

Universidad Nacional del Este.  
Facultad Politécnica.

---



# Sistema de Asistencia Basado en Reconocimiento Facial para la FPUNE.

Aldo Carrizo Coronel.  
Jorge Daniel Sánchez Ramirez.

Año 2025.

Universidad Nacional del Este.  
Facultad Politécnica.

---

Carrera <Nombre de la Carrera>.  
Cátedra <Nombre de la Cátedra>.

<Título del Trabajo Final de  
Grado>.

Por: <Nombre del graduando>.

Profesor Orientador: <Nombre del Profesor Orientador>.

Trabajo final de grado presentado a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este como parte de los requisitos para optar al título <denominación del título de grado>.

Ciudad del Este, Alto Paraná. Paraguay.

<mes y año>

FICHA CATALOGRÁFICA  
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD POLITÉCNICA  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ESTE

<Primerapellidoautor> <Segundoapellidoautor>, <Primernombreautor>  
<Segundonombreautor>, <añonacimientoautor>.

<título del trabajo final de grado>.

<Primernombreautor> <Segundonombreautor> <Primerapellidoautor>  
<Segundoapellidoautor>.

Ciudad del Este, Alto Paraná. Año: <añoredaccióninforme>.

Páginas: <cantidad de páginas>.

Orientador: <Nombreorientador>.

Área de estudio: <denominación del área de estudio>.

Carrera: <denominación de la carrera>.

Titulación: <denominación del (de la) profesional>.

Trabajo Final de Grado. Universidad Nacional del Este,  
Facultad Politécnica.

Descriptores: 1. <descriptor1>, 2. <descriptor2>, 3. <descriptor3>.

<título del trabajo final de grado en inglés>.

Key words: 1. <descriptor1en inglés>, 2. <descriptor2en inglés>  
3. <descriptor3en inglés>.

Yo, <nombre del Profesor Orientador>, documento de identidad No. <No. de documento de identidad del Profesor Orientador>, Profesor Orientador del TFG titulado “<título del TFG>”, del Alumno <nombre del Alumno>, documento de identidad No. <No. de documento de identidad del Alumno>, de la carrera <nombre de la carrera> de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este; certifico que el mencionado Trabajo Final de Grado ha sido realizado por dicho Alumno, de lo cual doy fe y en mi opinión reúne las condiciones para su presentación y defensa ante la Mesa Examinadora designada por la institución.

<fecha>

---

<nombre del Profesor Orientador>

Nosotros, los miembros de la Mesa Examinadora del Trabajo Final de Grado titulado “<título del TFG>”, de la carrera <nombre de la carrera> de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este, hacemos constar que el citado trabajo ha sido evaluado en fondo y forma por esta Mesa, la que por \_\_\_\_\_ ha resuelto asignar la calificación \_\_\_\_\_

Ciudad del Este, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014

---

Profesor \_\_\_\_\_  
Presidente de la Mesa Examinadora

---

Profesor \_\_\_\_\_

Miembro de la Mesa Examinadora

---

Profesor \_\_\_\_\_

Miembro de la Mesa Examinadora

*Escribir aquí la dedicatoria.*  
*Su extensión no debería exceder de una página.*

*<Escribir aquí los agradecimientos.>*  
*<Su extensión no debería exceder de una página.>*

*<Escribir aquí el epígrafe (frase u oración favorita).>*  
*<Su extensión no debería exceder de una página.>*

# Resumen

Presentación concisa del trabajo de investigación, destacando sus aspectos de mayor relevancia. Típicamente debe constar de cerca de 300 palabras; como máximo, una página de extensión. El primer párrafo debe expresar el tema tratado. Se deben incluir los principales objetivos, hipótesis (si hubieren) los métodos, los resultados más importantes, así como las principales conclusiones del trabajo. Se deben evitar citas y referencias bibliográficas.

Al final del resumen deben escribirse los descriptores (palabras o frases claves que permitan la clasificación y ubicación del trabajo).

**Descriptores:** 1. <descriptor1>, 2. <descriptor2>, 3. <descriptor3>.



# Abstract

Concise presentation of the grade research work, pointing out its most relevant items. At most, it must be one page long. The first paragraph should state the subject being addressed. It must include main objectives, methods, most remarkable results, as well as the most important conclusions. No cites or references should be included here.

At the end of the abstract should be written the key words (words or phrases that allow the work to be classified and located).

**Key words:** 1. <keyword1>, 2. <keyword2>, 3. <keyword3>.

# Índice general

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Resumen</b>                                                  | <b>IX</b>  |
| <b>Abstract</b>                                                 | <b>X</b>   |
| <b>Índice de figuras</b>                                        | <b>XIV</b> |
| <b>Índice de tablas</b>                                         | <b>XV</b>  |
| <b>Acrónimos y símbolos</b>                                     | <b>XV</b>  |
| <b>1. Introducción</b>                                          | <b>1</b>   |
| 1.1. Motivación . . . . .                                       | 2          |
| 1.2. Definición del problema . . . . .                          | 2          |
| 1.3. Preguntas de Investigación . . . . .                       | 3          |
| 1.3.1. Pregunta General. . . . .                                | 3          |
| 1.3.2. Preguntas Específicas. . . . .                           | 3          |
| 1.4. Delimitación del Trabajo. . . . .                          | 3          |
| 1.5. Objetivo General . . . . .                                 | 4          |
| 1.6. Objetivos Específicos . . . . .                            | 4          |
| 1.7. Hipótesis . . . . .                                        | 4          |
| 1.8. Fundamentación. . . . .                                    | 4          |
| 1.9. Impacto de la Investigación. . . . .                       | 5          |
| 1.10. Descripción de los contenidos por capítulo . . . . .      | 5          |
| <b>2. Conceptos fundamentales, teorías y antecedentes</b>       | <b>6</b>   |
| 2.1. Conceptos fundamentales . . . . .                          | 6          |
| 2.1.1. Historia de la biometría . . . . .                       | 6          |
| 2.1.2. Concepto de Seguridad Biométrica . . . . .               | 7          |
| 2.1.3. Historia de Reconocimiento Facial . . . . .              | 8          |
| 2.1.4. Concepto del Reconocimiento Facial . . . . .             | 9          |
| 2.1.5. Funcionamiento del Reconocimiento Facial . . . . .       | 9          |
| 2.1.6. Aplicaciones de los sistemas de reconocimiento facial. . | 10         |

|           |                                                                                                                                |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.7.    | Precisión del Reconocimiento Facial . . . . .                                                                                  | 11        |
| 2.1.8.    | Concepto de la Inteligencia Artificial . . . . .                                                                               | 11        |
| 2.1.9.    | Funcionamiento de la Inteligencia Artificial . . . . .                                                                         | 12        |
| 2.1.10.   | Tipos de Inteligencia Artificial . . . . .                                                                                     | 12        |
| 2.1.11.   | Modelos de entrenamiento de inteligencia artificial . . .                                                                      | 13        |
| 2.1.12.   | Redes Neuronales Artificiales . . . . .                                                                                        | 14        |
| 2.1.13.   | Tipos Comunes de redes neuronales artificiales . . . . .                                                                       | 15        |
| 2.1.14.   | Concepto de Registros Académicos. . . . .                                                                                      | 17        |
| 2.1.15.   | ¿Qué contienen los registros académicos . . . . .                                                                              | 18        |
| 2.1.16.   | ¿Para qué sirven los registros académicos? . . . . .                                                                           | 18        |
| 2.1.17.   | Importancia de los registros académicos. . . . .                                                                               | 19        |
| 2.2.      | Antecedentes . . . . .                                                                                                         | 19        |
| 2.2.1.    | <i>“Detección facial mediante OpenCV.” . . . . .</i>                                                                           | 19        |
| 2.2.2.    | <i>“Sistema de examen en línea con reconocimiento facial.”</i>                                                                 | 19        |
| 2.2.3.    | <i>“Sistema biométrico de reconocimiento facial utilizando redes neuronales artificiales en Raspberry Pi.” . . .</i>           | 20        |
| 2.2.4.    | <i>“Prototipo de reconocimiento facial para mejorar el control de asistencia de estudiantes en UNIANDES, Quedo.” . . . . .</i> | 20        |
| 2.2.5.    | <i>“Registro de asistencia de alumnos por medio de reconocimiento facial utilizando visión artificial” . . . . .</i>           | 20        |
| 2.2.6.    | <i>“Reconocimiento facial para la automatización del registro de asistencia a clases” . . . . .</i>                            | 21        |
| <b>3.</b> | <b>Método</b>                                                                                                                  | <b>22</b> |
| 3.1.      | Enfoque . . . . .                                                                                                              | 22        |
| 3.1.1.    | Método utilizado para el desarrollo . . . . .                                                                                  | 24        |
| 3.1.2.    | Lista de Tareas . . . . .                                                                                                      | 26        |
| 3.1.3.    | Operacionalización de variables . . . . .                                                                                      | 27        |
| 3.2.      | Alcance de la investigación cuantitativa . . . . .                                                                             | 28        |
| 3.2.1.    | Alcance exploratorio. . . . .                                                                                                  | 29        |
| 3.2.2.    | Alcance descriptivo. . . . .                                                                                                   | 29        |
| 3.2.3.    | Alcance correlacional. . . . .                                                                                                 | 29        |
| 3.2.4.    | Alcance explicativo. . . . .                                                                                                   | 30        |
| 3.3.      | Diseño . . . . .                                                                                                               | 30        |
| <b>4.</b> | <b>Resultados</b>                                                                                                              | <b>34</b> |
| 4.1.      | Figuras y Tablas . . . . .                                                                                                     | 34        |
| 4.1.1.    | Errores detectados y ajustes aplicados . . . . .                                                                               | 35        |
| 4.1.2.    | Configuraciones aplicadas y resultados obtenidos . . . .                                                                       | 36        |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. Discusión</b>                                     | <b>44</b> |
| 5.1. Logros alcanzados . . . . .                        | 44        |
| 5.2. Solución del problema de investigación . . . . .   | 45        |
| 5.3. Sugerencias para futuras investigaciones . . . . . | 45        |
| <b>Glosario</b>                                         | <b>46</b> |
| <b>Anexos</b>                                           | <b>46</b> |
| <b>Anexo A.</b>                                         | <b>47</b> |
| <b>Referencias bibliográficas</b>                       | <b>48</b> |

