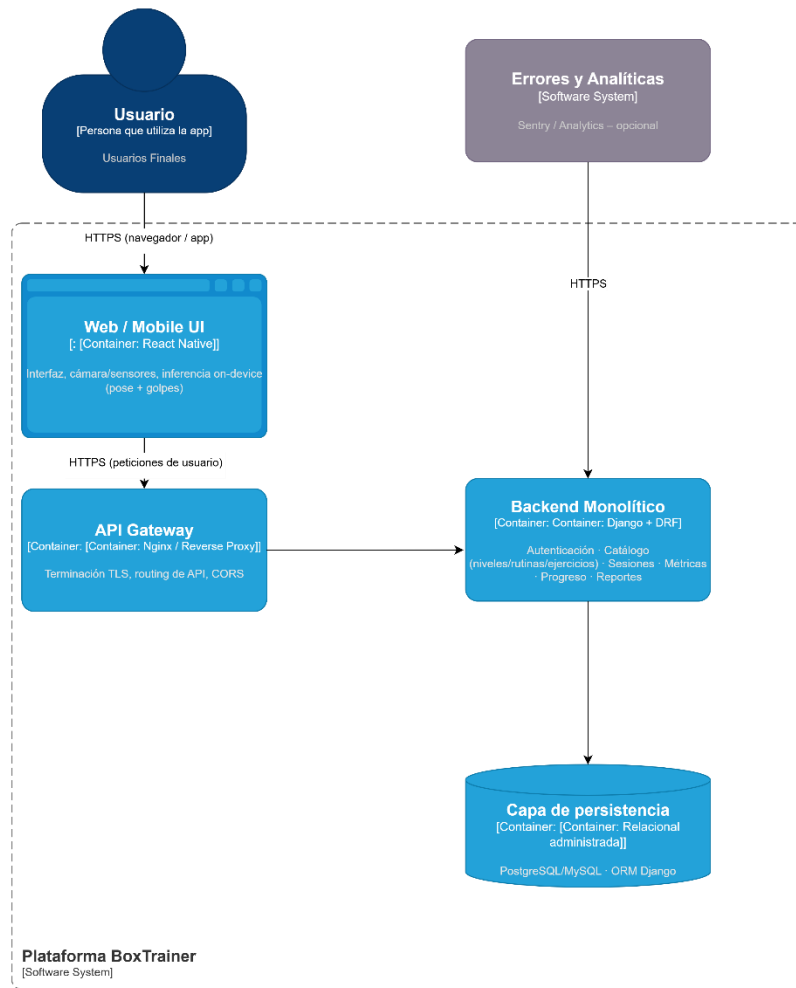


Figura 20: Diagrama C4 Level 1 (Elaboración propia)

- **Usuario:** Actor humano que utiliza la app. Inicia sesiones, ejecuta rutinas y consulta su progreso a través de la interfaz móvil.
- **Web / Mobile UI / SPA [Container: React Native]:** Provee la interfaz, accede a la cámara y ejecuta la inferencia en el servidor (pose + clasificación de golpes con modelo local *.ptl*). Envía métricas agregadas y recibe resultados por HTTPS.
- **API Gateway [Container: Nginx / Reverse Proxy]:** Punto de entrada del backend. Termina TLS, aplica CORS y enruta las solicitudes REST hacia el servidor de aplicación.
- **Backend Monolítico [Container: Django REST Framework]:** Núcleo del servidor. Expone la API REST, gestiona autenticación, catálogo

pedagógico (niveles/rutinas/ejercicios), sesiones, métricas, progreso y reportes. También publica la descarga/actualización del modelo (*.ptl*) para la app.

- Capa de persistencia [Container: Relacional administrada]: Base de datos (PostgreSQL/MySQL) consumida vía ORM de Django. Garantiza integridad referencial y durabilidad ACID para sesiones, métricas y avances por nivel.
- Errores y Analíticas [Software System]: Modelo de reconocimiento (Sentry/Analytics) para registrar errores, telemetría y uso, integrado desde el backend por HTTPS.

### 3.7.2. Diagrama C4 – Level 2

El diagrama C4 – Level 2 (Figura 21) detalla los contenedores que conforman BoxTrainer y cómo se relacionan para cumplir los requerimientos del sistema. Como se mencionó anteriormente, la solución adopta un backend monolítico en Django REST Framework con responsabilidades separadas por componentes (catálogo pedagógico, autenticación, registro de sesiones, cálculo de métricas, evaluación de progreso, reportes) y una capa de persistencia organizada en dos dominios: contenido (niveles, rutinas y ejercicios) y operación (sesiones, métricas y progreso por nivel). La entrega de modelo y estáticos publica el archivo del clasificador (*.pkl*) que la aplicación móvil descarga para ejecutar la inferencia on-device, preservando privacidad y baja latencia. Este modelado aporta claridad de responsabilidades, trazabilidad de datos técnicos, y una base simple de operar y escalar: se puede crecer horizontalmente en la API, versionar el modelo de forma controlada y añadir capacidades opcionales (telemetría, exportes, notificaciones) sin introducir complejidad de microservicios.

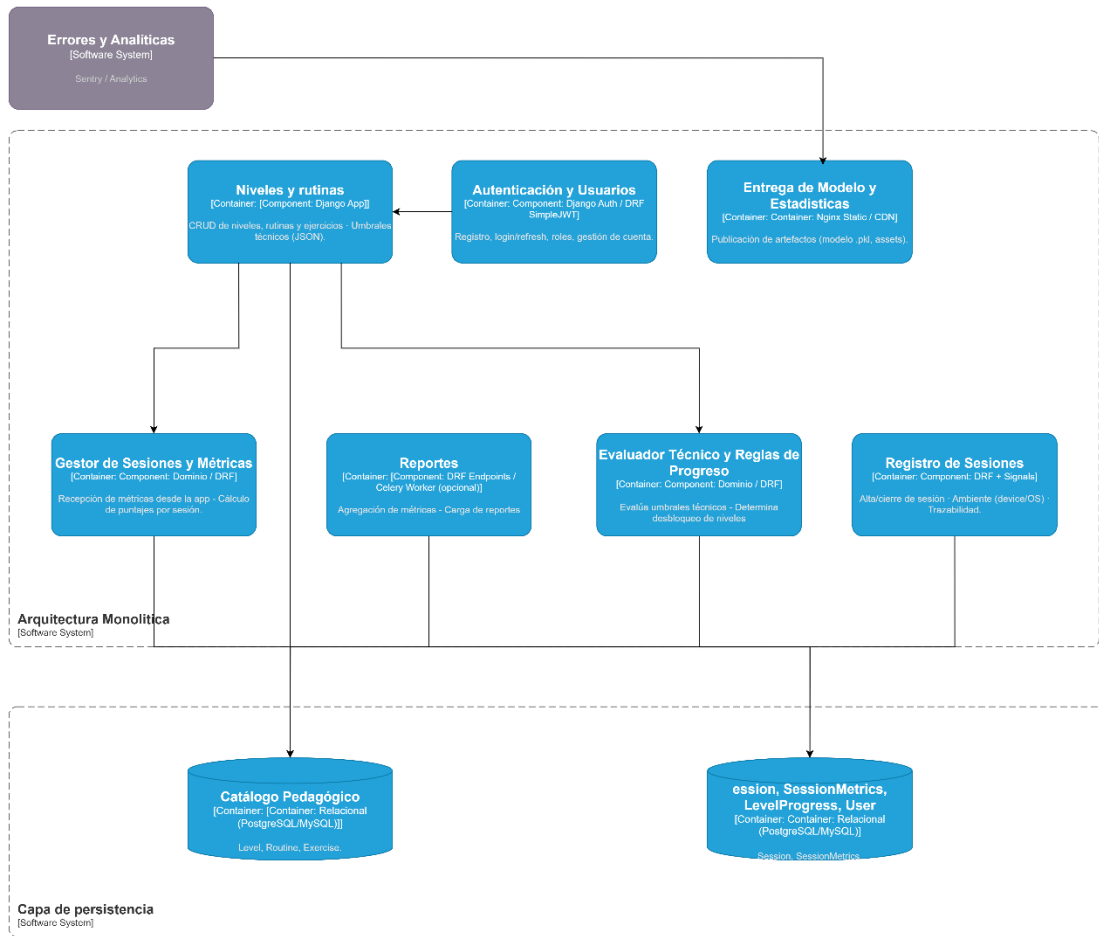


Figura 21: Diagrama C4 Level 2 (Elaboración propia)

### 3.8. Aspectos gráficos y visuales

Este apartado desarrolla los aspectos visuales y funcionales que definen la experiencia de usuario en BoxTrainer. Se aborda desde la construcción de la identidad marcaria, diseñada para comunicar los valores del proyecto, hasta la estructuración de la interfaz gráfica que materializa los flujos de navegación y operación del sistema.

#### 3.8.1. Identidad visual

La identidad visual de BoxTrainer se construye a partir de un logotipo que sintetiza de manera clara los valores fundamentales del proyecto: técnica, precisión, movimiento y análisis inteligente (Figura 22). El diseño presenta la silueta de un boxeador en posición de ataque, representado mediante un esquema corporal estilizado en color rojo, acompañado por una serie de puntos blancos ubicados estratégicamente sobre las articulaciones

principales. Esta elección gráfica no solo transmite dinamismo y fuerza, sino que también remite directamente al proceso de estimación de pose utilizado por la aplicación, estableciendo una correspondencia inmediata entre la propuesta estética y la tecnología que define el núcleo funcional del sistema.

El uso del color rojo cumple un rol simbólico y comunicacional clave. Tradicionalmente asociado a la energía, la potencia física y la intensidad emocional, el rojo refuerza la idea de entrenamiento activo y esfuerzo deportivo. Al mismo tiempo, funciona como un recurso visual de alta visibilidad que capta rápidamente la atención y genera recordación de marca. En contraste, el fondo negro aporta solidez, modernidad y contraste, facilitando que la figura principal se destaque con fuerza y asegurando legibilidad en contextos digitales.

La incorporación de los puntos articulares en color blanco remite directamente a la lógica de análisis biomecánico que emplea la aplicación. Este elemento convierte al logotipo en una representación conceptual del funcionamiento del sistema: el seguimiento del movimiento humano a partir de keypoints o landmarks extraídos mediante algoritmos de visión por computadora.

