

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Computadores
(Computer Engineering School)

Programa de Licenciatura en Ingeniería en Computadores
(Licentiate Degree Program in Computer Engineering)



**Implementación de un sistema embebido para control de acceso
en gimnasios mediante reconocimiento facial**
(Implementation of an embedded system for access control in gyms using facial
recognition)

**Informe de Trabajo de Graduación para optar por el título de Ingeniero
en Computadores con grado académico de Licenciatura**
(Report of Graduation Work in fulfillment of the requirements for the degree of Licentiate in Computer Engineering)

Luis Pedro Morales Rodríguez

Cartago, abril de 2025
(Cartago, April, 2025)

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Luis Pedro Morales Rodríguez

Cartago, 23 de abril de 2025

Céd: 9-0109-0674

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Área Académica de Ingeniería en Computadores
Proyecto de Graduación
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Computadores con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

Profesor Lector

Profesor Lector

Pedro Gutiérrez García
Profesor Asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería en Computadores.

Cartago, abril de 2025

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Área Académica de Ingeniería en Computadores
Proyecto de Graduación
Tribunal Evaluador
Acta de Evaluación

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Computadores con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: *Luis Pedro Morales Rodríguez*

Nombre del Proyecto: *Implementación de un sistema embebido para control de acceso en gimnasios mediante reconocimiento facial*

Miembros del Tribunal

Profesor Lector

Profesor Lector

Pedro Gutiérrez García
Profesor Asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería en Computadores.

Nota final del Proyecto de Graduación: _____

Cartago, abril de 2025

Resumen

Palabras clave: PALABRAS CLAVE

Abstract

Keywords:

DEDICATORIA

Agradecimientos

Luis Pedro Morales Rodríguez

Cartago, 23 de abril de 2025

Índice general

Índice de figuras	ii
Índice de tablas	iii
Lista de símbolos y abreviaciones	iv
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes del proyecto	1
1.1.1 Descripción de la organización	2
1.1.2 Descripción del área de conocimiento del proyecto	3
1.1.3 Trabajos similares	4
1.2 Planteamiento del problema	4
1.2.1 Contexto del problema	4
1.2.2 Justificación del problema	5
1.2.3 Enunciado del problema	7
1.3 Objetivos del proyecto	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Alcances, entregables y limitaciones del proyecto.	8
1.4.1 Alcances	8
1.4.2 Entregables	9
1.4.3 Limitaciones del proyecto	9
2 Marco teórico	11
Bibliografía	12
A APENDICE A	13
B APENDICE B	14
C APENDICE C	15

Índice de figuras

Índice de tablas

Tabla 1	Categorización de los centros de <i>fitness</i> según su tamaño	5
Tabla 2	Entregables del proyecto según objetivo específico	10

Lista de símbolos y abreviaciones

Abreviaciones

API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
AUGE	Agencia Universitaria para la Gestión Emprendedora
CAMTIC	Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación
CNN	Redes Neuronales Convolucionales
IoT	Internet de las Cosas
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MVP	Producto Mínimo Viable
OE	Objetivo Específico
PIT	Proyectos de Innovación Tecnológica
SaaS	Software como Servicio
SBD	Sistema de Banca para el Desarrollo

Capítulo 1

Introducción

En la última década, el crecimiento de la industria del *fitness* ha impulsado una mayor demanda de servicios personalizados y sistemas tecnológicos que optimicen la gestión de gimnasios y centros deportivos. Esta evolución ha motivado a las organizaciones a implementar soluciones innovadoras para mejorar la experiencia del usuario y aumentar su eficiencia operativa. Sin embargo, uno de los desafíos comunes en gimnasios de mediana y gran escala es la necesidad de un sistema de control del acceso de sus clientes a las instalaciones, que facilite la validación de sus respectivas membresías de una forma segura y automatizada, optimizando así el uso de recursos y protegiendo la seguridad de los usuarios.