# Índice de figuras

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. | Ejemplo de Seguridad Biométrica . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                   | 7  |
| 2.2. | Una vista de la tableta digitalizadora de RAND; creada en la década de 1960, en la que se probó el primer sistema de identificación facial . . . . .                                                                                                                                        | 8  |
| 2.3. | Dispositivo de reconocimiento facial utilizado en un aeropuerto para verificar la identidad de los pasajeros mediante el análisis de sus rasgos faciales en tiempo real. . . . .                                                                                                            | 9  |
| 2.4. | Estructura de una red neuronal profunda. . . . .                                                                                                                                                                                                                                            | 15 |
| 2.5. | La imagen representa una red neuronal prealimentada, uno de los modelos más básicos y utilizados en inteligencia artificial. .                                                                                                                                                              | 16 |
| 2.6. | Representación de una red neuronal recurrente (RNN), donde las conexiones internas permiten el manejo de secuencias mediante memoria temporal. . . . .                                                                                                                                      | 16 |
| 2.7. | La imagen muestra cómo una red neuronal convolucional (CNN) procesa una imagen en distintas capas, extrayendo características progresivas desde patrones simples hasta rostros completos para generar una salida final. . . . .                                                             | 17 |
| 2.8. | La imagen ilustra el funcionamiento de una red generativa adversaria (GAN), donde un generador crea muestras falsas a partir de ruido aleatorio y un discriminador intenta distinguir entre muestras reales y falsas, retroalimentando a ambos modelos para mejorar su rendimiento. . . . . | 17 |
| 2.9. | La imagen muestra un formato tradicional de registro de asistencia escolar, utilizado por docentes para anotar la presencia diaria de los alumnos a lo largo de un período determinado. .                                                                                                   | 18 |
| 4.1. | Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                                                                                                                                                                                                   | 36 |
| 4.2. | Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.0 y factor de similitud 30). . . . .                                                                                                                                                                                   | 36 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3. Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                 | 37 |
| 4.4. Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.3 y factor de similitud 25). . . . . | 37 |
| 4.5. Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                 | 38 |
| 4.6. Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.8 y factor de similitud 20). . . . . | 38 |
| 4.7. Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                 | 39 |
| 4.8. Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 3.5 y factor de similitud 18). . . . . | 39 |
| 4.9. Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                 | 40 |
| 4.10. Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 5 y factor de similitud 15). . . . .  | 40 |
| 4.11. Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial. . . . .                | 41 |
| 4.12. Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 10 y factor de similitud 10). . . . . | 42 |

# Índice de Tablas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Cronograma de tareas. . . . .                                                         | 27 |
| 3.2. Operacionalización de variables. . . . .                                              | 28 |
| 4.1. Componentes de hardware y software utilizados en el sistema .                         | 34 |
| 4.2. Errores frecuentes y acciones de mitigación . . . . .                                 | 35 |
| 4.3. Configuración de umbral vs. resultado esperado . . . . .                              | 35 |
| 4.4. Comparativa de modelos YOLO para detección facial . . . . .                           | 42 |
| 4.5. Rendimiento de modelos YOLO en distintos niveles de dificultad (WIDER Face) . . . . . | 43 |
| 4.6. Comparativa de modelos de DeepFace (Parte 1) . . . . .                                | 43 |
| 4.7. Comparativa de modelos de DeepFace (Parte 2: ventajas y desventajas) . . . . .        | 43 |

# Capítulo 1

## Introducción

El registro de asistencia es una tarea clave en la gestión educativa y administrativa en instituciones académicas como la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este (FPUNE), desempeñando un rol fundamental en el seguimiento del desempeño estudiantil. Sin embargo, los métodos tradicionales de control manual mediante listas de asistencia suelen presentar errores humanos que afectan la precisión de los registros y la toma de decisiones académicas.

Este Trabajo Final de Grado (TFG) tiene como objetivo desarrollar un sistema automatizado basado en reconocimiento facial para optimizar el proceso de registro de asistencia en la FPUNE. Para ello, se utilizarán algoritmos avanzados de biometría facial que analizarán imágenes capturadas en tiempo real, asegurando así una identificación precisa y eficiente. Además, se ofrecerá una plataforma digital donde los estudiantes podrán justificar sus ausencias, y las autoridades correspondientes podrán gestionar estas justificaciones.

La metodología empleada comprende etapas de selección tecnológica, recopilación y procesamiento de imágenes, entrenamiento de modelos inteligentes y pruebas piloto en un entorno real durante un semestre académico del año 2025. Se espera que este sistema reduzca significativamente los errores actuales y mejore la gestión académica y administrativa, brindando datos más fiables y contribuyendo a una mayor eficiencia operativa.

Este estudio busca aportar información valiosa para estudiantes, docentes y autoridades, promoviendo una gestión académica más precisa y efectiva mediante la adopción de tecnologías innovadoras.



## 1.1. Motivación

En la actualidad, el control de asistencia en instituciones educativas sigue dependiendo de métodos manuales, como el llamado de lista o el registro en papel, lo que puede generar errores humanos y pérdida de tiempo en la gestión académica. La automatización de este procedimiento mediante tecnologías de reconocimiento facial se presenta como una alternativa innovadora que no solo mejora la precisión del registro de asistencia, sino que también permite una gestión más eficiente de la información en tiempo real.

En el ámbito académico, este estudio representa una oportunidad para explorar el potencial del reconocimiento facial en entornos educativos, contribuyendo al desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en inteligencia artificial y visión computacional. Dado que esta tecnología ha sido implementada con éxito en otros sectores, su adaptación al contexto universitario puede marcar una diferencia significativa en la optimización de procesos.

Este proyecto también busca reducir el impacto ambiental al eliminar el uso de papel en los registros de asistencia, promoviendo prácticas más sostenibles dentro de la institución. En este sentido, la motivación principal radica en la combinación de innovación tecnológica, eficiencia administrativa y sostenibilidad, factores clave que justifican la importancia de esta investigación.

## 1.2. Definición del problema

En la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este (FPUNE), el control de asistencia aún utiliza métodos tradicionales, como el llamado de lista o el registro manual en papel. Estos métodos generan frecuentemente errores humanos, pérdida o deterioro de documentos y dificultades en la organización y almacenamiento eficiente de los datos recopilados. Además, estas fallas afectan negativamente la capacidad de las autoridades académicas y administrativas para detectar patrones claros de asistencia, identificar ausencias repetitivas y aplicar medidas correctivas oportunas.

Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar una solución tecnológica basada en reconocimiento facial que permita registrar automáticamente la asistencia. Además, se plantea la creación de una plataforma donde los estudiantes puedan justificar ausencias y entregar los documentos requeridos. En esta plataforma, las personas autorizadas evaluarán y determinarán si las justificaciones son válidas.

## 1.3. Preguntas de Investigación

### 1.3.1. Pregunta General.

¿Cómo implementar un sistema de Reconocimiento Facial para el control de asistencia de los estudiantes de la FPUNE?