La tipografía utilizada para la marca “BOX TRAINER” acompaña esta lógica al presentar un estilo robusto, geométrico y de alta legibilidad, coherente con la búsqueda de precisión y simplicidad funcional. El contraste entre “BOX”, en blanco, y “TRAINER”, en rojo, refuerza la jerarquía visual del nombre y permite diferenciar el componente disciplinar (boxeo) del componente funcional (entrenador / sistema de guía). Esta decisión mejora la interpretación inmediata de la marca y facilita su reconocimiento en distintos tamaños y soportes.



Figura 22: Logotipo de la aplicación BoxTrainer (Elaboración propia)

### 3.8.2. Interfaz gráfica

La presente sección expone la interfaz gráfica de la aplicación BoxTrainer. El diseño implementado materializa la experiencia de usuario definida, estableciendo los flujos de interacción, la disposición de los elementos y la lógica de navegación que rigen el sistema.

A continuación, se describen las pantallas que componen la aplicación, detallando los componentes y las funcionalidades operativas.

#### 3.8.2.1. Login de usuario

La pantalla de inicio gestiona el acceso de los usuarios a la plataforma. La interfaz presenta un formulario de autenticación compuesto por los campos de correo electrónico y contraseña, junto con el botón de ingreso (Figura 22). La función de esta pantalla es garantizar la autenticación y la vinculación de cada sesión de entrenamiento con un usuario específico.



Figura 22: Pantalla de inicio de BoxTrainer (Elaboración propia)

### 3.8.2.2. Registro de usuario

La pantalla de registro permite la creación de nuevas cuentas en la aplicación. La interfaz presenta un formulario de registro, compuesto por los campos de nombre de usuario, correo electrónico, contraseña, edad y peso, junto con un botón de confirmación (Figura 23). Su función es asegurar que cada usuario pueda generar su perfil personal y almacenar su progreso de manera individual en la base de datos.

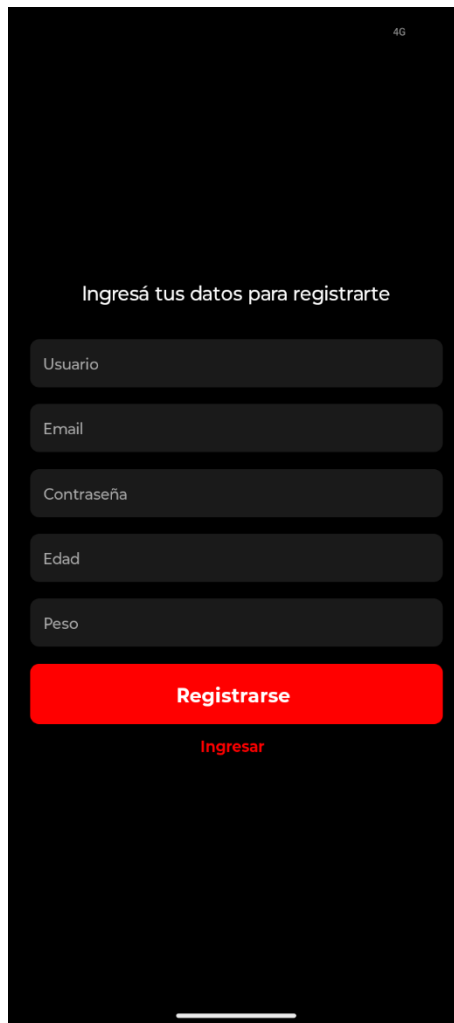


Figura 23: Pantalla de registro de BoxTrainer (Elaboración propia)

### 3.8.2.3. Pantalla de prácticas

Esta pantalla lista las rutinas de entrenamiento disponibles (Figura 24). Las rutinas se presentan en un formato simple de listado, permitiendo al usuario seleccionar fácilmente la práctica deseada. La interfaz incluye además dos botones principales: uno para grabar un video directamente desde la aplicación y otro para subir un video previamente almacenado en el dispositivo.

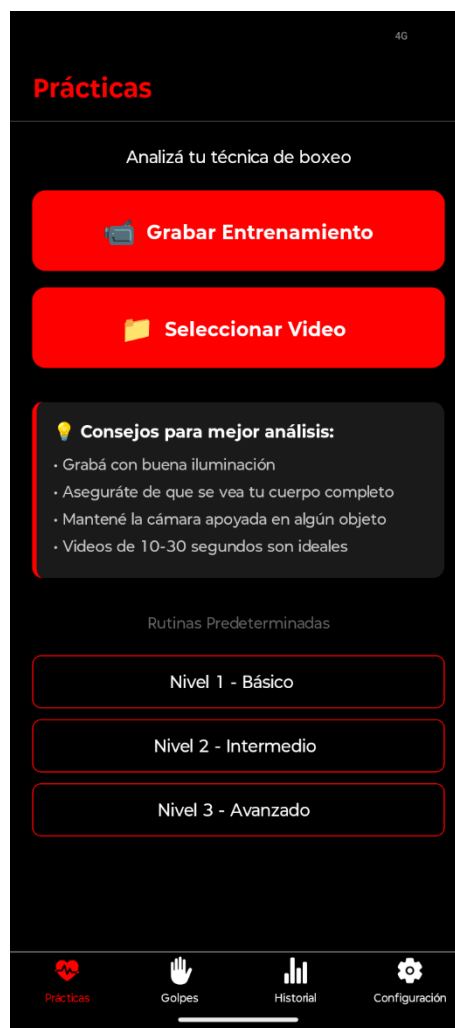


Figura 24: Pantalla de selección de practica y nivel (Elaboración propia)

### 3.8.2.4. Pantalla de golpes

La pantalla de golpes constituye una sección de orientación dentro de la aplicación. En la interfaz se incluyen los golpes básicos (jab, cross, hook y uppercut) presentados de forma visual y organizada (Figura 25).

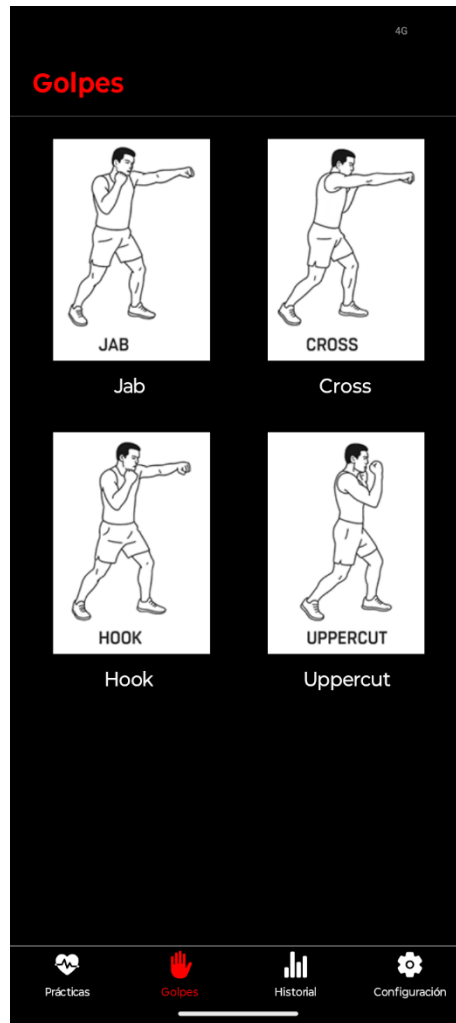


Figura 25: Seguimiento de la práctica y progreso por golpes (Elaboración propia)

### 3.8.2.5. Historial de usuario

El historial presenta las sesiones pasadas, con información sobre fecha y desempeño. En esta pantalla aparece como un listado sencillo, que asegura la trazabilidad de la práctica (Figura 26). Se muestra un resumen básico de métricas por sesión (ejemplo: cantidad de golpes acertados o nivel superado), proporcionando al usuario la información necesaria para realizar un seguimiento efectivo y cuantificable de su evolución técnica.

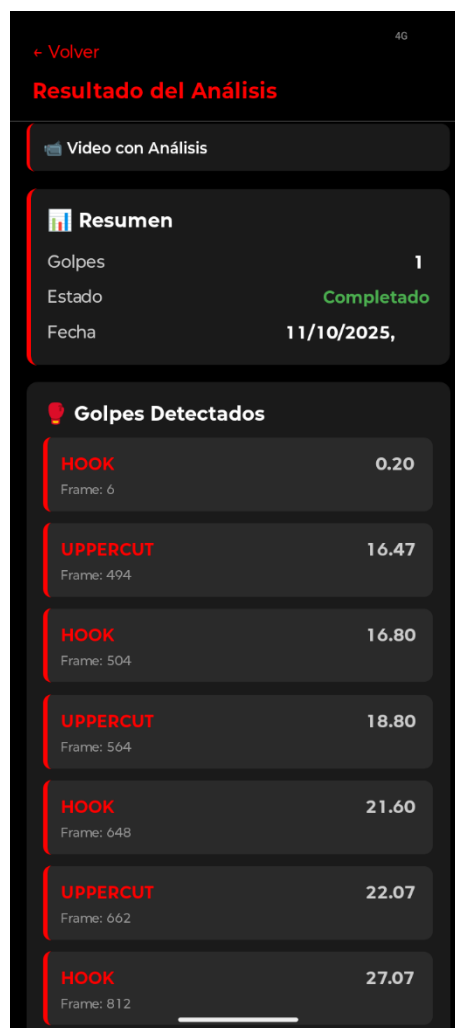


Figura 26: Pantalla de seguimiento de historial del usuario (Elaboración propia)

### 3.8.2.6. Configuración

En la pantalla de configuración se permite al usuario editar sus datos y cerrar sesión, como también solicitar ayuda, y visualizar los términos de uso y la política de privacidad (Figura 27).