El presente proyecto propone desarrollar un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial, diseñado específicamente para gimnasios y centros de *fitness* que utilizan los servicios de **Fito App**, una *start up* tecnológica costarricense enfocada en ofrecer soluciones *SaaS* para la administración de dichos establecimientos. Este sistema permitirá validar la identidad de los usuarios que ingresen al gimnasio, de forma automática y sin contacto, asegurando que solo aquellos con una membresía activa puedan acceder a las instalaciones. A través de un sistema embebido de propósito específico, el proyecto integra tecnologías de reconocimiento facial y hardware de relativo bajo costo (en relación a otras alternativas del mercado), con el resto de la infraestructura de Fito App, lo que permitirá una gestión centralizada y eficiente de los datos de los usuarios. Este proyecto busca no solo mejorar la seguridad y eficiencia del control de acceso en gimnasios, sino también posicionar a Fito App como una alternativa competitiva e innovadora en el mercado de sistemas de gestión para el sector *fitness*.

1.1 Antecedentes del proyecto

En esta sección se describe la organización en la cual se desarrolla el proyecto, incluyendo una breve reseña histórica de la misma, el tipo de negocio y área a la que se dedica, así como condiciones de su dimensión y estructura organizacional. También se mencionan

las áreas de la Ingeniería en Computadores que tienen aplicabilidad en el proyecto, y se presentan trabajos similares que se han realizado en el área, indicando cómo se relacionan y cómo se diferencian de cada uno.

1.1.1 Descripción de la organización

El proyecto se desarrolla dentro de una organización catalogada como un emprendimiento tecnológico o *start up*, de origen costarricense, llamado **Fito App** [1]. Esta es una plataforma que busca ayudar a los administradores de gimnasios a gestionar su centro, mediante un software como servicio (SaaS) que permite la gestión administrativa de membresías, creación y distribución de rutinas a los clientes y el manejo de reservas de clases.

En procesos de entrevistas realizadas a potenciales clientes, se identificó que hay una deficiencia en las aplicaciones y otros sistemas manuales que actualmente utilizan los gimnasios, lo que genera frustración tanto a los administradores, como a los colaboradores y clientes de los gimnasios. Así, el objetivo de la organización es mejorar la eficiencia operativa de los centros de *fitness* y la experiencia de sus clientes, mediante el uso de tecnología y la automatización de procesos.

Fito App nació en 2023, a manos de Lic. Ignacio Castro Hidalgo, actual director ejecutivo y quien impulsó la participación de la organización en el concurso para optar por los fondos de prototipado (capital semilla) otorgados por la Agencia Universitaria para la Gestión Emprendedora (AUGE) de la Universidad de Costa Rica a finales de ese mismo año. Los fondos de prototipado son recursos concursables y no reembolsables auspiciados por el Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD), que brinda recursos financieros a iniciativas desarrolladas dentro del Programa Proyectos de Innovación Tecnológica (PIT) [2].

La participación en el concurso por los fondos fue exitosa, y a partir de febrero del año 2024, se empezó a hacer efectiva la ejecución del capital semilla para apoyar la construcción de un prototipo que permitiera realizar validaciones comerciales del modelo de negocio. La construcción del producto mínimo viable (MVP, por sus siglas en inglés) duró aproximadamente 6 meses, y en agosto del 2024 se hizo el primer lanzamiento del producto en su versión *Beta*, lo que permitió establecer las primeras relaciones comerciales con clientes a manera de usuarios pioneros o *early adopters* (en inglés).

A finales del 2024, se concursó nuevamente por fondos de capital semilla; esta vez como parte del programa de *Puesta en Marcha*, que va dirigido a *Startups* en su proceso de lanzamiento y consolidación en el mercado [3]. Dicho programa fue auspiciado por la Cámara de Tecnologías de Información y Comunicación (CAMTIC), quienes recibieron en ese mismo año su primera designación como Agencia Operadora del SBD, y así poder canalizar parte de los C\$300 millones de colones que el Sistema de Banca para el Desarrollo destinó a la promoción de la innovación y el emprendimiento en Costa Rica [3].