### 1.3.2. Preguntas Específicas.

1. ¿Cuáles son los algoritmos de reconocimiento facial?
2. ¿Cuáles son las herramientas tecnológicas para el desarrollo del Sistema?
3. ¿Cuáles son los requerimientos para el registro de asistencia de la Facultad Politécnica?
4. ¿Cómo se desarrollará el sistema de reconocimiento facial y gestión de asistencias?
5. ¿Qué pruebas de implementación se deben realizar para validar su correcto funcionamiento?
6. ¿Cómo se evaluarán los resultados obtenidos para medir la efectividad del sistema?
7. ¿Qué indicadores o métricas se pueden utilizar para evaluar el desempeño del sistema implementado?

## 1.4. Delimitación del Trabajo.

1. **Límite del contenido:** Desarrollo de un sistema reconocimiento facial inteligente para la asistencia de alumnos de la FPUNE.
2. **Límite espacial:** Se limitará las pruebas a ser realizadas en un entorno controlado y luego a ser probado en un aula de la FPUNE.
3. **Límite Temporal:** Pruebas y desarrollo del sistema durante un semestre académico en el año 2025. Incluyendo la recopilación de datos, el entrenamiento del modelo, la implementación del sistema y la evaluación de su desempeño.

## 1.5. Objetivo General

Implementar un sistema de reconocimiento facial para el control de asistencia de estudiantes de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este.

## 1.6. Objetivos Específicos

1. Seleccionar los algoritmos de reconocimiento facial.
2. Seleccionar las herramientas tecnológicas para el desarrollo del Sistema.
3. Identificar los requisitos para el desarrollo del sistema de registro de asistencia para la FPUNE.
4. Desarrollar el sistema de reconocimiento facial y gestión de asistencias.
5. Realizar pruebas de implementación.
6. Evaluar resultados obtenidos.

## 1.7. Hipótesis

El sistema de control de asistencia basado en reconocimiento facial registra la asistencia de los estudiantes de la FPUNE.

## 1.8. Fundamentación.

La implementación de un "Sistema de Asistencia Basado en Reconocimiento Facial para la FPUNE responde a la necesidad de modernizar los procesos administrativos en las instituciones educativas y de aprovechar las ventajas que ofrecen las tecnologías de reconocimiento facial. Se presenta a continuación las diversas fundamentaciones en base a los puntos siguientes:

- **Innovación tecnológica:** La implementación de un prototipo de sistema de asistencia basado en reconocimiento facial en una institución educativa como la FPUNE representa una innovación tecnológica que puede servir como modelo para otras instituciones y/o otros rubros.
- **Incremento de la precisión en los datos de asistencia:** Los datos obtenidos del sistema serán más precisos y confiables, lo que permitirá

una mejor evaluación del desempeño académico de los estudiantes y la identificación de patrones de asistencia.

- **Fomento de la puntualidad y asistencia:** La implementación del sistema puede incentivar a los estudiantes a ser más puntuales y asistir con regularidad a clases.

### 1.9. Impacto de la Investigación.

El desarrollo e implementación del "Sistema de Asistencia Basado en Reconocimiento Facial para la FPUNE" generará un impacto significativo tanto a nivel institucional como en el entorno social más amplio. A nivel institucional, se mejorará la eficiencia y precisión en el registro de asistencia, reduciendo el margen de error humano. Socialmente, el sistema fortalecerá la confianza en los procesos educativos y administrativos de la FPUNE. Además, la digitalización de los procesos de registro de asistencia, al reducir drásticamente el uso de papel y tinta, contribuirá a disminuir el consumo de recursos.

### 1.10. Descripción de los contenidos por capítulo

Usualmente, el capítulo termina anunciando brevemente el contenido de los restantes capítulos.

## Capítulo 2

# Conceptos fundamentales, teorías y antecedentes

Este capítulo tiene como finalidad presentar los conceptos teóricos esenciales y los antecedentes más relevantes que enmarcan el desarrollo del "Sistema de Asistencia Basado en Reconocimiento Facial para la FPUNE". En primer lugar, se abordan las ideas fundamentales relacionadas con la biometría, la inteligencia artificial, y el reconocimiento facial, permitiendo así comprender las bases científicas y técnicas sobre las que se construye esta propuesta. Posteriormente, se incluyen trabajos previos desarrollados por otros autores, tanto a nivel local como internacional, que sirvieron de referencia y aportaron enfoques valiosos al diseño de la presente solución. Dichos antecedentes permiten contextualizar el problema, identificar soluciones existentes, evaluar sus resultados y reconocer las oportunidades de mejora que esta investigación busca abordar.

## 2.1. Conceptos fundamentales

### 2.1.1. Historia de la biometría

La biometría no se puso en práctica en las culturas occidentales hasta finales del siglo XIX, pero era utilizada en China desde al menos el siglo XIV. Un explorador y escritor que respondía al nombre de Joao de Barros escribió que los comerciantes chinos estampaban las impresiones y las huellas de la palma de las manos de los niños en papel con tinta. Los comerciantes hacían esto como método para distinguir entre los niños jóvenes.

En Occidente, la identificación confiaba simplemente en la "memoria fotográfica" hasta que Alphonse Bertillon, jefe del departamento fotográfico de

la Policía de París, desarrolló el sistema antropométrico (también conocido más tarde como Bertillonage) en 1883. Este era el primer sistema preciso, ampliamente utilizado científicamente para identificar a criminales y convirtió a la biométrica en un campo de estudio.

Funcionaba midiendo de forma precisa ciertas longitudes y anchuras de la cabeza y del cuerpo, Así como registrando marcas individuales como tatuajes y cicatrices. El sistema de Bertillon fue adoptado extensamente en occidente hasta que aparecieron defectos en el sistema, principalmente problemas con métodos distintos de medidas y cambios de medida. Después de esto, las fuerzas policiales occidentales comenzaron a usar la huella dactilar esencialmente el mismo sistema visto en China cientos de años antes[5].

### 2.1.2. Concepto de Seguridad Biométrica

Para abordar el concepto de seguridad biométrica, es fundamental primero comprender qué es la biometría. Es la ciencia del análisis de las características físicas o del comportamiento, propias de cada individuo, con el fin de autenticar su identidad. En el sentido literal y el más simple, la biometría significa la "medición del cuerpo humano"[6].

La biometría es la medición estadística y matemática de características físicas o biológicas únicas con fines de identificación[7].

Los datos biométricos son cualquier tipo de información sobre las características físicas de un individuo, como los patrones de la retina, las huellas dactilares y la estructura facial [7].



Figura 2.1: Ejemplo de Seguridad Biométrica

La seguridad biométrica se refiere al uso de características biológicas únicas para la autenticación digital y control de acceso. Los componentes de

hardware, como las cámaras o los lectores de huellas dactilares, recogen los datos biométricos, que se escanean y se comparan algorítmicamente con la información contenida en una base de datos. Si los dos conjuntos de datos coinciden, se autentica la identidad y se concede el acceso [7].

### 2.1.3. Historia de Reconocimiento Facial

En 1960, Woodrow Wilson Bledsoe trabajó en un sistema para clasificar los rasgos del rostro humano a través de la tabla RAND. Este sistema utilizaba un lápiz óptico y unas coordenadas para situar los ojos, la nariz o la boca de las personas de forma precisa, pero era un procedimiento todavía muy manual [1].



Figura 2.2: Una vista de la tableta digitalizadora de RAND; creada en la década de 1960, en la que se probó el primer sistema de identificación facial

Una década después llegarían Goldstein, Harmon y Lesk, que detallaron estas características faciales e iniciaron la mejora hacia la precisión del reconocimiento facial. Más adelante, a finales de los años 80', se aplica el álgebra lineal, gracias a Sirovich y Kirby.

Ya en 1991, Turk y Pentland desarrollan la tecnología capaz de detectar un rostro humano dentro de una fotografía, abriendo paso al reconocimiento facial automático.

Poco a poco, el reconocimiento facial se fue haciendo un hueco en las aplicaciones de seguridad, en particular aquellas concernientes al Estado. En 2001, nace el Viola-Jones Object Detection Framework, que propone algoritmos para detectar objetos dentro de imágenes, y que enseguida fue utilizado para la detección de rostros de forma exitosa. No es hasta 2010 cuando esta tecnología llega al gran público a través de Facebook [1].

#### 2.1.4. Concepto del Reconocimiento Facial

El reconocimiento facial es una manera de identificar o confirmar la identidad de una persona mediante su rostro. Los sistemas de reconocimiento facial se pueden utilizar para identificar a las personas en fotos, videos o en tiempo real.