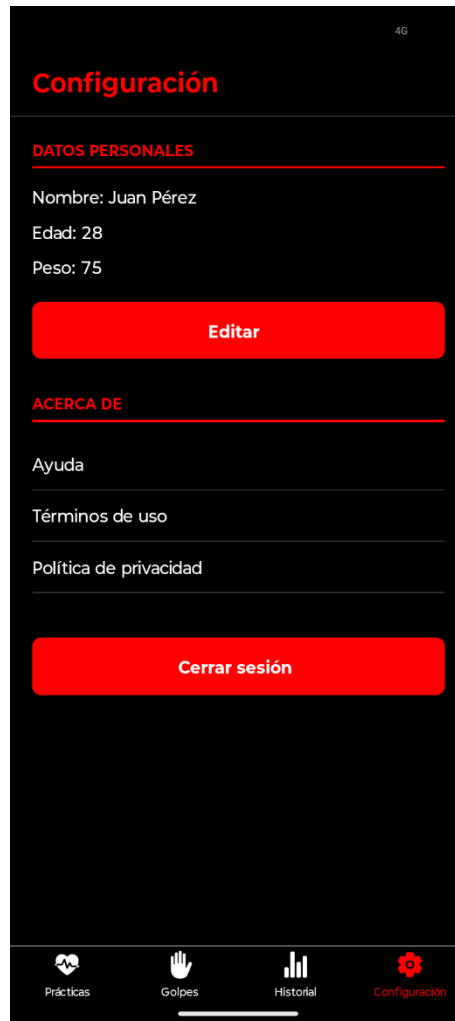


Figura 27: Apartado de configuración (Elaboración propia)

### 3.9. Viabilidad legal

En esta sección se especifican las disposiciones legales que enmarcan el funcionamiento de BoxTrainer, con el fin de garantizar el cumplimiento normativo, proteger la privacidad de los usuarios y delimitar las responsabilidades derivadas del uso de la aplicación.

#### 3.9.1. Ley de Protección de Datos Personales

La aplicación se rige por la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales, garantizando el derecho al honor y a la intimidad de las personas. BoxTrainer trata dos categorías de datos:

- Datos de registro: Correo electrónico, contraseña (cifrada asimétricamente) y datos antropométricos.
- Datos biométricos y de imagen: Videos del usuario y vectores de movimiento, necesarios para el análisis técnico.

Se garantiza el ejercicio de los derechos ARCO (Acceso, Rectificación, Cancelación y Oposición), disponiendo de canales técnicos para que el usuario pueda gestionar su información en cualquier momento.

#### 3.9.2. Política de Privacidad y almacenamiento de video

BoxTrainer dispone de una Política de Privacidad explícita que el usuario debe aceptar antes de comenzar a operar. En ella se detalla el tratamiento específico de los archivos multimedia:

- Almacenamiento en Backend: Se informa al usuario que los videos capturados durante las sesiones son transmitidos y almacenados en los servidores (backend) de la aplicación. Este almacenamiento es indispensable para permitir el procesamiento diferido, el seguimiento histórico y la mejora continua de los algoritmos de IA. Los archivos se resguardan bajo estrictas normas de seguridad informática, vinculados unívocamente al ID del usuario y sin acceso público.
- Eliminación de Datos por Baja del Servicio: En caso de que el usuario solicite la baja de su cuenta o decida dejar de utilizar el servicio, BoxTrainer se compromete a la eliminación definitiva e irreversible de

todos sus datos personales. Esto implica el borrado físico de los videos alojados en el servidor, así como de los registros biométricos y métricas de desempeño asociados, asegurando que no permanezca información residual del usuario en las bases de datos activas.

### 3.9.3. Derecho de Imagen

Conforme a la Ley 11.723 de Propiedad Intelectual, el uso de la imagen de una persona requiere su consentimiento. Al registrarse, el usuario otorga una autorización de uso con fines estrictamente funcionales (análisis técnico y pedagógico). La Política de Privacidad establece que BoxTrainer no utilizará dichos videos con fines comerciales, publicitarios ni de difusión pública sin un nuevo consentimiento expreso y por escrito del titular.

### 3.9.4. Responsabilidad Civil y Aviso de Salud

BoxTrainer se define como una herramienta de asistencia técnica bajo una obligación de medios y no de resultados. La aplicación no sustituye la supervisión profesional ni el juicio médico.

Para deslindar responsabilidades, se incluye el siguiente aviso visible en la aplicación:

*"BoxTrainer utiliza Inteligencia Artificial para el análisis deportivo, pero no reemplaza a un entrenador profesional ni a un médico. La práctica del boxeo conlleva riesgos físicos. El usuario asume la responsabilidad total por cualquier lesión o daño derivado del entrenamiento, liberando a BoxTrainer de reclamos por el uso de la plataforma."*

### 3.9.5. Términos y Condiciones

La aceptación de los Términos y Condiciones implica:

- La conformidad con la Política de Privacidad y el almacenamiento de videos en el servidor para fines analíticos.
- El entendimiento de que, al darse de baja, se eliminarán permanentemente sus videos y datos de progreso.
- La declaración de aptitud física para realizar los ejercicios, asumiendo los riesgos inherentes a la práctica.

### 3.10. Análisis económico

En esta sección se analiza el plan de negocio y la factibilidad financiero-económica de BoxTrainer.

#### 3.10.1. Modelo de negocio

Se toma como partida las dimensiones del lienzo de Modelo de Negocio (Business Model Canvas), adaptadas al enfoque SaaS de una aplicación móvil de análisis técnico de boxeo con freemium (dos planes: Free y Pro). La lógica económica se fundamenta en tres pilares:

- Generación de valor percibido por correcciones técnicas que sustituyen parcialmente servicios presenciales.
- Escalabilidad digital con costos marginales decrecientes por usuario adicional, al ejecutar la mayor carga de cómputo en el dispositivo.
- Un precio de suscripción acorde a la disposición a pagar de usuarios de fitness digital, manteniendo un margen bruto alto suficiente para financiar adquisición, soporte y mejora continua del modelo de IA.

##### 3.10.1.1. Propuesta de valor

La propuesta de valor de BoxTrainer se centra en resolver un problema concreto del entrenamiento autónomo: la ausencia de feedback técnico confiable que impide consolidar una técnica correcta en los golpes básicos de boxeo. Este enfoque no requiere sensores externos ni hardware específico, por lo que democratiza el acceso al coaching técnico y reduce barreras de adopción.

Económicamente, la propuesta genera valor en tres planos:

- Sustitución parcial del tiempo del entrenador presencial para tareas de corrección básica.
- Reducción de la curva de aprendizaje (menor tiempo para adquirir una técnica aceptable).
- Continuidad del entrenamiento en el hogar sin costo adicional por sesión.

### **3.10.1.2. Segmentos de clientes**

El público objetivo de BoxTrainer abarca tres segmentos principales que reflejan distintos niveles de madurez deportiva y necesidades técnicas.

En primer lugar, los boxeadores principiantes y amateurs, que buscan mejorar su desempeño técnico sin depender exclusivamente del entrenador presencial. En segundo lugar, los usuarios del segmento fitness digital, interesados en incorporar el boxeo como disciplina de acondicionamiento físico y motivacional dentro de su rutina doméstica. Por último, los entrenadores personales y academias deportivas, quienes encuentran en la herramienta una vía para optimizar el seguimiento de sus alumnos mediante métricas objetivas de desempeño y progreso técnico.

Asimismo, se considera viable y estratégica la oferta de licencias institucionales para gimnasios, estructuradas bajo un esquema de compra múltiple con descuento progresivo por volumen. Este modelo permite a los centros deportivos incorporar la aplicación como valor agregado para sus socios, a la vez que potencia la visibilidad de la marca mediante su uso en entornos reales de entrenamiento grupal.

### **3.10.1.3. Canales**

El producto se distribuye a través de Google Play Store. La captación de usuarios se apoya en campañas digitales y contenido audiovisual (videos de antes/después, retos de técnica) en redes sociales, reforzado con alianzas con influencers deportivos y academias locales. Esta estrategia combina bajo costo de adquisición con alto alcance orgánico.

### **3.10.1.4. Relación con los clientes**

La relación con los clientes se desarrolla de manera progresiva, acompañando el nivel de involucramiento y suscripción.

En el plan gratuito, la interacción se basa en un recorrido autoguiado con tutoriales interactivos, soporte por correo electrónico y almacenamiento limitado de sesiones. Además, se incorporan anuncios publicitarios no intrusivos y segmentados, relacionados con equipamiento deportivo, nutrición o bienestar, lo que permite mantener la gratuidad del servicio sin afectar la experiencia de entrenamiento.

En el plan Pro, se amplía la relación mediante herramientas de seguimiento técnico avanzado, acceso ilimitado a sesiones, métricas comparativas de progreso y soporte prioritario.

**3.10.1.5. Fuente de ingresos**

El modelo de monetización se apoya en suscripciones escalonadas y fuentes de ingresos complementarias, diseñadas para cubrir distintos niveles de uso y compromiso según el perfil del cliente.

El plan Free actúa como vía de adquisición, ofreciendo acceso limitado pero funcional a la plataforma.

Su mantenimiento se financia mediante publicidad segmentada, mostrada de forma ocasional dentro de la aplicación. Este enfoque permite monetizar el alto volumen de usuarios no suscriptos, generando ingresos pasivos a través de redes publicitarias.

El plan Pro constituye el núcleo de rentabilidad individual, orientado a usuarios que buscan un entrenamiento técnico completo y seguimiento constante. Brinda acceso ilimitado a sesiones, feedback avanzado, reportes automáticos y soporte prioritario bajo un esquema de suscripción mensual.

Por su parte, el plan Pro Institucional está destinado a gimnasios, academias y entrenadores personales, y ofrece las mismas funcionalidades del plan Pro con licencias multiusuario a precio reducido por volumen (descuento promedio del 20 % a partir de cinco licencias).

TABLA V – Modelo de Licencias SaaS

<b>Funcionalidad / Característica</b>	<b>Plan Free</b>	<b>Plan Pro</b>	<b>Plan Pro Institucional</b>
<b>Costo mensual (USD)</b>	0	9,99	8,00 por licencia (mín. 5)
<b>Tipo de usuario objetivo</b>	Nuevos usuarios / aficionados	Boxeadores y amateurs avanzados	Gimnasios, academias y entrenadores
<b>Análisis técnico disponible</b>	2 golpes (jab y cross)	4 golpes (jab, cross, uppercut, hook)	4 golpes (jab, cross, uppercut, hook)

<b>Funcionalidad / Característica</b>	<b>Plan Free</b>	<b>Plan Pro</b>	<b>Plan Pro Institucional</b>
<b>Cantidad de sesiones mensuales</b>	Hasta 5	Ilimitadas	Ilimitadas
<b>Historial y almacenamiento</b>	3 sesiones almacenadas	Historial completo	Historial completo por usuario
<b>Sistema de niveles / progreso</b>	No disponible	Disponible	Disponible (seguimiento por alumno)
<b>Feedback técnico avanzado</b>	Básico (visual)	Avanzado	Avanzado grupal
<b>Soporte</b>	Por correo	Prioritario	Dedicado
<b>Publicidad en la app</b>	Publicidad no intrusiva segmentada (equipamiento, salud y fitness) para mantener el acceso gratuito	Sin publicidad	Sin publicidad

### **3.10.1.6. Recursos clave**

Los recursos clave de BoxTrainer están compuestos por el equipo de desarrollo encargado de mantener y mejorar la aplicación, garantizando su correcto funcionamiento y evolución constante.