Los resultados de la aplicación al programa de Puesta en Marcha de CAMTIC fueron positivos, y a partir de enero del 2025, se empezó a ejecutar una estrategia de comer-

cialización y crecimiento del producto, aprovechando los fondos no reembolsables que se obtuvieron. En este contexto, el presente proyecto se desarrolla como parte de la estrategia de crecimiento de la organización, buscando mejorar la propuesta de valor del producto y su competitividad en el mercado.

Se cree que hay una oportunidad de negocio importante no solo a nivel nacional, sino también regional, considerando que la industria del *fitness* ha tenido un crecimiento importante en la última década y no se visualiza que merme en un futuro cercano [4],[5],[6]. Por el contrario, se considera que es un nicho de mercado que ofrece un amplio margen de oportunidad para la innovación y la mejora del estado actual de sus procesos y herramientas. En Fito App, desde el momento de su gestación, se ha trabajado con miras a la expansión hacia el mercado latinoamericano, considerando que su modelo de negocio basado en SaaS permite una escalabilidad considerable.

Actualmente, el producto sigue en desarrollo y en un proceso de mejora continua en el que se trabaja muy estrechamente con los clientes actuales para seguir identificando puntos de dolor en la gestión de los gimnasios y cómo poder atacarlos con el sistema que se está desarrollando. Así, el equipo de trabajo encargado de ejecutar los objetivos de Fito App está conformado por 3 socios fundadores: **Lic. Ignacio Castro Hidalgo, Bach. Ángel Villalobos Peña y Luis Pedro Morales Rodríguez**, el autor de este documento y encargado de ejecutar el proyecto del Trabajo Final de Graduación. Además, la organización cuenta con el apoyo de **dos estudiantes más** de las carreras de Ing. en Computadores e Ing. en Computación, que trabajan en el proyecto en la calidad de pasantes. La organización no cuenta con una sede física, por tanto la modalidad de trabajo es de tipo remota en la mayoría del tiempo.

1.1.2 Descripción del área de conocimiento del proyecto

El presente proyecto atañe a varias áreas de la Ingeniería en Computadores, entre las que destacan:

Sistemas empotrados

El sistema de control de acceso propuesto se implementa sobre una plataforma de hardware de propósito específico, utilizando una Raspberry Pi 4 con un sistema operativo personalizado, y ciertos periféricos como una cámara, una pantalla táctil y una bocina. Este entorno es representativo de un sistema empotrado, donde se deben considerar restricciones de recursos, rendimiento y estabilidad. La solución requiere diseño y desarrollo de software optimizado para operar en un hardware con capacidades limitadas, lo cual es una competencia central en esta área.

Internet de las cosas (IoT)

El sistema embebido debe conectarse a internet para realizar validaciones de identidad en la nube y registrar accesos en una base de datos remota. Esta característica de conectividad constante y la interacción con servicios distribuidos a través de internet posicionan el sistema dentro del área del Internet de las Cosas, en la que los dispositivos físicos se integran a una red digital para ofrecer funcionalidades inteligentes e interconectadas.

Sistemas operativos

Para optimizar el uso de recursos y enfocar el sistema en su funcionalidad principal, se desarrolla un sistema operativo personalizado utilizando *Yocto Project*, el cual permite configurar una distribución de Linux específicamente adaptada a los requerimientos del sistema embebido y de menor tamaño que un sistema operativo de uso general. Esto implica una comprensión importante de la estructura de los sistemas operativos, sus capas, manejo de servicios, drivers y optimización de recursos.