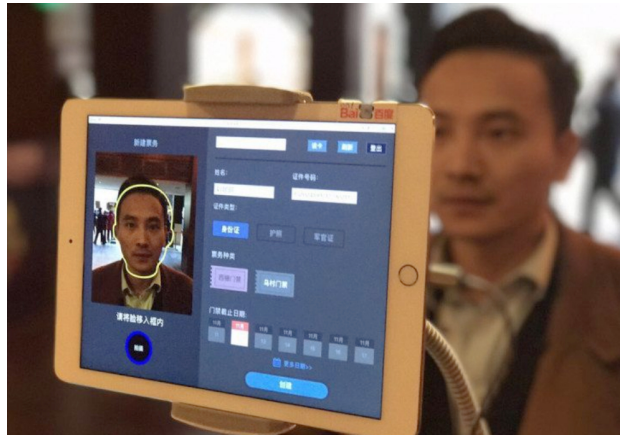


Figura 2.3: Dispositivo de reconocimiento facial utilizado en un aeropuerto para verificar la identidad de los pasajeros mediante el análisis de sus rasgos faciales en tiempo real.

El reconocimiento facial es una categoría de seguridad biométrica. Otras formas de software biométrico incluyen el reconocimiento de voz, el reconocimiento de huellas digitales y el reconocimiento de retina o iris. La tecnología se utiliza principalmente para la protección y las fuerzas de seguridad, aunque hay un creciente interés en otras áreas de uso [8].

#### 2.1.5. Funcionamiento del Reconocimiento Facial

- **Paso 1: Reconocimiento Facial** La cámara detecta y ubica la imagen de un rostro, ya sea de forma independiente o como parte de una muchedumbre. La imagen puede mostrar a la persona de frente o de perfil.
- **Paso 2: Análisis facial** A continuación, se captura y analiza una imagen del rostro. La mayor parte de la tecnología de reconocimiento facial depende de imágenes 2D en lugar de 3D, ya que se puede comparar de manera más fácil una imagen 2D con las fotos públicas o las de una base de datos. El software lee la geometría de tu rostro. Los factores clave incluyen la distancia entre los ojos, la profundidad de las cuencas



de los ojos, la distancia desde la frente hasta el mentón, la forma de los pómulos y el contorno de los labios, las orejas y el mentón. El objetivo es identificar los puntos de referencia faciales que son clave para distinguir un rostro.

- **Paso 3: Conversión de la imagen a datos** El proceso de captura de rostro transforma la información analógica (un rostro) en un conjunto de información digital (datos) basado en los rasgos faciales de la persona. Básicamente, el análisis del rostro se convierte en una fórmula matemática. El código numérico se denomina huella facial. De la misma manera en que las huellas dactilares son únicas, cada persona tiene su propia huella facial.
- **Paso 4: Búsqueda de una coincidencia** La huella facial se compara con una base de datos de otros rostros conocidos. Por ejemplo, el FBI tiene acceso a hasta 650 millones de fotos, de diversas bases de datos estatales. Si la huella facial coincide con una imagen en una base de datos de reconocimiento facial, entonces se realizará una determinación. De todas las mediciones biométricas, el reconocimiento facial se considera el más natural. Esto sigue una lógica intuitiva, ya que normalmente nos reconocemos a nosotros mismos y a los demás mirando las caras, en lugar de las huellas digitales y los iris. Se estima que, periódicamente, más de la mitad de la población mundial se ve afectada por la tecnología de reconocimiento facial [8].

### 2.1.6. Aplicaciones de los sistemas de reconocimiento facial.

Para abordar el tema de las aplicaciones de los sistemas de reconocimiento facial, se explorarán tres áreas clave:

- **Detección de fraudes:** Las empresas utilizan el reconocimiento facial para identificar de forma exclusiva a los usuarios que crean una nueva cuenta en una plataforma en línea. Una vez que esto se realiza, se puede utilizar el reconocimiento facial para verificar la identidad de la persona que realmente utiliza la cuenta en caso de que se produzca una actividad de riesgo o sospechosa en la cuenta.
- **Seguridad cibernética:** Las empresas utilizan la tecnología de reconocimiento facial en lugar de las contraseñas para reforzar las medidas de seguridad cibernética. Es difícil acceder sin autorización a los sistemas de reconocimiento facial, ya que no se puede cambiar nada del

rostro. El software de reconocimiento facial también es una herramienta de seguridad cómoda y de gran precisión para desbloquear teléfonos inteligentes y otros dispositivos personales.

- **Control de aeropuertos y fronteras:** Muchos aeropuertos utilizan los datos biométricos como pasaportes, con lo que los viajeros pueden evitar las largas filas y pasar por una terminal automatizada para llegar más rápidamente a la puerta de embarque. La tecnología de reconocimiento facial en forma de pasaportes electrónicos reduce los tiempos de espera y mejora la seguridad [3].

### 2.1.7. Precisión del Reconocimiento Facial

Los algoritmos de reconocimiento facial tienen una precisión casi perfecta en condiciones ideales. Existe una mayor tasa de éxito en entornos controlados, pero generalmente una tasa de rendimiento inferior en el mundo real. Es difícil predecir con exactitud la tasa de éxito de esta tecnología, ya que ninguna medida única proporciona un panorama completo.

Por ejemplo, los algoritmos de verificación facial que buscan coincidencias entre personas e imágenes de referencia claras, como una licencia de conducción o una foto policial, logran puntuaciones de alta precisión. Sin embargo, este nivel de precisión únicamente es posible con lo siguiente:

- Posicionamiento e iluminación coherentes
- Rasgos faciales claros y libres de obstrucciones
- Colores y fondo controlados
- Calidad de la cámara y resolución de la imagen

Otro factor que influye en las tasas de error es el envejecimiento. Con el tiempo, los cambios en el rostro dificultan la coincidencia con las fotografías tomadas años antes [2].

### 2.1.8. Concepto de la Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es un campo de la ciencia relacionado con la creación de computadoras y máquinas que pueden razonar, aprender y actuar de una manera que normalmente requeriría inteligencia humana o que involucra datos cuya escala excede lo que los humanos pueden analizar.

La IA es un campo amplio que incluye muchas disciplinas, como la informática, el análisis y la estadística de datos, la ingeniería de hardware y software, la lingüística, la neurociencia y hasta la filosofía y la psicología.

La inteligencia artificial es un conjunto de tecnologías que se basan principalmente en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, que se usan para el análisis de datos, la generación de predicciones y previsiones, la categorización de objetos, el procesamiento de lenguaje natural, las recomendaciones, la recuperación inteligente de datos y mucho más [12].

### 2.1.9. Funcionamiento de la Inteligencia Artificial

Si bien los detalles varían según las diferentes técnicas de IA, el principio central gira en torno a los datos. Los sistemas de IA aprenden y mejoran a través de la exposición a grandes cantidades de datos, lo que permite identificar patrones y relaciones que las personas pueden pasar por alto.

Este proceso de aprendizaje suele implicar algoritmos, que son conjuntos de reglas o instrucciones que guían el análisis y la toma de decisiones de la IA. En el aprendizaje automático, un subconjunto popular de la IA, los algoritmos se entrenan con datos etiquetados o no etiquetados para hacer predicciones o categorizar información [12].

### 2.1.10. Tipos de Inteligencia Artificial

La IA débil, también llamada IA estrecha o inteligencia artificial estrecha (ANI), es una IA entrenada y enfocada para realizar tareas específicas. La IA débil impulsa la mayor parte de la IA que nos rodea hoy.

La IA robusta está conformada por la inteligencia artificial general (IAG) y la superinteligencia artificial (SIA). La inteligencia artificial general (IAG), o la IA general, es una forma teórica de IA en la que una máquina tendría una inteligencia igual a la de los humanos; sería autoconsciente y tendría la capacidad de resolver problemas, aprender y planificar para el futuro. La superinteligencia artificial (SIA), también conocida como superinteligencia, superaría la inteligencia y la capacidad del cerebro humano.

Si bien la IA robusta todavía es completamente teórica y no tiene ejemplos prácticos de uso actualmente, no significa que los investigadores de IA no estén también explorando su desarrollo [10].

La inteligencia artificial se puede organizar de varias maneras, según las etapas de desarrollo o las acciones que se están realizando. Por ejemplo, se suelen reconocer cuatro etapas de desarrollo de la IA.

- **Máquinas Reactivas:** IA limitada que solo reacciona a diferentes ti-

pos de estímulos basados en reglas preprogramadas. No usa memoria y, por lo tanto, no puede aprender con datos nuevos. *Deep Blue* de IBM, que venció al campeón de ajedrez Garry Kasparov en 1997, fue un ejemplo de una máquina reactiva.