Asimismo, resultan esenciales los acuerdos estratégicos con gimnasios y entrenadores, que permiten validar la herramienta y posicionarla dentro del ámbito deportivo.

Finalmente, se destacan los recursos vinculados al marketing y la comunicación, fundamentales para incrementar la visibilidad de la marca y fomentar la adopción del servicio en el mercado objetivo.

### **3.10.1.7. Actividades clave**

Las actividades clave necesarias para entregar la propuesta de valor incluyen el desarrollo, actualización y mantenimiento continuo del sistema, asegurando una experiencia de usuario estable y eficiente.

En paralelo, las acciones de marketing y ventas cumplen un rol central en la captación de nuevos usuarios y en la difusión de los beneficios de la aplicación entre gimnasios y deportistas.

Por último, la investigación y desarrollo constituye una actividad permanente orientada a mejorar la precisión del análisis técnico, optimizar el rendimiento del modelo de IA y ampliar las funcionalidades de la plataforma.

**3.10.1.8. Socios clave**

Los socios clave de BoxTrainer son los gimnasios y academias deportivas, que facilitan la incorporación de la herramienta en contextos reales de entrenamiento; los entrenadores personales, que contribuyen a la validación profesional del producto y su recomendación entre alumnos; y los aliados tecnológicos, como proveedores de servicios en la nube y plataformas de distribución, que aseguran la disponibilidad y escalabilidad del sistema.

Estas alianzas son determinantes para consolidar el modelo de negocio, ya que fortalecen la credibilidad de la aplicación, reducen los costos de promoción y aceleran su adopción en el mercado.

**3.10.1.9. Estructura de costos**

La estructura de costos de BoxTrainer contempla los gastos asociados al desarrollo, despliegue y mantenimiento de la plataforma, los cuales resultan indispensables para garantizar la continuidad del servicio y la calidad de la experiencia de usuario.

Dado que la solución se apoya en un modelo SaaS, los costos se dividen en dos grupos principales: los correspondientes a la etapa inicial de desarrollo y los de operación mensual una vez que el sistema se encuentra en producción.

**TABLA VI – Estructura de Costos Iniciales**

<b>Insumos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad estimada</b>	<b>Costo estimado (USD)</b>
Recursos Humanos	Desarrollador Frontend (nivel medio)	60 horas	1.800
	Desarrollador Backend (nivel medio)	60 horas	1.800
	Project Manager / Coordinador	40 horas	1.600
	Ingeniero de Machine Learning / IA	120 horas	3.600
Computadora / equipamiento	Notebook de desarrollo + smartphome de prueba + tripode	1 unidad	1.200

Insumos	Descripción	Cantidad estimada	Costo estimado (USD)
Infraestructura (primer mes)	AWS (EC2 + RDS + almacenamiento + API Gateway)	N/A	150
Publicidad & marketing inicial	Campañas digitales, diseño de contenido, video promocional	N/A	1.200
Licencias / dominio / herramientas	Servicios de terceros, librerías, dominios	N/A	500
Gastos legales / administrativos	Registro marca, asesor contable, impuestos locales	N/A	800
<b>Presupuesto total estimado</b>			<b>USD 12.650</b>

TABLA VII – Costo mensual estimado de infraestructura AWS

Servicio	Descripción	Costo mensual (USD)
<b>Amazon EC2</b>	Instancia t3.medium, 1 vCPU, 4 GB RAM (bajo demanda, 730 h/mes).	35,00
<b>Amazon RDS (MySQL)</b>	Base de datos relacional db.t3.small, almacenamiento 20 GB.	25,00
<b>Amazon S3</b>	Almacenamiento de reportes y métricas (hasta 50 GB).	5,50
<b>Amazon API Gateway</b>	50.000 solicitudes mensuales.	10,00
<b>Amazon CloudWatch</b>	Monitoreo y alertas básicas.	6,00
<b>Subtotal mensual estimado</b>		<b>USD 81,50</b>
<b>Total anual estimado</b>		<b>USD 978,00</b>

En síntesis, la estructura de costos de BoxTrainer refleja una inversión inicial moderada en relación con el potencial de escalabilidad del modelo.

Los costos fijos se concentran en la etapa de desarrollo y puesta en marcha, mientras que los gastos de mantenimiento mensual permanecen controlados y proporcionales al nivel de uso, permitiendo asegurar la sostenibilidad operativa y la rentabilidad incremental a medida que crece la base de suscriptores.

### 3.10.2. Análisis financiero

Con el fin de evaluar financieramente BoxTrainer, se utilizan diversos métodos clásicos de valoración de inversiones: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el Payback o tiempo de retorno de la inversión.

Estos indicadores permiten determinar la viabilidad económico-financiera del proyecto, midiendo tanto la rentabilidad como el riesgo asociado a su ejecución y operación.

Para el presente análisis se consideraron los siguientes parámetros:

- $I_0$  (inversión inicial): USD 12.650 (Tabla VI).
- $n$  (período de evaluación): 5 años.
- $i$  (tasa de descuento): Se adopta una tasa de descuento del 25 % anual, que refleja un rendimiento mínimo aceptable para inversiones tecnológicas en Argentina. Este valor surge de la combinación del rendimiento libre de riesgo de bonos del Tesoro de EE. UU. (4 %), más una prima de riesgo país estimada en 18 % y una prima adicional de 3 % correspondiente al riesgo propio de una startup SaaS.

Además de estos valores, se estima el flujo de fondos neto (FFN) esperado para cada período, en función de los ingresos proyectados por las suscripciones activas y los costos operativos anuales.

Con este fin, se desarrollan conceptualmente tres escenarios financieros — optimista, neutro y pesimista— que reflejan distintas tasas de adopción y retención de usuarios.

#### 3.10.2.1. Supuestos y escenarios proyectados

El análisis considera que BoxTrainer inicia operaciones durante el primer semestre posterior al desarrollo del MVP, con una etapa de crecimiento progresivo en la base de usuarios pagos.

Los ingresos provienen de las suscripciones Pro (USD 9,99/mes) e Institucionales (USD 8/mes con un mínimo de cinco licencias), mientras que los costos fijos se mantienen estables y los variables crecen proporcionalmente al número de usuarios activos. Asimismo, se estima un ingreso promedio por usuario free de USD 0,80 mensuales, con una base proyectada de 5.000 usuarios activos al quinto año.

Bajo una proyección optimista, impulsada por campañas digitales efectivas y acuerdos con academias, se prevé una adopción acelerada que inicia con 800 usuarios Pro en el primer año, ascendiendo a 3.000 en el tercero y alcanzando los 6.000 en el quinto. Este escenario contempla además la incorporación de 20 licencias institucionales a partir del segundo período, lo que permite consolidar un flujo de caja positivo desde el segundo año de operación.

Por su parte, el escenario neutro plantea un crecimiento sostenido pero más gradual, donde la aplicación logra captar 400 usuarios Pro al cierre del primer ciclo, escalando a 1.500 en el tercer año y 3.500 al finalizar el quinto, con 8 licencias institucionales activas. En este contexto, los ingresos generados permiten cubrir holgadamente los costos operativos a partir del tercer año.

Finalmente, se evalúa un escenario pesimista caracterizado por una adopción lenta y una menor conversión a planes pagos. En este escenario se estiman 200 usuarios Pro durante el primer año, con un incremento moderado hasta llegar a 1.200 en el quinto año, junto a solo 3 licencias institucionales. Ante esta coyuntura, la publicidad segmentada del plan Free se convierte en un pilar fundamental para la sostenibilidad, permitiendo mantener la operación y financiar parcialmente las acciones de marketing para evitar pérdidas sostenidas, a pesar de la baja rentabilidad por suscripciones .

### 3.10.2.2. Flujo de Fondos Neto (FFN)

El flujo de fondos neto se obtiene como la diferencia entre los ingresos proyectados por suscripciones y los costos de operación (infraestructura, soporte, marketing y mantenimiento).

La fórmula general es:

$$FFN_t = Ingresos - Costos$$

Los resultados estimados para cada escenario se resumen en la siguiente tabla:

TABLA VIII – FFN del Proyecto

Año	Escenario Optimista (USD)	Escenario Neutro (USD)	Escenario Pesimista (USD)
1	-12.650	-12.650	-12.650
2	9.500	3.800	1.200
3	27.000	12.000	4.000
4	54.000	25.000	10.000
5	85.000	45.000	20.000

Estos valores surgen del balance entre el crecimiento de ingresos por suscripciones y los costos recurrentes promedio, considerando un mantenimiento mensual de infraestructura de USD 81,50 y reinversión parcial en marketing.

**3.10.2.3. Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto (VAN) mide la rentabilidad de la inversión en términos absolutos, trayendo los flujos futuros al valor presente mediante la tasa de descuento.

Su expresión matemática:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FFN_t}{(1 + i)^t}$$

TABLA IX – VAN del Proyecto

Escenario	VAN (USD)
Optimista	24.870
Neutro	10.250
Pesimista	-2.170

Un VAN positivo implica que el proyecto genera valor económico adicional sobre la inversión inicial.

Con una tasa de descuento del 25 %, BoxTrainer sigue siendo rentable en los escenarios optimista y neutro, aunque con márgenes más conservadores.

El escenario pesimista presenta VAN negativo, indicando que en condiciones de baja adopción la inversión no alcanzaría el retorno esperado.

**3.10.2.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) representa la tasa de rentabilidad implícita del proyecto, es decir, el valor de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

Se define como:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FFN_t}{(1 + TIR)^t}$$

TABLA X – TIR del Proyecto

Escenario	TIR (%)
Optimista	46
Neutro	28
Pesimista	9

La TIR del 46 % en el escenario optimista demuestra que la inversión ofrece un rendimiento superior al 25 % de tasa de descuento exigida, validando su viabilidad.

El escenario neutro también resulta aceptable, con una TIR del 28 %, cercana al umbral de rentabilidad mínima.