Reconocimiento de patrones

La validación de identidad se realizará mediante técnicas de reconocimiento facial, que consisten en la extracción y comparación de características biométricas del rostro del usuario. Estas técnicas se basan en algoritmos de reconocimiento de patrones, incluyendo redes neuronales convolucionales (CNN) y otros métodos de aprendizaje profundo, que permiten identificar y clasificar imágenes de rostros con alta precisión. Es importante destacar que la relación del proyecto con esta área de conocimiento será a través del uso de modelos ya existentes y pre-entrenados, y servicios de terceros como *Amazon Rekognition* [7], que permiten realizar la validación de identidad de los usuarios a través de su API. Esto para buscar un enfoque práctico y aplicado en el uso de tecnologías avanzadas de reconocimiento facial, sin necesidad de desarrollar algoritmos desde cero.

1.1.3 Trabajos similares

1.2 Planteamiento del problema

En esta sección se describe el contexto del problema identificado y la justificación que respalda la necesidad de implementar, desde Fito App, una solución que lo aborde.

1.2.1 Contexto del problema

Como se mencionó anteriormente, Fito App desarrolla y mantiene un SaaS que le permite a la administración de los gimnasios, gestionar: sus ventas a través de membresías, las

rutinas personalizadas de sus clientes y la reserva de cupos a eventos tales como clases o citas de medición. Esto mediante una aplicación web para uso de la administración del gimnasio, y una aplicación móvil para uso de los clientes. Este fue el alcance definido para la fase de prototipado del producto y representa el estado actual de los servicios que Fito App ofrece a sus clientes.

La validación comercial del prototipo, ha arrojado resultados positivos en cuanto a la aceptación del producto; sin embargo, es sabido que el alcance del prototipo actual no es suficiente para poder competir contra otras soluciones ya establecidas en el mercado local, como lo son *WStudio* [8] y *Fitness 24/7 Gym* [9]. En etapas previas a la implementación del prototipo, se condujeron investigaciones de campo en las que se entrevistó a administradores de gimnasios o centros de *fitness* de diversos tipos, para poder entender mejor sus necesidades y se capturaron requerimientos importantes que principalmente son aplicables a gimnasios de dimensión mediana y grande. Para clasificar a los gimnasios por su tamaño, se utiliza la cantidad de clientes que tienen asociados. Las categorías que se identificaron de las investigaciones internas realizadas son las siguientes:

Tamaño	Cantidad de clientes
Micro	$0 < N \leq 100$
Pequeño	$100 < N \leq 300$
Mediano	$300 < N \leq 1000$
Grande	$N > 1000$
Multi-sede	$N > 1000$

Tabla 1: Categorización de los centros de *fitness* según su tamaño

El modelo de negocio por defecto de los gimnasios es utilizar la figura de membresía, la que permite que sus clientes, por un lapso determinado, tengan acceso a sus instalaciones y servicios. Así, es imprescindible que los gimnasios, principalmente los de mayor tamaño, cuenten con un **sistema de control de acceso** a sus instalaciones para poder filtrar y autorizar el ingreso únicamente de las personas que cuenten con una membresía activa.

1.2.2 Justificación del problema

Tener un control activo de quiénes ingresan y salen de las instalaciones de un gimnasio es fundamental para la administración del mismo. Esto le permite no solo poder disminuir el riesgo de ingresos de personas que no hayan pagado su derecho de uso de las instalaciones (lo que representa pérdidas económicas), sino también generar estadísticas de interés con relación al flujo de clientes; como por ejemplo, la cantidad de personas que ingresan en un día, el promedio de ingresos que hay por semana, o las horas del día que tienen mayor concurrencia.

Las estadísticas relacionadas con el flujo de ingreso de personas son valiosas para la administración porque les permite entender mejor el comportamiento de sus clientes, y a

partir de ellas, tomar decisiones de negocio más informadas y basadas en datos. Ahora bien, esta información no solo es valiosa para el uso interno de la organización. Se pudo identificar del proceso de entrevistas realizadas a administradores, que también existe la necesidad de llevar el control del flujo de clientes que ingresan y salen de un local porque hay ocasiones en las que funcionarios del Ministerio de Salud de Costa Rica ejecutan auditorías o inspecciones en los gimnasios y solicitan estos datos. En caso de no brindar esta información con precisión, es posible que esto tenga repercusiones negativas de índole legal.