- **Memoria Limitada:** Se considera que la mayor parte de la IA moderna es de memoria limitada. Puede usar la memoria para mejorar con el tiempo mediante el entrenamiento con datos nuevos, por lo general, a través de una red neuronal artificial o algún otro modelo de entrenamiento. El aprendizaje profundo, un subconjunto del aprendizaje automático, se considera inteligencia artificial con memoria limitada.
- **Teoría de la Mente:** En la actualidad no existe IA con teoría de la mente, pero se están investigando distintas posibilidades. El término hace referencia a la IA que puede emular la mente humana y tiene capacidades de toma de decisiones similares a las de un ser humano, lo cual incluye reconocer y recordar emociones, y reaccionar en situaciones sociales como lo haría un ser humano.
- **Autoconocimiento:** Un paso más allá de la IA con teoría de la mente, el concepto de IA con autoconocimiento describe una máquina mítica que tiene conocimiento de su propia existencia y posee las capacidades intelectuales y emocionales de un ser humano. Al igual que la IA con teoría de la mente, la IA con autoconciencia no existe en la actualidad.

Una forma más útil de categorizar ampliamente los tipos de inteligencia artificial es según lo que puede hacer la máquina. Todo lo que llamamos inteligencia artificial actualmente se considera inteligencia “estrecha” porque solo puede realizar un conjunto reducido de acciones en función de su programación y entrenamiento. Por ejemplo, un algoritmo de IA que se use para la clasificación de objetos no podrá realizar procesamiento de lenguaje natural [12].

### 2.1.11. Modelos de entrenamiento de inteligencia artificial

El aprendizaje supervisado es un modelo de aprendizaje automático que asigna una entrada específica a un resultado mediante datos de entrenamiento etiquetados (datos estructurados). En términos simples, para entrenar un algoritmo que reconozca imágenes de gatos, se lo alimenta con imágenes etiquetadas como gatos [12].

El aprendizaje no supervisado es un modelo de aprendizaje automático que aprende patrones en función de datos no etiquetados (datos no estructurados). A diferencia del aprendizaje supervisado, el resultado final no se conoce con anticipación. En cambio, el algoritmo aprende de los datos y los clasifica en grupos en función de diversos atributos. Por ejemplo, el aprendizaje no supervisado es bueno para identificar patrones y realizar modelado descriptivo.

Además del aprendizaje supervisado y no supervisado, suele emplearse un enfoque mixto llamado aprendizaje semi-supervisado, en el que solo se etiquetan algunos de los datos. En el aprendizaje semi-supervisado, se conoce un resultado final, pero el algoritmo debe determinar cómo organizar y estructurar los datos para lograr los resultados deseados.

El aprendizaje por refuerzo es un modelo de aprendizaje automático que se puede describir en términos generales como “aprender haciendo”. Un agente aprende a realizar una tarea definida mediante prueba y error (un bucle de retroalimentación) hasta que su rendimiento está dentro de un rango deseado. El agente recibe un refuerzo positivo cuando realiza la tarea de forma correcta y un refuerzo negativo cuando tiene bajo rendimiento. Un ejemplo de aprendizaje por refuerzo sería enseñarle a una mano robótica a recoger una pelota [12].

### **2.1.12. Redes Neuronales Artificiales**

Un tipo común de modelo de entrenamiento en la IA es una red neuronal artificial, que se basa a grandes rasgos en el cerebro humano.

Una red neuronal es un sistema de neuronas artificiales (a veces llamadas perceptrones), que son nodos de procesamiento que se usan para clasificar y analizar datos. Los datos se ingresan en la primera capa de una red neuronal, y cada perceptrón toma una decisión y, luego, pasa esa información a varios nodos de la siguiente capa. Los modelos de entrenamiento con más de tres capas se denominan redes neuronales profundas o “aprendizaje profundo”. Algunas redes neuronales modernas tienen cientos o miles de capas. La salida de los perceptrones finales permite realizar la tarea impuesta a la red neuronal, como clasificar un objeto o encontrar patrones en los datos.

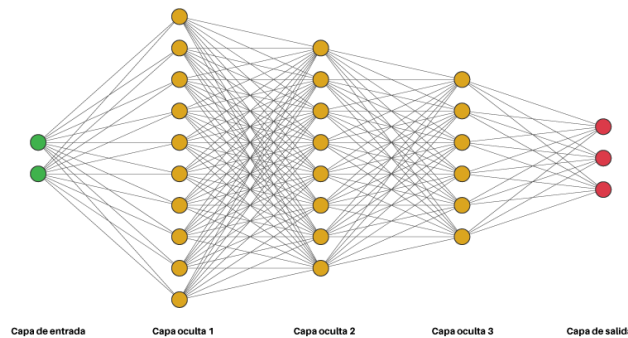


Figura 2.4: Estructura de una red neuronal profunda.

### 2.1.13. Tipos Comunes de redes neuronales artificiales

Las redes neuronales prealimentadas (FF) son una de las formas más antiguas de redes neuronales, ya que los datos fluyen en una dirección a través de capas de neuronas artificiales hasta que se obtiene el resultado. En la actualidad, la mayoría de las redes neuronales prealimentadas se consideran “prealimentadas profundas”, con varias capas (y más de una capa oculta). Las redes neuronales prealimentadas suelen vincularse a un algoritmo de corrección de errores llamado “propagación inversa” que, en términos simples, comienza con el resultado de la red neuronal y realiza el proceso en sentido inverso para llegar al principio, detectando errores para mejorar la exactitud de la red neuronal [12].

Las redes neuronales recurrentes (RNN) difieren de las redes neuronales prealimentadas en que suelen usar datos de series temporales o datos que involucren secuencias. A diferencia de las redes neuronales prealimentadas, que usan ponderaciones en cada nodo de la red, las redes neuronales recurrentes tienen memoria de lo que sucedió en la capa anterior como contingente a la salida de la capa actual. Por ejemplo, cuando se realiza procesamiento de lenguaje natural, las RNN pueden tener en cuenta otras palabras usadas en una oración. Las RNN a menudo se usan para el reconocimiento de voz, la traducción y la generación de descripciones de imágenes [12].

Este tipo de redes neuronales en las que los datos entran por la capa de entrada y se transmiten en una única dirección hacia la capa de salida -sin formar bucles, por ejemplo- son las que hemos llamado Redes Neuronales Prealimentadas o Feedforward Neural Networks en inglés. Un ejemplo de este tipo de redes:

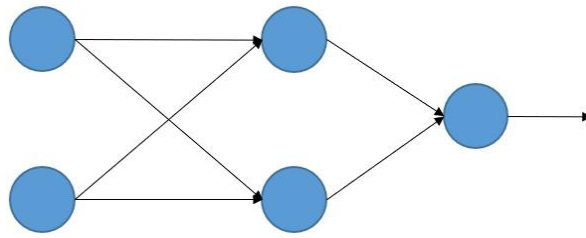


Figura 2.5: La imagen representa una red neuronal prealimentada, uno de los modelos más básicos y utilizados en inteligencia artificial.

Sin embargo, compárese esta arquitectura con la siguiente:

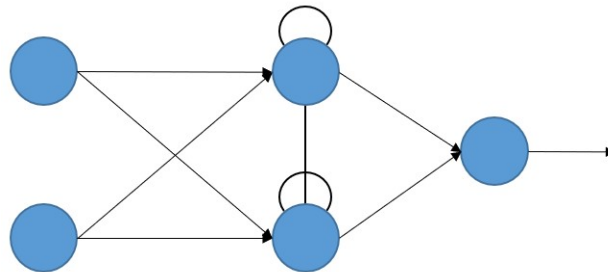


Figura 2.6: Representación de una red neuronal recurrente (RNN), donde las conexiones internas permiten el manejo de secuencias mediante memoria temporal.

La memoria a largo/corto plazo (LSTM) es una forma avanzada de RNN que puede usar memoria para recordar lo que sucedió en capas anteriores. La diferencia entre las RNN y las LSTM es que estas últimas pueden recordar lo que sucedió hace varias capas mediante el uso de celdas de memoria. La LSTM suele usarse para el reconocimiento de voz y la realización de predicciones.

Las redes neuronales convolucionales (CNN) incluyen algunas de las redes neuronales más comunes en la inteligencia artificial moderna. Las CNN suelen usarse en el reconocimiento de imágenes y emplean varias capas distintas (una capa convolucional y, luego, una capa de agrupación) que filtran diferentes partes de una imagen antes de volver a unirla (en la capa completamente conectada).

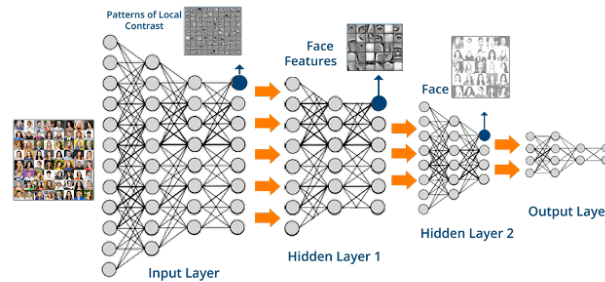


Figura 2.7: La imagen muestra cómo una red neuronal convolucional (CNN) procesa una imagen en distintas capas, extrayendo características progresivas desde patrones simples hasta rostros completos para generar una salida final.