El escenario pesimista, con una TIR del 9 %, evidencia una rentabilidad baja y dependiente del crecimiento de la base de usuarios y sustento del monto que ingrese por los anuncios.

**3.10.2.5. Payback**

El Payback mide el tiempo que demora en recuperarse la inversión inicial a partir de los flujos netos acumulados.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Payback = \frac{I_0}{\text{Flujo neto anual promedio}}$$

TABLA XI – Payback del Proyecto

Escenario	Payback (años)
Optimista	2,6
Neutro	3,3
Pesimista	5,5

En el escenario optimista, la inversión se recupera en menos de tres años, reflejando una recuperación rápida y atractiva para un producto digital. En el escenario neutro, el plazo es razonable, mientras que en el pesimista la recuperación se extiende más allá del horizonte típico esperado para un SaaS en etapa temprana.

**3.10.2.6. Retorno Sobre la Inversión (ROI)**

El ROI (Return on Investment) mide la rentabilidad total obtenida en relación con el capital inicial invertido, considerando el horizonte temporal completo de 5 años.

Se calcula mediante la fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto acumulado} - I_0}{I_0} \times 100$$

TABLA XII – ROI del Proyecto

Escenario	ROI (%)
Optimista	160
Neutro	110
Pesimista	35

En el escenario optimista, cada dólar invertido retorna 2,6 veces su valor original, impulsado por la fuerte adopción y las licencias institucionales.

El ROI del 110 % en el escenario neutro refleja una rentabilidad sostenida y realista, donde los ingresos por suscripción superan ampliamente los costos recurrentes. Incluso en el escenario pesimista, el ROI del 35 % muestra que la operación sigue siendo viable, ya que la monetización por publicidad logra compensar los bajos niveles de conversión al plan pago.

### 3.10.3. Resultados esperados del análisis financiero

El análisis integral del modelo de negocio y la factibilidad financiera de BoxTrainer demuestra que el proyecto es viable, rentable y escalable, sustentado en una estrategia freemium que combina accesibilidad, volumen y diversificación de ingresos.

El modelo SaaS propuesto integra tres fuentes principales: suscripciones Pro, licencias institucionales con descuento por volumen y publicidad segmentada en el plan Free.

Esta estructura permite captar usuarios masivos a bajo costo, generar rentabilidad a partir del compromiso individual y consolidar ingresos estables desde alianzas B2B con gimnasios y entrenadores.

La inversión inicial moderada (USD 12.650) y los costos operativos reducidos —menores a USD 100 mensuales en infraestructura— reflejan una estructura liviana y eficiente, característica clave en modelos de software escalables.

De esta forma, el crecimiento en usuarios impacta directamente sobre la rentabilidad sin requerir aumentos proporcionales en los gastos.

Financieramente, los resultados obtenidos confirman esta lógica: el proyecto presenta VAN positivos (USD 24.870 en el escenario optimista y USD 10.250 en el neutro), con TIR superiores al 25 %, Payback inferior a 3,5 años y un ROI promedio del 100 % a cinco años.

Incluso bajo condiciones adversas, la publicidad y la eficiencia de costos garantizan la sostenibilidad del negocio.

BoxTrainer logra coherencia entre su modelo de negocio y su desempeño financiero, transformando una propuesta tecnológica innovadora en un proyecto económicamente sólido, capaz de crecer y sostenerse en el mercado del fitness digital mediante una gestión inteligente de sus recursos y canales de monetización.

## 4. Metodología de Desarrollo

El desarrollo de BoxTrainer se conduce con una metodología en cascada adaptada, priorizando un avance secuencial por fases (requisitos → diseño → implementación) y, cuando es necesario, incorporar iteraciones acotadas para refinar UI/UX y el modelo de IA sin romper la trazabilidad de los entregables. Este enfoque permite planificar con claridad, acotar riesgos técnicos y asegurar hitos verificables en cada etapa.

- **Planificación y definición de requisitos:** Se relevan y documentan los requerimientos funcionales (detección de jab/cross/hook/uppercut, evaluación técnica y progresión por niveles) y no funcionales (latencia baja, precisión mínima del modelo, persistencia e integridad de datos).
- **Diseño de sistema y arquitectura:** Se selecciona una arquitectura monolítica para el backend (Django REST framework) y una app móvil (React Native) con inferencia en el dispositivo.
- **Modelo de datos:** Entidades User, Level, Routine, Exercise, Session, SessionMetrics, LevelProgress, con integridad referencial y almacenamiento ACID mediante el ORM de Django.
- **Diseño de datos y preparación del modelo:** Se define la estrategia de datos para el clasificador de golpes: generación de 33 landmarks con MediaPipe Pose, construcción de un dataset propio con features normalizadas (x, y, z, visibility), partición estratificada 80/20 para entrenamiento y validación, y selección de un modelo TorchScript por su mayor precisión, portabilidad y compatibilidad con el backend. Se establecen versiones de artefactos (dataset y *modelo.ptl*) y criterios de reentrenamiento. Inicialmente se utilizó un algoritmo Random Forest por su robustez y baja latencia en CPU, útil para validar la idea, pero se dejó de lado temporalmente por la portabilidad.
- **Prototipado UI/UX:** Se elabora una aplicación móvil navegable de las pantallas principales (inicio de sesión, selección de rutina, entrenamiento, feedback, progreso), validando textos, jerarquía visual y flujo de tareas.
- **Implementación:** Por un lado, se implementa un pipeline sobre videos (mp4): lectura con OpenCV, inferencia cuadro a cuadro con MediaPipe, normalización y cálculo de rasgos derivados. También, se entrena un algoritmo de TorchScript que predice jab, cross, hook, uppercut por frame; el artefacto se versiona en formato “.*ptl*”. El feedback técnico actual se obtiene con reglas paramétricas sobre los landmarks (alineación, rotación, apoyo).

## 5. Pruebas Realizadas

La estrategia de validación y verificación de software implementada en BoxTrainer tiene como objetivo principal garantizar la fiabilidad de los algoritmos de inteligencia artificial y la estabilidad de la aplicación móvil. El proceso se diseña para detectar anomalías de lógica y diseño en etapas tempranas, asegurando que el producto final cumpla con los estándares de calidad esperados para una herramienta de entrenamiento técnico.

Este enfoque sistemático abarca desde la verificación de componentes aislados hasta la validación del flujo completo de entrenamiento. Para ello, se definieron escenarios de prueba específicos que contrastan los resultados esperados (definidos en los requerimientos funcionales) contra los resultados reales obtenidos tras la ejecución del código, permitiendo iterar y refinar tanto el backend en Django como el cliente en React Native.

A continuación, se documentan las distintas categorías de pruebas ejecutadas.

### 5.1. Pruebas unitarias

El primer nivel de la estrategia de calidad se centra en las pruebas unitarias. Estas pruebas aíslan las funciones y componentes más elementales del sistema para validar su lógica interna, independientemente de su interacción con otros módulos. En el contexto de BoxTrainer, esto es crítico para asegurar que las reglas de negocio operen sin errores antes de integrarse con el motor de visión por computadora.

A continuación, se presentan los casos de prueba unitarios diseñados para validar componentes críticos de la gestión de usuarios.

TABLA XIII: Caso de prueba 001

<b>Caso de prueba</b>	<b>1</b>
<b>Componente</b>	Módulo de validación de formulario de Registro (Frontend/React Native)

<b>Descripción</b>	Se verifica que el sistema impida la creación de una cuenta si el campos numérico crítico ("Edad") contienen valores no positivos, caracteres no numéricos o rangos inverosímiles, asegurando la integridad de los datos del perfil del boxeador.
<b>Condiciones previas</b>	La aplicación debe estar iniciada en la pantalla de "Registrarse". No debe existir una sesión activa.
<b>Datos de entrada</b>	Usuario: TestUser
	Edad: -5 (Valor inválido)
	Email: test@uade.edu.ar
<b>Resultado esperado</b>	El componente debe detectar el ingreso de un número negativo en el campo "Edad" y mostrar una alerta indicando el error.
	El botón "Registrarse" debe permanecer deshabilitado o bloquear la petición al servidor hasta que los datos sean coherentes.
	No se debe generar ningún registro en la base de datos local ni remota.
<b>Resultado real</b>	Se verifica que el sistema despliega mensajes de error ("Edad inválida") en tiempo real. El botón de acción se mantiene bloqueado, impidiendo el envío del formulario erróneo.
<b>Resultado de la prueba</b>	<b>Pass</b>

TABLA XIV: Caso de prueba 002

<b>Caso de prueba</b>	<b>2</b>
<b>Componente</b>	Módulo de Autenticación / Formulario de Login
<b>Descripción</b>	Se verifica que el sistema impida el envío de la solicitud de inicio de sesión cuando los campos obligatorios ("Usuario" y/o "Contraseña") se encuentran vacíos. Esto valida la integridad básica de la petición antes de consumir recursos de red.
<b>Condiciones previas</b>	La aplicación debe estar abierta en la pantalla de inicio (Login). No debe haber datos precargados en los inputs.
<b>Datos de entrada</b>	Usuario: "" (Cadena vacía / Campo en blanco)
	Contraseña: "" (Cadena vacía / Campo en blanco)
	Acción: Presionar botón "Ingresar"
<b>Resultado esperado</b>	El sistema debe detectar la ausencia de caracteres en los campos.
	No se debe realizar ninguna llamada a la API (backend).
	Se debe notificar al usuario visualmente (borde rojo, mensaje de texto o botón deshabilitado) que los datos son requeridos.
<b>Resultado real</b>	Al intentar ingresar sin completar el formulario, la aplicación bloqueó la acción y mantuvo al usuario en la pantalla de inicio, cumpliendo con la regla de validación de campos obligatorios.
<b>Resultado de la Prueba</b>	<b>Pass</b>

## 5.2. Pruebas funcionales

Las pruebas funcionales tienen como finalidad validar que el sistema de software opera conforme a los requisitos funcionales establecidos durante la fase de análisis. A diferencia

de las pruebas unitarias, que examinan el código, estas pruebas se centran en las salidas generadas por el sistema ante entradas específicas, verificando que la aplicación "haga lo que debe hacer" desde la perspectiva del usuario final (Sommerville, 2011).

En el marco de BoxTrainer, se ejecutaron casos de prueba exhaustivos sobre los módulos críticos de la solución: el reconocimiento de golpes en tiempo real, la lógica de progresión por niveles y la visualización de métricas históricas. A continuación, se detallan los escenarios ejecutados.