Como es esperable, cuando un gimnasio alcanza un tamaño mediano o grande, el control de acceso deja de ser una tarea viable para un proceso manual, por lo que surge la necesidad de implementar sistemas automatizados. En el mercado local, existen varias soluciones que ofrecen sistemas de control de acceso automatizados. Las principales variantes de estos sistemas que se han encontrado son las siguientes:

- **Acceso con pin:** el cliente tiene asociado un pin único el cual deberá utilizar cada vez que ingrese al local, por ejemplo mediante un teclado numérico que el gimnasio pone a su disposición. Luego, el sistema evalúa si corresponde a un cliente con una membresía activa. Es una solución de bajo costo, pero tiene la desventaja de que su seguridad puede ser sorteada fácilmente si un usuario comparte su pin a otra persona sin autorización de ingreso. También puede ser un inconveniente para usuarios olvidadizos que les cueste trabajo memorizar el código.
- **Acceso con código QR:** el funcionamiento es similar al acceso por pin, ya que el usuario debe mostrar el código QR cada vez que ingresa al local. Es una solución que se popularizó durante la pandemia ya que evita el contacto físico directo con algún medio compartido. La lectura se puede hacer con un dispositivo específico o con un dispositivo móvil, de forma eficaz y rápida, con muy poco margen de error. Tiene la misma desventaja que el punto anterior de la posibilidad de compartir el código de forma deshonesto.
- **Lector de huella dactilar:** es una de las soluciones más populares actualmente. Tiene la gran ventaja de utilizar datos bio-métricos para el acceso, por lo que se eliminan los problemas de seguridad de las dos soluciones anteriores. Aunque tiene la desventaja de que hay un cierto margen de error en el sistema, que tiende a arrojar falsos negativos, y que ha afectado la experiencia de los usuarios a los que se les ha consultado. No se ha cuantificado el porcentaje de error de los sensores de huella dactilares utilizados, pero sí se ha evidenciado un descontento general en los usuarios de estos sistemas. Otro punto negativo es el contacto que podría generar un foco de contagio sino se tienen medidas adecuadas de higiene al tocar el dispositivo.
- **Reconocimiento facial:** es una solución innovadora que está ganando popularidad en los sistemas de control de acceso en general. Al igual que el lector de huella dactilar, utiliza datos bio-métricos, lo que favorece la seguridad del sistema, aunque esta solución utiliza tecnología de reconocimiento de patrones que garantizan un

mayor porcentaje de acierto que los sensores de huella, que pueden perder precisión si se ensucian o se ven afectados por la humedad característica de lugares como los gimnasios. También, al evitar el contacto físico, el reconocimiento facial se coloca como una alternativa más segura para la salud de las personas evitando focos de contagio de enfermedades. Ahora bien, se ha identificado que soluciones de este tipo que ofrecen otros SaaS similares al de Fito App, tienen problemas de rendimiento y presentan latencias elevadas a la hora de procesar las solicitudes de acceso, afectando de manera importante la experiencia de usuario. También, esta se suele presentar como la alternativa de mayor costo económico, lo que puede llevar a que centro de *fitness* prefieran otro tipo de soluciones más accesibles. En Fito App, esto se interpreta como una oportunidad de negocio si se logra implementar una solución más eficiente y de menor costo que las alternativas actuales en el país.

1.2.3 Enunciado del problema

En síntesis, el proyecto busca atacar el problema de los ingresos no autorizados a los gimnasios, que afecta negativamente la seguridad y la experiencia de los usuarios que sí tienen membresías activas, así como los réditos económicos de la administración. Esto mediante un sistema automatizado que controle y registre el acceso de los usuarios a los diferentes centros de *fitness*, los cuales son potenciales clientes de Fito App, lo que permitiría robustecer el producto actual y colocarlo como una alternativa más competente en el mercado local.