En las redes generativas adversarias (GAN), se usan dos redes neuronales que compiten entre sí en un juego que, en última instancia, mejora la exactitud del resultado. Una red (el generador) crea ejemplos que la otra red (el discriminante) juzga como verdaderos o falsos. Las GAN se han usado para crear imágenes realistas y hasta hacer arte [12].

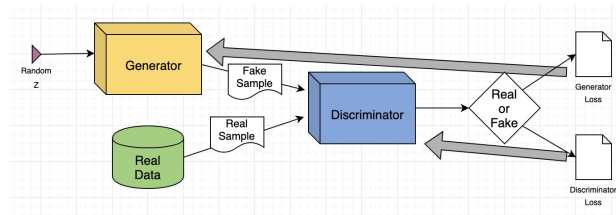


Figura 2.8: La imagen ilustra el funcionamiento de una red generativa adversaria (GAN), donde un generador crea muestras falsas a partir de ruido aleatorio y un discriminador intenta distinguir entre muestras reales y falsas, retroalimentando a ambos modelos para mejorar su rendimiento.

#### 2.1.14. Concepto de Registros Académicos.

Los registros académicos son la recopilación sistemática de información relacionada con el desempeño, progreso y trayectoria académica de un estudiante. Esta información se almacena en diversos formatos (digitales o físicos) y es administrada por instituciones educativas, como escuelas, colegios, universidades, etc. [12].



### Formato Registro de Asistencia Escolar

| REGISTRO DE ASISTENCIA |                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------|
| N° de orden            | APELLIDOS Y NOMBRE                                  |
|                        | Del _____ de _____ al _____ de _____<br>Fecha/ días |
| 1                      |                                                     |
| 2                      |                                                     |
| 3                      |                                                     |
| 4                      |                                                     |
| 5                      |                                                     |
| 6                      |                                                     |
| 7                      |                                                     |
| 8                      |                                                     |
| 9                      |                                                     |
| 10                     |                                                     |

Figura 2.9: La imagen muestra un formato tradicional de registro de asistencia escolar, utilizado por docentes para anotar la presencia diaria de los alumnos a lo largo de un período determinado.

#### 2.1.15. ¿Qué contienen los registros académicos

Los registros académicos pueden incluir:

- **Calificaciones:** Notas obtenidas en cada asignatura y evaluaciones.
- **Asistencia:** Registro de las clases a las que el estudiante ha asistido.
- **Cursos aprobados:** Lista de materias completadas con éxito.
- **Actividades Extracurriculares:** Participación en clubes, deportes, proyectos, etc.
- **Información Personal:** Nombre completo, fecha de nacimiento, dirección, etc.
- **Historial académico:** Transferencias a otras instituciones, cambios de carrera, etc.

#### 2.1.16. ¿Para qué sirven los registros académicos?

Los registros académicos cumplen diversas funciones importantes:

- **Evaluación del desempeño:** Permiten evaluar el progreso académico a lo largo del tiempo.
- **Toma de decisiones:** Sirven de base para tomar decisiones importantes, como la promoción a un nuevo grado, la obtención de títulos o la admisión a programas de estudios superiores.
- **Seguimiento académico:** Facilitan el seguimiento del progreso del estudiante y la identificación de áreas en las que necesita apoyo adicional.

- **Información para terceros:** Se utilizan para proporcionar información a terceros, como universidades, empleadores y agencias gubernamentales.

### 2.1.17. Importancia de los registros académicos.

Los registros académicos son fundamentales para garantizar la transparencia, la equidad y la calidad en el proceso educativo. Además, proporcionan un historial completo del desempeño académico de un estudiante, lo que es de gran utilidad para su futuro personal y profesional [12].

## 2.2. Antecedentes

### 2.2.1. “*Detección facial mediante OpenCV.*”

El trabajo Detección facial mediante OpenCV [13], desarrollado como TFG en la FPUNE, se centra en el diseño e implementación de un software de detección facial como primer paso en el proceso de reconocimiento de rostros. En este proyecto, se realizó un exhaustivo análisis de los sistemas y técnicas de reconocimiento facial más avanzados en el estado del arte, seleccionando aquellos más relevantes para los objetivos del estudio. Proporciona una descripción detallada de las distintas etapas del proceso y su implementación, utilizando la biblioteca OpenCV y la plataforma Java. La principal contribución de este trabajo al proyecto propuesto es el método de detección facial en tiempo real y fuera de línea desde archivos.

### 2.2.2. “*Sistema de examen en línea con reconocimiento facial.*”

El trabajo Sistema de examen en línea con reconocimiento facial [14], desarrollado como parte de un proyecto, se centra en el diseño y desarrollo de un sistema web de detección facial para mitigar intentos de fraude en evaluaciones en línea. Utilizando herramientas de código abierto como OpenCV y la plataforma Java, el sistema verifica la identidad del alumno al inicio y durante toda la evaluación, detectando tanto la ausencia del estudiante como la presencia de más de una persona. Este sistema fue probado y evaluado, mostrando resultados favorables en términos de satisfacción de los usuarios.

### **2.2.3. “*Sistema biométrico de reconocimiento facial utilizando redes neuronales artificiales en Raspberry Pi.*”**

El trabajo Sistema biométrico de reconocimiento facial utilizando redes neuronales artificiales en Raspberry Pi [15], desarrollado en una Raspberry Pi 3, se centra en el diseño e implementación de un sistema biométrico de reconocimiento facial. El sistema emplea una cámara para capturar el rostro y utiliza técnicas de inteligencia artificial y visión por computador para identificar a las personas. Para la detección de rostros, se aplica un clasificador tipo cascada, mientras que las redes neuronales convolucionales (RNC) se utilizan para el entrenamiento y reconocimiento de las imágenes faciales. El objetivo principal de este trabajo es reducir el tiempo de identificación y mejorar la precisión en entornos diversos.

### **2.2.4. “*Prototipo de reconocimiento facial para mejorar el control de asistencia de estudiantes en UNIANDES, Quevedo.*”**

El trabajo Prototipo de reconocimiento facial para mejorar el control de asistencia en UNIANDES – Quevedo [16] tiene como objetivo diseñar un prototipo de reconocimiento facial para optimizar el control de asistencia de estudiantes y la identificación facial en el laboratorio de cómputo. Este prototipo automatizó el proceso de registro de asistencia de docentes y estudiantes mediante el reconocimiento facial, facilitando la tarea con rapidez y exactitud. El sistema funciona colocando al docente frente a la cámara instalada en la parte exterior del laboratorio, activando por reconocimiento facial el dispositivo que abre la puerta, enciende el aire acondicionado y las luces. Posteriormente, los estudiantes se colocan uno por uno frente a la cámara, que detecta sus rostros y los compara con los datos almacenados en la base de datos.

### **2.2.5. “*Registro de asistencia de alumnos por medio de reconocimiento facial utilizando visión artificial*”**

El trabajo Sistema de control de asistencia para alumnos utilizando reconocimiento facial [17] se centra en el desarrollo de un sistema que emplea reconocimiento facial para registrar la asistencia de estudiantes. Implementado con redes neuronales artificiales como HOG y CNN en una Raspberry

Pi 3, este proyecto busca ofrecer una solución eficiente y en tiempo real. Utilizando tecnología de visión artificial, el sistema captura y compara imágenes faciales, proporcionando un control preciso de asistencia. Diseñado para instituciones educativas, este sistema destaca por ser robusto, flexible y por optimizar la gestión de estudiantes, mejorando la eficiencia en el registro de asistencia.

#### **2.2.6. “Reconocimiento facial para la automatización del registro de asistencia a clases”**

El trabajo Sistema piloto de registro automático de asistencia a clases presenciales FRARCA [18] se desarrolló como un sistema basado en técnicas de detección y reconocimiento facial mediante modelos de aprendizaje profundo. Diseñado con una arquitectura modular, integra herramientas como contenedores y el lenguaje de programación Python, junto con los frameworks FastAPI y Django, además de frameworks de Machine Learning como Keras, TensorFlow, PyTorch, OpenCV y MXNet. El proceso de identificación se realiza mediante la extracción y almacenamiento de características faciales en bases de datos, comparando similitudes entre vectores de características (embeddings). Esto permite eliminar la necesidad de reentrenar las redes neuronales convolucionales con cada nuevo alumno, optimizando la eficiencia del sistema.