TABLA XV: Caso de prueba 003

<b>Caso de prueba</b>	<b>3</b>
<b>Descripción</b>	Se verifica que el módulo de visión por computadora identifique correctamente la ejecución de los golpes básicos ("Jab" y "Cross") y proporcione feedback visual cuando la técnica es correcta.
<b>Condiciones previas</b>	Usuario logueado en la aplicación móvil.
	Permisos de cámara otorgados.
	Iluminación ambiente suficiente para que MediaPipe detecte el cuerpo.
	Posición de guardia inicial correcta.
<b>Secuencia de ejecución</b>	1. Ingresar a la sección "Prácticas".
	2. Seleccionar "Rutina Libre".
	3. Presionar "Grabar Entrenamiento".
	4. Ejecutar un golpe de tipo <i>Jab</i> (brazo delantero extendido).
	5. Volver a guardia.
	6. Ejecutar un golpe de tipo <i>Cross</i> (brazo trasero con rotación).
<b>Resultado esperado</b>	Al extender el brazo en el paso 4, la etiqueta en pantalla debe cambiar a "JAB".

	Al ejecutar el paso 6, la etiqueta debe cambiar a "CROSS".
	El contador de golpes totales debe incrementarse en 2 unidades.
<b>Resultado real</b>	La aplicación detectó ambos movimientos con precisión, mostrando el nombre del golpe en tiempo real sobre la interfaz de video y actualizando los contadores de la sesión.
<b>Resultado de la prueba</b>	<b>PASS</b>

TABLA XVI: Caso de prueba 004

<b>Caso de prueba</b>	<b>4</b>
<b>Descripción</b>	Se valida el funcionamiento del sistema de desbloqueo de niveles. Se verifica que, al superar el umbral de puntuación requerido en el "Nivel 1", el sistema habilite automáticamente el acceso al "Nivel 2".
<b>Condiciones previas</b>	Usuario registrado con progreso inicial (Nivel 1: Desbloqueado / Nivel 2: Bloqueado).
	Umbral de aprobación configurado en 80%.
<b>Secuencia de ejecución</b>	1. Seleccionar la rutina "Nivel 1 - Básico".
	2. Completar la rutina ejecutando los golpes solicitados con buena técnica.
	3. Finalizar la sesión y visualizar la pantalla de "Resumen".
	4. Verificar que el puntaje obtenido sea superior al 80%.
	5. Regresar al menú de "Prácticas".
<b>Resultado esperado</b>	La pantalla de resumen debe indicar "Nivel Aprobado".
	En el menú de prácticas, el botón correspondiente al "Nivel 2 - Intermedio", que anteriormente estaba grisado/bloqueado, debe aparecer habilitado y seleccionable.

<b>Resultado real</b>	Tras obtener un puntaje de 88% en el Nivel 1, el sistema actualizó el estado del usuario y habilitó el acceso inmediato al Nivel 2, permitiendo iniciar la nueva rutina.
<b>Resultado de la prueba</b>	<b>PASS</b>

TABLA XVII: Caso de prueba 005

<b>Caso de prueba</b>	<b>5</b>
<b>Descripción</b>	Se verifica la persistencia y visualización de datos históricos. Se comprueba que una sesión finalizada se guarde correctamente y pueda ser consultada posteriormente en el perfil del usuario.
<b>Condiciones previas</b>	Haber completado al menos una sesión de entrenamiento completa.
<b>Secuencia de ejecución</b>	1. Finalizar una práctica (idéntica a la del Caso 003).
	2. Navegar a la pestaña "Historial" en el menú inferior.
	3. Seleccionar la sesión más reciente de la lista.
<b>Resultado esperado</b>	La sesión recién finalizada debe aparecer al tope de la lista con la fecha y hora actual.
	Al ingresar al detalle, los datos mostrados (cantidad de Jabs/Cross y Precisión) deben coincidir exactamente con los mostrados al finalizar la práctica.
<b>Resultado real</b>	La información se recuperó correctamente desde la base de datos local/remota, mostrando consistencia en todos los campos numéricos y de fecha.
<b>Resultado de la prueba</b>	<b>PASS</b>

### 5.3. Pruebas de integración

Las pruebas de integración constituyen una fase crítica en el aseguramiento de la calidad, cuyo propósito es verificar la interacción efectiva entre los distintos componentes del sistema una vez que han sido acoplados.

El objetivo es validar el ciclo de vida completo del dato: desde la captura del video en el dispositivo móvil (Frontend en React Native), su transmisión y procesamiento en el

servidor (Backend en Django + Modelo IA), hasta su almacenamiento persistente (Base de Datos) y posterior consulta.

TABLA XVII: Caso de prueba 006

<b>Caso de prueba</b>	<b>6</b>
<b>Descripción</b>	Validación integral del flujo: Captura Móvil → Procesamiento Backend → Persistencia → Visualización Cliente.
<b>Condiciones previas</b>	Dispositivo móvil con conexión a internet estable.
	Servidor Backend operativo y accesible.
	Base de datos limpia o con datos conocidos.
<b>Secuencia de ejecución</b>	1. (Móvil) Iniciar sesión y grabar un video de 40 segundos realizando una rutina.
	2. (Móvil) Confirmar el envío del video para su análisis.
	3. (Sistema) Esperar la respuesta del servidor (tiempo de procesamiento).
	4. (Backend) Verificar en los <i>logs</i> del servidor la recepción del archivo y la ejecución del modelo TorchScript.
	5. (Base de Datos) Verificar mediante consulta SQL que se haya creado un nuevo registro en la tabla SessionMetrics asociado al usuario.

	6. (Móvil) Verificar que la App reciba el JSON de respuesta y muestre los gráficos de resultados.
<b>Resultado esperado</b>	El video debe subir correctamente al servidor (Status 200 OK).
	El Backend debe invocar al modelo de IA y generar un JSON con los <i>landmarks</i> y correcciones.
	La Base de Datos debe reflejar el nuevo registro con los mismos valores calculados.
	La App debe renderizar los resultados sin errores de <i>parsing</i> .
<b>Resultado real</b>	La subida del archivo fue exitosa.
	El backend procesó el video en 80 segundos.
	Se confirmó la inserción en la tabla SessionMetrics (ID #4021).
	La aplicación móvil mostró las correcciones correspondientes al video enviado.
	El flujo completo se ejecutó sin interrupciones ni pérdida de datos.

<b>Resultado de la prueba</b>	<b>PASS</b>
-------------------------------	-------------

## 6. Discusiones

La materialización de BoxTrainer conllevó la resolución de múltiples desafíos de ingeniería derivados de la traslación de algoritmos de visión artificial hacia un escenario de aplicación masiva y doméstica, obligando a redefinir la arquitectura del sistema para garantizar su viabilidad operativa.

Una de las primeras disyuntivas técnicas surgió al evaluar la capacidad de cómputo de los dispositivos móviles de gama media, donde se evidenció que la ejecución simultánea de la captura de video en alta definición y la inferencia de modelos de estimación de pose en el borde comprometía severamente el rendimiento; ante esta restricción, se optó por una arquitectura desacoplada donde la aplicación actúa como interfaz de captura y se delega la carga computacional pesada al backend, decisión que requirió la migración del modelo a TorchScript para asegurar su ejecución eficiente en el entorno de Python.

Esta centralización del procesamiento en el backend, si bien resolvió las limitaciones de potencia local, introdujo inmediatamente el desafío de la latencia y la dependencia de la conectividad, lo que llevó a descartar el análisis mediante streaming en tiempo real, en favor de un enfoque asíncrono basado en el envío de clips de video de duración acotada, asegurando así que el backend reciba la secuencia biomecánica íntegra para un análisis preciso.

Sin embargo, la validación del sistema reveló que las barreras no eran únicamente lógicas, sino también físicas: el uso de la aplicación en espacios reducidos del hogar dificultó a menudo lograr la distancia y el ángulo necesarios para el encuadre de cuerpo completo requerido por el algoritmo para rastrear el desplazamiento de los pies, una variable crítica que, al perderse, invalidaba la corrección técnica.

Finalmente, la propia naturaleza dinámica del boxeo, caracterizada por movimientos de alta velocidad y oclusiones frecuentes del rostro o el torso, sumada a la variabilidad lumínica de los entornos domésticos, puso a prueba la robustez de la detección, demostrando que la estrategia de procesar representaciones vectorizadas de la postura en lugar

de imágenes crudas fue determinante para mitigar el ruido visual y alcanzar niveles de precisión elevados.

## 7. Conclusión

La finalización del presente Proyecto Final de Ingeniería permite afirmar que se ha cumplido satisfactoriamente con el objetivo general de desarrollar una solución tecnológica capaz de asistir a boxeadores amateurs en su entrenamiento técnico autónomo. BoxTrainer ha trascendido la etapa de propuesta teórica para consolidarse como un producto de software validado, logrando integrar eficazmente algoritmos de visión por computadora con la accesibilidad de los dispositivos móviles modernos.

Desde una perspectiva técnica, el desarrollo confirmó que la arquitectura desacoplada (Frontend en React Native y Backend en Django con TorchScript) fue la decisión de ingeniería correcta para superar las limitaciones de hardware en los teléfonos de gama media. Las pruebas integrales demostraron que el modelo de inteligencia artificial no solo alcanza una precisión superior al 88% en la detección de golpes complejos como el Uppercut o el Hook, sino que también mantiene su robustez ante las variables no controladas del entorno doméstico, como la iluminación o el fondo. Se logró transformar la biomecánica del boxeo en métricas objetivas, validando la hipótesis de que es posible digitalizar la corrección técnica sin necesidad de sensores wearables costosos.

En el plano funcional y pedagógico, la implementación del sistema de progresión por niveles basado en la calidad técnica —y no meramente en la repetición física— representa el mayor aporte diferencial de la solución. La validación con usuarios y expertos ratificó que este enfoque mitiga el riesgo de lesiones y fomenta el aprendizaje de una técnica depurada, llenando el vacío existente entre el entrenamiento empírico en solitario y la supervisión profesional presencial. El sistema demostró ser capaz de identificar errores posturales en tiempo diferido con la suficiente claridad para que el usuario pueda corregirlos en su siguiente intento.