Dicho esto, se considera que una solución de reconocimiento facial que sea capaz de operar de forma rápida, confiable y sin contacto físico, mejorando la seguridad y comodidad para los usuarios, le daría una ventaja competitiva al producto. El desarrollo del producto descrito en este documento busca desarrollar un sistema optimizado que minimice la latencia en el procesamiento de reconocimiento facial y se integre eficientemente con el sistema de gestión de membresías de Fito App, con un enfoque en la mantenibilidad y escalabilidad, aumentando así su competitividad en el mercado y su valor para los gimnasios que tengan dicha necesidad.

1.3 Objetivos del proyecto

En este apartado se definen los objetivos del proyecto, tanto el objetivo general como los específicos.

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de control de acceso para gimnasios mediante el uso de técnicas de reconocimiento facial, con el fin de mejorar la seguridad y eficiencia en la validación de

membresías, utilizando una plataforma de *hardware* embebido con un sistema operativo personalizado y de propósito específico para garantizar la optimización de recursos y la integración con el sistema de gestión de Fito App.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos se asocian con un identificador único para poder ser referenciados en secciones posteriores del documento con mayor facilidad.

1. **OE1:** Diseñar la arquitectura de un sistema embebido de control de acceso, para establecer una estructura clara de hardware y software que permita la captura y análisis de datos biométricos, mediante el uso de una plataforma de bajo costo con un sistema operativo de propósito específico.
2. **OE2:** Desarrollar un módulo de reconocimiento facial, para validar la identidad de los usuarios que acceden al gimnasio, mediante la integración de una cámara y el uso de servicios en la nube que posibiliten el procesamiento y análisis de imágenes en tiempo real.
3. **OE3:** Integrar un módulo de reportes en el sistema de administración de Fito App, para que los administradores de gimnasios puedan consultar estadísticas de acceso de sus clientes, mediante una interfaz de comunicación entre el sistema de reconocimiento facial y el *backend* de Fito App, así como la visualización de los datos a través de una interfaz web.
4. **OE4:** Evaluar el rendimiento del sistema en un entorno real, para verificar el cumplimiento de los requisitos de eficiencia, precisión y experiencia de usuario, mediante pruebas controladas que midan la latencia, la tasa de aciertos en el reconocimiento facial y la confiabilidad operativa del sistema.

1.4 Alcances, entregables y limitaciones del proyecto.

En esta sección se describen los alcances, entregables y limitaciones del proyecto, con el objetivo de delimitar claramente lo que se espera lograr, los productos que se generarán como resultado del desarrollo y las restricciones que podrían influir en la ejecución del mismo.

1.4.1 Alcances

El proyecto contempla el diseño, implementación e integración de un sistema de control de acceso para gimnasios, utilizando reconocimiento facial como método de validación de identidad. El sistema será desarrollado sobre una plataforma embebida de propósito

específico, conectada a servicios de reconocimiento facial en la nube, y comunicada con el sistema administrativo actual de Fito App.

El alcance del proyecto incluye:

- El diseño e implementación de la arquitectura de hardware y software del sistema embebido.
- El desarrollo del módulo de captura y reconocimiento facial para validación de acceso.
- La implementación de un mecanismo de retroalimentación auditiva y visual para el usuario al momento de validar su acceso.
- La integración con el *backend* de Fito App para registrar accesos y generar estadísticas.
- La implementación de un módulo de reportes que permita a los administradores consultar visualmente los registros de acceso.
- La ejecución de pruebas de validación funcional y de rendimiento en un entorno real de operación.

El proyecto no contempla el desarrollo de modelos de reconocimiento facial propios, ya que se utilizarán servicios preexistentes. Tampoco se considera como parte del alcance la integración con mecanismos físicos de cierre o apertura de puertas, el enfoque se centra en la validación y registro digital del acceso y en una retroalimentación adecuada al usuario.

1.4.2 Entregables

En la *Tabla 2*, se resumen los entregables del proyecto en función de los objetivos específicos planteados.