# Capítulo 3

## Método

Este capítulo tiene como propósito detallar el enfoque metodológico y técnico seguido para el desarrollo del "Sistema de Asistencia Basado en Reconocimiento Facial para la FPUNE". Se presenta la planificación general del proyecto, desde la definición de los requisitos iniciales hasta la validación y evaluación del sistema implementado en un entorno académico real.

Este capítulo constituye un componente fundamental para comprender la implementación técnica del proyecto y validar su efectividad en relación con los objetivos propuestos.

En primer lugar, se describe el enfoque metodológico adoptado, el cual combina técnicas cualitativas y cuantitativas bajo un esquema de investigación aplicada tecnológica, permitiendo así un análisis integral del problema y su solución. Posteriormente, se exponen las fases específicas del proceso de desarrollo, tales como la recolección y preprocesamiento de datos, la selección de algoritmos, el entrenamiento del modelo, y la integración del sistema en un entorno controlado.

### 3.1. Enfoque

Este proyecto se desarrolla como una investigación aplicada tecnológica, enfocada en la creación de un sistema automatizado de control de asistencia mediante el uso de técnicas de reconocimiento facial.

El enfoque de la investigación es mixto, ya que se emplean tanto métodos cualitativos como cuantitativos para garantizar el desarrollo y evaluación del sistema:

- **Cuantitativo:** Se evaluarán datos de rendimiento del sistema, como la precisión del reconocimiento facial y la efectividad en la gestión del re-

gistro de asistencia. Se medirán variables como el número de asistencias registradas correctamente y los errores de identificación.

- **Cualitativo:** Se realizarán entrevistas y pruebas con los usuarios del sistema (docentes y estudiantes), para recoger sus percepciones sobre la facilidad de uso y la eficacia del sistema en la mejora del control de asistencia.

El proyecto tiene un alcance exclusivamente descriptivo, ya que se detallará en profundidad el funcionamiento del sistema de reconocimiento facial para el registro de asistencia. Se abordarán todos los aspectos técnicos y operativos del sistema, proporcionando una comprensión clara de su mecanismo de acción.

Se explicarán de manera detallada los factores que influyen en su efectividad, como la precisión del reconocimiento y la velocidad de procesamiento. También se analizarán las condiciones y requisitos necesarios para su implementación exitosa en la FPUNE. El diseño de la investigación es no experimental y longitudinal, lo que significa que el sistema será implementado y probado durante un semestre académico (a lo largo del año 2025). Este enfoque permitirá observar el desempeño del sistema y realizar ajustes durante el tiempo que se implemente, evaluando su evolución en diferentes momentos del semestre.

Una vez definidos los conceptos clave, se procede a detallar los pasos necesarios para la implementación del proyecto. A continuación, se presentan las etapas que deben seguirse para llevar a cabo el desarrollo del sistema:

- **Definición de los requisitos del proyecto:** Se deben identificar las necesidades y objetivos del sistema, considerando el número de usuarios, la precisión requerida, el entorno de uso (tiempo real o imágenes), y las condiciones como la iluminación y los ángulos faciales.
- **Selección del hardware:** Se deben elegir cámaras con la resolución adecuada, junto con los equipos necesarios para el procesamiento en tiempo real.
- **Recolección de datos:** Se procede a la recopilación de imágenes faciales de los usuarios, asegurando una base de datos diversa con diferentes ángulos, expresiones y condiciones de iluminación.
- **Preprocesamiento de imágenes:** Las imágenes recopiladas deben ser normalizadas, eliminando ruido y ajustando el brillo y el contraste para asegurar una calidad uniforme y consistente.

- **Selección del algoritmo de reconocimiento facial:** Elegir el algoritmo adecuado, como Histogram of Oriented Gradients (HOG), redes neuronales convolucionales (CNN) o modelos avanzados como FaceNet o OpenFace.
- **Entrenamiento del modelo:** Utilizando la base de datos de imágenes preprocesadas, se entrena el modelo para que aprenda a identificar patrones únicos en los rostros, generando “huellas faciales” digitales.
- **Diseño de la base de datos:** Se crea una base de datos para almacenar los embeddings (representaciones vectoriales) de los rostros, permitiendo realizar comparaciones rápidas para verificar identidades.
- **Integración de la cámara y el software:** Se integra el software que captura imágenes en tiempo real, comparándolas con las huellas faciales almacenadas en la base de datos.
- **Validación y pruebas del sistema:** El sistema se somete a pruebas en condiciones reales para validar su rendimiento. Se ajusta el umbral de precisión para minimizar errores en el reconocimiento.
- **Despliegue y mantenimiento:** Finalmente, el sistema es desplegado en el entorno previsto, con un plan de mantenimiento regular y actualizaciones del modelo, incorporando nuevas imágenes para mejorar la precisión.

### 3.1.1. Método utilizado para el desarrollo

El desarrollo sigue una metodología que combina técnicas de ingeniería de software con procesos de desarrollo de sistemas de visión artificial. El proceso se lleva a cabo en las siguientes fases:

#### **Recopilación y Análisis de Requisitos:**

- Entrevistas con el personal clave de la FPUNE para identificar los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.
- Documentación de los métodos actuales de registro de asistencia y determinación de las necesidades del nuevo sistema.
- Definición de los requisitos de hardware (cámaras) y software (algoritmos de reconocimiento facial, bases de datos) necesarios para el desarrollo.

### Diseño del Sistema

- **Arquitectura del sistema:** Se diseña la estructura modular del sistema que incluye los módulos de captura de imagen, procesamiento, reconocimiento facial y registro en la base de datos.
- **Selección de Algoritmos:** Evaluación de distintos algoritmos de reconocimiento facial, como HOG (Histogram of Oriented Gradients) o Redes Neuronales Convolucionales (CNN), para determinar cuál es el más adecuado para las condiciones específicas de la FPUNE.
- **Diseño de la Base de Datos:** Creación del esquema de la base de datos para almacenar las imágenes faciales de los estudiantes y los registros de asistencia.

### Desarrollo del Software

- **Implementación del Algoritmo de Reconocimiento Facial:** Programación y adaptación del algoritmo seleccionado utilizando bibliotecas como OpenCV y frameworks de machine learning (Keras, TensorFlow).
- **Integración de la Base de Datos:** Conexión del sistema de reconocimiento facial con una base de datos que almacene los registros de asistencia y las imágenes faciales.
- **Desarrollo de la Interfaz de Usuario:** Creación de una interfaz intuitiva para que los docentes y administradores puedan acceder al sistema, ver registros y generar reportes.

### Pruebas e Implementación

- **Pruebas en un entorno controlado:** Se realizan pruebas iniciales en un entorno de prueba controlado con un grupo de estudiantes, evaluando la precisión del sistema de reconocimiento facial y la integración con la base de datos.
- **Ajustes y Optimización:** Ajustes del sistema según los resultados obtenidos en las pruebas, optimizando la precisión del reconocimiento en diferentes condiciones de iluminación y ángulos faciales.
- **Pruebas en un aula real:** Implementación piloto en una clase de la FPUNE, donde se monitorea el rendimiento del sistema en un entorno real.



### **Evaluación del Desempeño**

- **Evaluación de resultados:** Comparación de los resultados del sistema con los objetivos planteados. Se revisan métricas como la precisión del reconocimiento, el tiempo de respuesta y la efectividad del registro de asistencia.
- **Documentación y ajustes finales:** Documentación detallada del funcionamiento del sistema, incluyendo las pruebas realizadas y las recomendaciones para la expansión a otras áreas de la FPUNE.

#### **3.1.2. Lista de Tareas**

1. Definir las técnicas y modelos adecuados para el reconocimiento de rostros.
2. Elegir y definir el conjunto de tecnologías necesarias para el desarrollo del sistema.
3. Realizar entrevistas con personal clave para definir los requisitos.
4. Documentar las necesidades funcionales, no funcionales y técnicas del sistema.
5. Programar el software de reconocimiento facial.
6. Integrar la base de datos con el sistema de reconocimiento facial.
7. Evaluar el cumplimiento de los requisitos funcionales del sistema.
8. Documentar los resultados de las pruebas de implementación y ajustes realizados.
9. Comparar los resultados obtenidos con los requisitos y objetivos definidos.
10. Elaborar conclusiones y recomendaciones basadas en el desempeño del sistema.