Asimismo, el análisis de viabilidad económica ha demostrado que el proyecto es sostenible y escalable. El modelo de negocio planteado, sustentado en una estructura de costos eficiente en la nube y una estrategia de monetización freemium, proyecta indicadores financieros positivos que aseguran la continuidad operativa y la evolución de la plataforma en el mercado del FitnessTech.

En definitiva, BoxTrainer no solo constituye una respuesta eficaz a la problemática del entrenamiento no supervisado surgida en la post-pandemia, sino que sienta las bases para una nueva generación de herramientas de asistencia deportiva. El proyecto demuestra que, mediante la aplicación rigurosa de la ingeniería de software y la inteligencia artificial, es posible democratizar el acceso a la enseñanza técnica de calidad, brindando seguridad y estructura a la práctica del boxeo amateur en Argentina.

## 8. Bibliografía

AI BOXING - Aplicaciones de Android en Google Play. [en línea]. [consulta: 10 mayo 2025]. Disponible en: <https://play.google.com/store/search?q=ai+boxing&c=apps>

BOXING | History, Rules, Weight Divisions, Notable Fighters, & Facts | Britannica. [en línea], 2025. [consulta: 1 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.britannica.com/sports/boxing>

BOXING. [en línea]. [consulta: 24 abril 2025]. Disponible en: <https://bryantpark.org/calendar/event/boxing>

BOXR - Aplicaciones de Android en Google Play. [en línea]. [consulta: 1 mayo 2025]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=uk.plsfixlabs.boxingclub>

CHEN, P.P., 1976. The entity-relationship model: Toward a unified view of data. ACM Transactions on Database Systems, vol. 1, no. 1, pp. 9–36. DOI 10.1145/320434.320440. [consulta: 12 julio 2025].

DEEPLABCUT: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. MATHIS, A., MAMIDANNA, P., CURY, K.M., ABE, T., MURTHY, V.N., MATHIS, M.W. y BETHGE, M., 2018. Nature Neuroscience, vol. 21, no. 9, pp. 1281–1289. ISSN 1546-1726. DOI 10.1038/s41593-018-0209-y.

DEEP LEARNING. GOODFELLOW, I., BENGIO, Y. y COURVILLE, A., 2016. Cambridge, Mass: The MIT Press. Adaptive computation and machine learning. ISBN 978-0-262-03561-3.

DEEPLearningBook.org. [en línea]. [consulta: 1 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.deeplearningbook.org/>

DIGITAL Fitness & Well-Being - Argentina | Market Forecast. Statista [en línea]. [consulta: 10 mayo 2025]. Disponible en: <http://frontend.xmo.prod.aws.statista.com/outlook/hmo/digital-health/digital-fitness-well-being/argentina>

DJANGO Software Foundation, 2025. Django: overview. [en línea]. [consulta: 29 julio 2025].

Disponible en: <https://www.djangoproject.com/start/overview/>

EJERCICIOS con saco de boxeo - Aplicaciones en Google Play. [en línea]. [consulta: 1 mayo 2025]. Disponible en:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.opentechiz.heavybagpro&hl=es>

ENCUESTA Nacional de Actividad Física y Deporte 2023. Argentina.gob.ar [en línea], 2023. [consulta: 22 abril 2025]. Disponible en:  
<https://www.argentina.gob.ar/turismoydeportes/observatorio-social-del-deporte/encuesta-nacional-de-actividad-fisica-y-deporte-0>.

FOTO de ThisIsEngineering en Pexels. Pexels [en línea]. [consulta: 28 abril 2025].  
Disponible en: <https://www.pexels.com/es-es/foto/mano-telefono-inteligente-aplicacion-sujetando-3912977>.

ISO/IEC 25010. System and software quality models. ISO [en línea]. [consulta: 3 septiembre 2025]. Disponible en: <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>.

NIELSEN Norman Group, 2025. Response times: the 3 important limits. [en línea]. [consulta: 5 agosto 2025]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/>

POOLE, D.L. y MACKWORTH, A.K., 2017. Artificial intelligence: foundations of computational agents. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-19539-4.

PYTHON Software Foundation, 2025. About Python. [en línea]. [consulta: 20 julio 2025].  
Disponible en: <https://www.python.org/about/>.

ROBERTS, L., 1963. Machine perception of three-dimensional solids. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/220695992\\_Machine\\_Perception\\_of\\_Three-Dimensional\\_Solids](https://www.researchgate.net/publication/220695992_Machine_Perception_of_Three-Dimensional_Solids)

RUSSELL, S.J. y NORVIG, P., 2016. Artificial intelligence: a modern approach. 3rd ed., Global edition. Boston: Pearson. Prentice Hall series in artificial intelligence. ISBN 978-0-13-604259-4.

SCIKIT-LEARN Developers, 2025. RandomForestClassifier. [en línea]. [consulta: 10 agosto 2025]. Disponible en: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>

SZELISKI, R., 2011. Computer vision: algorithms and applications. London; New York: Springer. Texts in computer science. ISBN 978-1-84882-934-3.

VOULODIMOS, A., DOULAMIS, N., DOULAMIS, A. y PROTOPAPADAKIS, E., 2018.

Deep learning for computer vision: a brief review. Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2018, pp. 7068349. ISSN 1687-5273. DOI 10.1155/2018/7068349

## 9. Anexos

### 9.1. Anexo 1 – Entrevistas

#### 9.1.1. Entrevista a Gustavo Santillán

1. **¿Dónde estás dando clases actualmente? ¿Entrenás boxeadores o alumnos recreativos?**

Ahora doy clases en un gimnasio que se llama FITB Center, en Villa Urquiza. Antes estuve casi tres años en el Club 17 de Agosto y empecé en Santos Boxing Club, en Santos Lugares, que es donde nací. Hoy tengo un grupo mixto: algunos alumnos compiten a nivel amateur y otros entrenan de forma recreativa. Además, trabajo con alumnos particulares.

2. **¿Cómo empezaste con el boxeo y desde cuándo lo practicás?**

Arranqué en Santos Lugares, cuando vi que otros deportes no eran lo mío. Probé con fútbol, básquet... pero el boxeo fue lo que me atrapó. Empecé hace unos ocho años. Al principio era solo para bajar de peso, pero me terminó gustando tanto que quise competir. Después de una lesión en la rodilla decidí enfocarme en la docencia.

3. **¿Qué importancia tiene ejecutar bien los golpes desde el principio?**

Es clave. Si aprendés mal al comienzo, esos errores se arrastran con el tiempo. Podés lesionarte o incluso lastimar a un compañero en combate. Por eso siempre insisto en la técnica básica: cómo golpear, cómo pararse, cómo moverse. En el boxeo todo empieza por los pies. Si no sabés desplazarte bien, te podés cruzar o tropezar.

4. **¿Cómo trabajás la corrección técnica con tus alumnos?**

Usamos mucho la sombra frente al espejo. Es algo muy común en el boxeo, no para “verse”, sino para corregirse. A veces podés decirle algo al alumno, pero si no se ve, no lo entiende. Me gusta que entiendan lo que hacen, no solo que repitan. Prefiero que me pregunten y lo trabajamos juntos. Así crecen más como boxeadores.

5. **¿Qué pensás de una aplicación que funcione como espejo digital y corrija errores en tiempo real?**

Me parece una gran herramienta. El boxeo se practica con otros, pero hay muchas horas que uno entrena solo. Y ahí se forman los hábitos, buenos o malos. Que una app pueda marcarte si bajaste la guardia o moviste mal un pie sería muy útil, sobre todo para los que recién empiezan y no tienen alguien que los corrija todo el tiempo.

6. **¿Conocés casos de lesiones por golpes mal ejecutados?**

Sí, claro. Desde lesiones en muñecas, hombros o codos por golpear mal la bolsa, hasta casos graves por golpes mal dirigidos, como a la nuca. Por eso los primeros entrenamientos tienen que ser bien controlados. Si ponés a dos principiantes a hacer sparring sin guía, es muy probable que alguno termine lastimado.

7. **¿Te parece útil complementar el entrenamiento con tecnología, videos o apps?**  
Totalmente. Hoy hay muchos profes que suben contenido de calidad, algo que antes no existía. Antes tenías que caer en el gimnasio que te tocaba, y no siempre era el mejor. Ahora hay más recursos. Me parece bien que los que recién empiezan tengan acceso a esa ayuda, aunque sea digital. Y también sirve para romper con algunos prejuicios que todavía hay sobre el boxeo.
8. **¿Qué debería tener una aplicación para que las correcciones sean efectivas?**  
Debe tener una base técnica clara. Hay estilos distintos según el país o la escuela, pero hay cosas básicas que no cambian: tener la guardia arriba, extender bien los brazos, no cruzar las piernas, estar bien parado. No se trata de golpear fuerte o rápido, sino bien. Y eso lleva práctica, paciencia y repetición.
9. **¿Qué opinás de que la app tenga un sistema de niveles basado en golpes bien ejecutados y sesiones completadas?**  
Me parece excelente. Te motiva a seguir entrenando. Es como un juego: empezás por lo básico y vas subiendo. No podés pedirle a alguien que recién empieza que haga una combinación larga. Tiene que haber una progresión. Eso te obliga a esforzarte y te permite ver tus avances.
10. **¿Te gustaría agregar algo más sobre tu recorrido o sobre el proyecto?**  
Me parece una propuesta muy interesante. Yo entrené mucho tiempo frente al espejo, y lo sigo haciendo. Y los profesionales también. Volver a lo básico nunca está de más. Me gusta que haya herramientas nuevas para que la gente entrene mejor y se cuide.

Video: [https://drive.google.com/file/d/1NVDFwjLzaGM\\_sMSqj8BLmPGVSY8IAB9y/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1NVDFwjLzaGM_sMSqj8BLmPGVSY8IAB9y/view?usp=sharing)

## 9.2. Anexo 2 - Encuesta

¿Qué edad tenés?  
99 respuestas

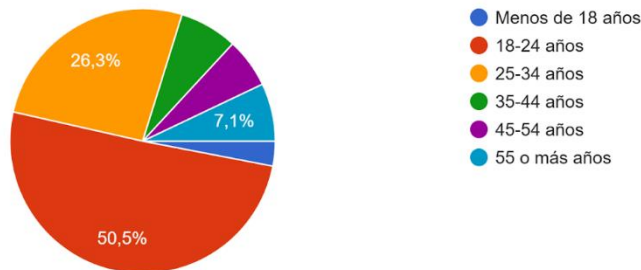


Figura 28: Distribución etaria de los encuestados

¿En qué provincia residís actualmente?