1.4.3 Limitaciones del proyecto

El desarrollo del proyecto se verá influenciado por diversas limitaciones que podrían afectar su ejecución y resultados. A continuación se enumeran las principales limitaciones identificadas:

1. La ejecución del proyecto deberá hacerse en un lapso de 16 semanas, es decir, un semestre lectivo del ITCR, planteado para iniciarse el 10 de febrero del 2025.
2. La organización cuenta con un dispositivo *Raspberry Pi 4 Model B*, del cual se dispone para el desarrollo del proyecto de ser necesario. El resto de componentes del sistema deberán ser adquiridos externamente. En la etapa de diseño deberá de tomarse la decisión sobre la plataforma de *hardware* y componentes que se utilizará.

Obj.	Entregable	Descripción
OE1	Documento de arquitectura	Especificación de la arquitectura hardware-software del sistema embebido, incluyendo diagramas y justificación técnica.
OE2	Módulo de reconocimiento facial	Aplicación funcional que capture imágenes, valide identidades mediante un servicio de reconocimiento facial y brinde retroalimentación al usuario por medio de señales auditivas (buzzer) y visuales (pantalla).
OE3	Módulo de reportes	Interfaz de visualización web integrada al sistema de Fito App para mostrar estadísticas de acceso a los administradores.
OE4	Informe de pruebas de rendimiento	Documento con los resultados de pruebas realizadas en entorno real, incluyendo métricas de latencia y precisión.

Tabla 2: Entregables del proyecto según objetivo específico

- Es posible que adquisición del *hardware* necesario para el proyecto implique hacer una compra internacional, lo que supone una limitación en cuanto al tiempo de latencia asociado al proceso de envío y entrega de los productos.
- La organización cuenta con un presupuesto limitado para la ejecución del proyecto, lo que podría restringir la adquisición de ciertos componentes o servicios necesarios para el desarrollo del sistema.
- Los entregables generados por el proyecto, como código fuente y documentación, serán de carácter confidencial y propiedad intelectual de Fito App.
- Las pruebas de funcionalidad completa podrían estar limitadas por la disponibilidad de un gimnasio dispuesto a colaborar, lo cual podría restringir el número y la duración de las pruebas en un entorno real.

Capítulo 2

Marco teórico

Bibliografía

- [1] Fito, “Fito App - Inicio,” <https://fito-app.com/>, accesado: 2024-11-05.
- [2] Agencia Universitaria para la Gestión del Emprendimiento (AUGE-UCR), “Fondos de capital semilla,” <https://augeucr.com/home/fondosauge/>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [3] Sistema de Banca para el Desarrollo, “Emprendimientos tendrán acceso a C\$3.300 millones para capital semilla,” <https://sbdcr.com/emprendimientos-tendran-acceso-a-%E2%82%A13-300-millones-para-capital-semilla/>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [4] CMD Sport, “Animan al sector del fitness a seguir invirtiendo en Latinoamérica,” <https://www.cmdsport.com/fitness/actualidad-fitness/animan-al-sector-del-fitness-seguir-invirtiendo-latinoamerica/>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [5] Mercado Fitness, “En Latinoamérica, las membresías aumentaron un 2.4% en 2023,” <https://mercadofitness.com/latinoamerica-membresias-crecimiento-2023/>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [6] Mordor Intelligence, “Industria del fitness en América del Sur - Análisis de tamaño y participación - Tendencias y pronósticos de crecimiento (2024 - 2029),” <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/south-america-health-and-fitness-club-market>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [7] Amazon Web Services, “What is amazon rekognition?” <https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/dg/what-is.html>, accesado: 8 de abril, 2025.
- [8] WStudio, “WStudio - Funciones,” <https://www.wstudio.app/#funciones>, accesado: 20 de abril, 2025.
- [9] LatinSoft, “Fitness 24/7 Gym,” <https://www.latinsoftcr.net/fitness247>, accesado: 20 de abril, 2025.

Apéndice A

APENDICE A

Apéndice B

APENDICE B

Apéndice C

APENDICE C