99 respuestas

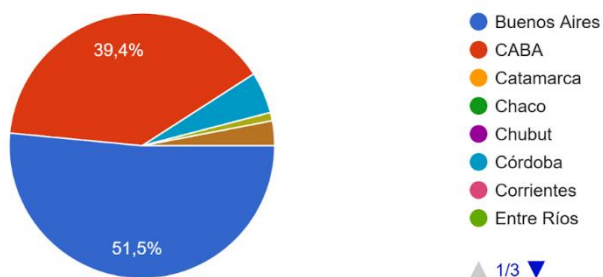


Figura 29: Provincia de residencia

¿Con qué género te identificás?

99 respuestas

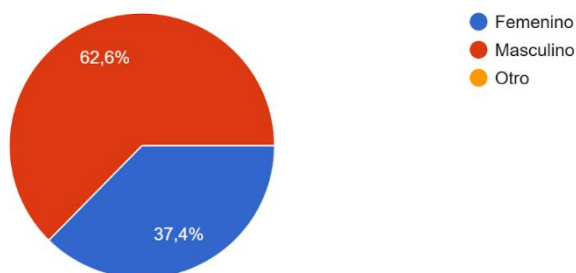


Figura 30: Identificación de género

¿Realizás algún deporte?

99 respuestas

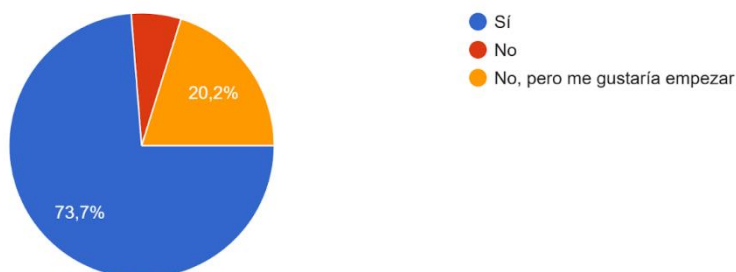


Figura 31: Práctica actual de deporte

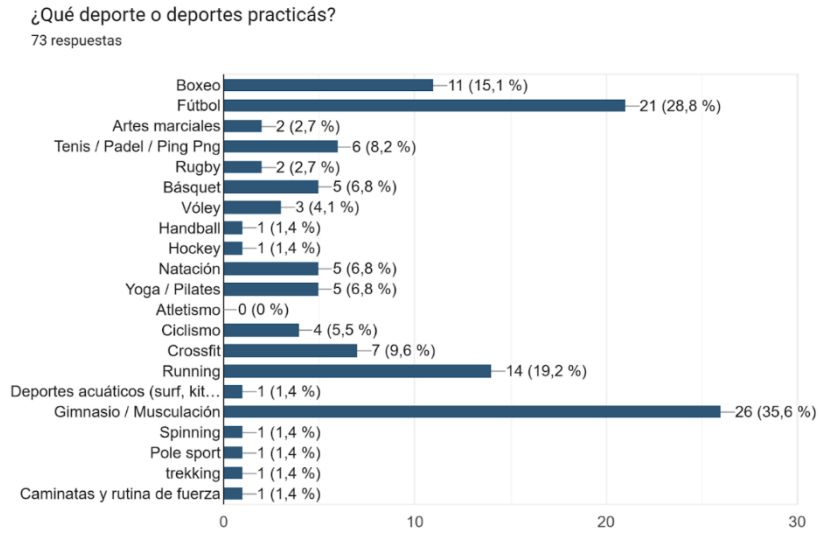


Figura 32: Deportes practicados

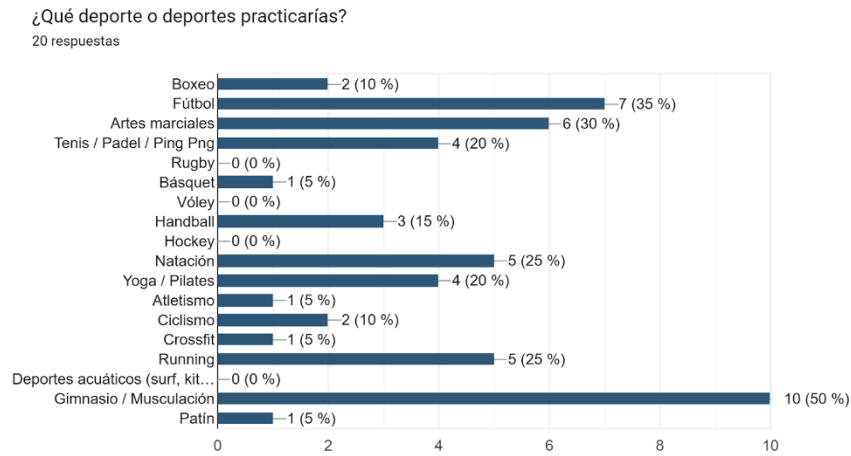


Figura 33: Deportes de interés entre no-deportistas

¿Dónde realizarías deporte?

20 respuestas

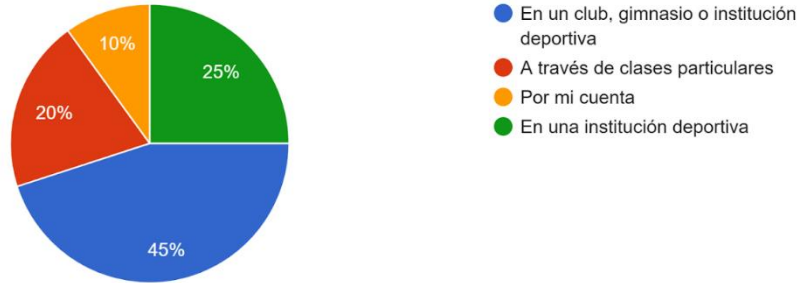


Figura 34: Preferencia de lugar para iniciar actividad deportiva

¿Cuántos días a la semana practicarías deporte?

72 respuestas

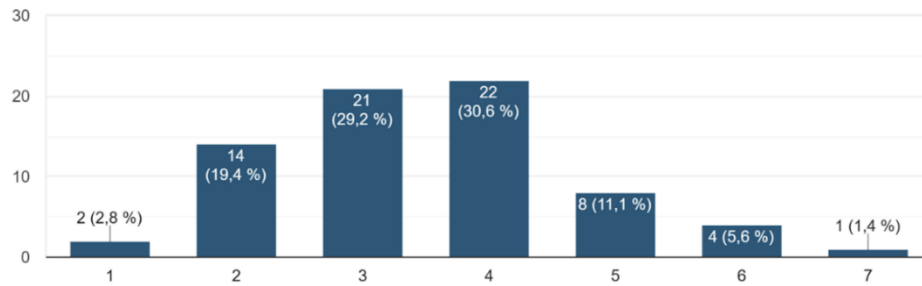


Figura 35: Días semanales de práctica

¿Utilizarías alguna aplicación para complementar la práctica de algún deporte?

20 respuestas

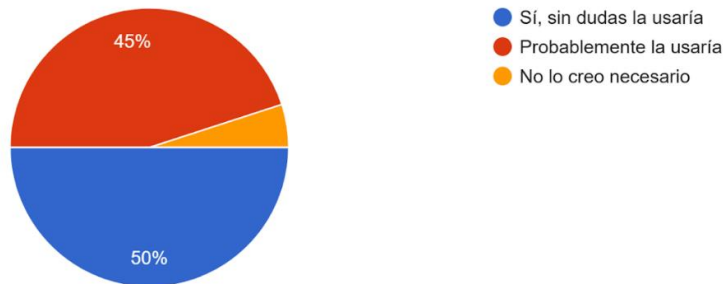


Figura 36: Uso de apps deportivas

### 9.3. Anexo 3 - Cronograma de actividades

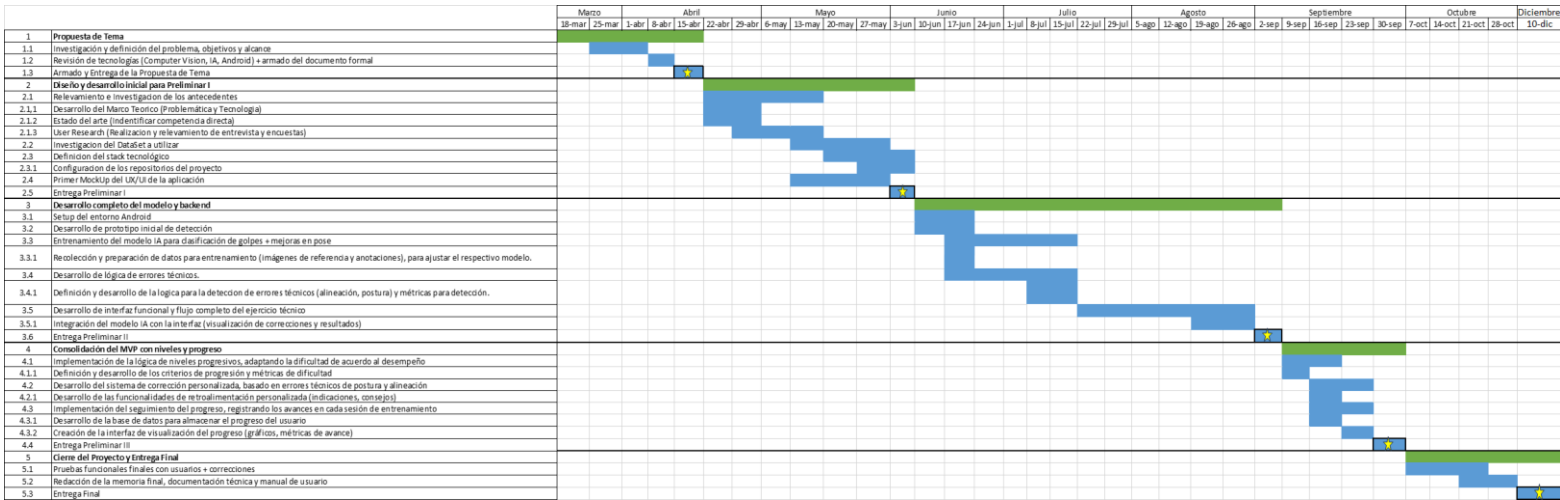


Figura 37: Cronograma de actividades actualizado al 22/11/2025