Tabla 3.1: Cronograma de tareas.

| Tarea                                                        | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov |
|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Definir técnicas y modelos para el reconocimiento de rostros |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Elegir las tecnologías necesarias para el desarrollo         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Realizar entrevistas con personal clave                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Documentar necesidades funcionales, no funcionales           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Programar el software de reconocimiento facial               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Integrar la base de datos                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Evaluar requisitos funcionales                               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Documentar resultados de pruebas                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Comparar resultados con requisitos                           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Elaborar conclusiones                                        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

### 3.1.3. Operacionalización de variables

1. **Algoritmos de reconocimiento facial:** Técnicas y modelos utilizados para identificar y verificar la identidad de una persona mediante el análisis de características faciales. **Estimador:** Precisión de los métodos especificados.
2. **Herramientas tecnológicas:** Conjunto de tecnologías seleccionadas para el desarrollo del sistema de reconocimiento facial, incluyendo software y hardware necesarios. **Estimador:** Compatibilidad y eficiencia de las herramientas seleccionadas según los requisitos del sistema.
3. **Requisitos del sistema:** Características y especificaciones necesarias para desarrollar un sistema de registro de asistencia efectivo en la FPU-NE, incluyendo tanto requisitos funcionales como no funcionales. **Estimador:** Porcentaje de requisitos identificados que cumplen con los objetivos del sistema.
4. **Sistema de reconocimiento facial:** Software desarrollado para captar, analizar y reconocer características faciales con el fin de registrar la asistencia de manera automatizada. **Estimador:** Número de módulos desarrollados e integrados.
5. **Resultados de las pruebas:** Evaluación de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de reconocimiento facial implementado. **Estimador:** Número de requisitos cumplidos tras pruebas.

6. **Resultados del sistema:** Evaluación final del desempeño del sistema de registro de asistencia en términos de su efectividad para cumplir con los objetivos definidos, con recomendaciones para mejoras futuras.  
**Estimador:** Cantidad de objetivos y requisitos cumplidos.

Tabla 3.2: Operacionalización de variables.

| Objetivo específico                                                                               | Tarea                                                                                                                                                                 | Variable                                | Estimador*                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Seleccionar los algoritmos de reconocimiento facial                                               | Definir las técnicas y modelos adecuados para el reconocimiento de rostros                                                                                            | Algoritmos de reconocimiento facial     | Precisión de los métodos especificados                                                         |
| Seleccionar las herramientas tecnológicas para el desarrollo del sistema                          | Elegir y definir el conjunto de tecnologías necesarias para el desarrollo del sistema<br>Elaborar documento de requisitos                                             | Herramientas tecnológicas               | Compatibilidad y eficiencia de las herramientas seleccionadas según los requisitos del sistema |
| Identificar los requisitos para el desarrollo del sistema de registro de asistencia para la FPUNE | Entrevistas con personal clave para definir los requisitos<br>Documentar las necesidades funcionales, no funcionales y técnicas del sistema                           | Requisitos del sistema                  | Porcentaje de requisitos identificados que cumplen con los objetivos del sistema               |
| Desarrollar sistema de reconocimiento facial                                                      | Programación del software de reconocimiento facial<br>Integración de la base de datos con el sistema de reconocimiento facial                                         | Sistema de reconocimiento facial        | Módulos desarrollados e integrados                                                             |
| Realizar pruebas de implementación                                                                | Evaluación del cumplimiento de los requisitos funcionales del sistema<br>Documentación de los resultados de las pruebas de implementación y ajustes realizados        | Requisitos funcionales y no funcionales | Número de requisitos cumplidos tras pruebas                                                    |
| Evaluar resultados obtenidos                                                                      | Comparación de los resultados obtenidos con los requisitos y objetivos definidos<br>Elaboración de conclusiones y recomendaciones basadas en el desempeño del sistema | Resultados del sistema                  | Objetivos y requisitos cumplidos                                                               |

### 3.2. Alcance de la investigación cuantitativa

El alcance de la investigación consiste en una medida de causalidad de la misma, entendida la causalidad como la relación causa efecto existente

entre las variables, siendo el alcance; el grado de identificación de esta relación. La medida de causalidad puede variar dentro de límites de un continuo con varios grados caracterizados, estos grados de alcance bien caracterizados son: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. Las investigaciones exploratorias sirven para preparar el terreno y por lo común anteceden a investigaciones con alcances más profundos. Las investigaciones descriptivas pueden ser base de investigaciones correlacionales, si no explicativas; y así también las investigaciones correlacionales pueden proporcionar información para llevar a cabo investigaciones explicativas. Las investigaciones explicativas explicitan relaciones causa efecto, generan un sentido de entendimiento y son altamente estructurados. Es posible que una investigación se inicie como exploratoria, después puede ser descriptiva, luego correlacional y terminar siendo explicativa. El alcance depende fundamentalmente de dos factores: el estado del conocimiento sobre el problema de investigación, mostrado por la revisión de la literatura, así como la perspectiva que se pretenda dar a la investigación.

### **3.2.1. Alcance exploratorio.**

La medida de este alcance abarca la exploración de problemas generalmente poco conocidos, a veces difíciles de conocer.

### **3.2.2. Alcance descriptivo.**

La medida de este alcance abarca la descripción del fenómeno, situación, contexto o evento; detalla cómo es y cómo se manifiesta. Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes. Describe tendencias de un grupo o población. Es útil para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación.

### **3.2.3. Alcance correlacional.**

La profundidad de este alcance busca establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad, es decir, no analiza relación causal.

Un ejemplo de este alcance es una investigación que busca averiguar cómo se relacionan las calificaciones de los alumnos de un grado, en las asignaturas: Castellano y Matemática.

### 3.2.4. Alcance explicativo.

La profundidad de este alcance busca establecer relaciones entre variables precisando sentido de causalidad, es decir, analiza relación entre causa y efecto entre variables.

Un ejemplo de este alcance es una investigación que busca averiguar la relación entre urbanización y alfabetismo en un país, para ver qué variables macrosociales definen el grado de alfabetización de la población del país.

## 3.3. Diseño

Es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación, generalmente para verificar la hipótesis. La precisión, amplitud y profundidad de la información obtenida varía en función del diseño elegido [1].

En la literatura sobre investigación cuantitativa es posible encontrar diferentes clasificaciones de los diseños; los autores [1] adoptan la siguiente clasificación: investigación experimental e investigación no experimental. A su vez, la primera puede dividirse de acuerdo con las clásicas categorías de Campbell y Stanley (1966) en: preexperimentos, experimentos “puros” y cuasiexperimentos. La investigación no experimental, siempre de acuerdo con [1], se subdivide en diseños transversales y diseños longitudinales.

### **Ejemplo de diseño en una investigación tecnológica formativa.**

Aún más que en la investigación en ciencias básicas, es en la investigación tecnológica donde se puede apreciar la importancia del diseño para obtener un buen producto o servicio. Cabe entonces ilustrarlo con un ejemplo tomado dentro de esta última forma de investigación desde la referencia [?].

### ***Metodología para implementar red de área local. (Local Area Network (LAN))***<sup>1</sup>

Hoy en día, como nunca antes, el ser social necesita estar informado. Para estudiar problemas y tomar decisiones es necesario disponer de datos precisos, en el lugar y en el instante preciso. En gran medida se logra lo anterior con las redes de computadoras, cuyo objetivo fundamental es compartir recursos e información pues ofrecen acceso a servicios universales de datos tales como: bases de datos, correo electrónico, transmisión de archivos y boletines electrónicos; eliminando el desplazamiento de los individuos en

---

<sup>1</sup>Por brevedad, solo se desarrolla la etapa de diseño.

la búsqueda de información y aumentando la capacidad de almacenamiento disponible por cada usuario en un momento determinado.

Un gran porcentaje de las redes de computadoras se usan para la transmisión de información científica siendo una vía rápida y económica de divulgar resultados y de discutir con otros especialistas afines sobre un tema en cuestión. En este trabajo en particular se aborda la metodología a seguir para la implementación de redes de computadoras de área local; las cuales cumplen todos los objetivos planteados a una escala reducida ya que son propiedad de una sola organización (un solo centro administrativo o fabril) abarcando zonas geográficas de algunos kilómetros como máximo. La experiencia en el campo de LANs en el ámbito universitario, donde las mismas se emplean para la gestión administrativa y económica, para la transmisión de información científica y para la enseñanza; ha dejado claro que el diseño, la instalación y puesta a punto de una LAN suele ser un proceso cuidadoso del cual depende en grado sumo que se cumplan los objetivos para los que se invirtió en dicha red.

Para su comprensión el trabajo se divide en cinco partes o etapas:

- Etapa de estudio,
- Etapa de diseño.<sup>2</sup>
- Etapa de elaboración de la solicitud de oferta y selección del vendedor,
- Etapa de instalación y puesta en funcionamiento,
- Etapa de análisis de las prestaciones y evaluación de los resultados.

Una vez concluida la primera etapa y aprobado el presupuesto de la red es necesario realizar la etapa del *diseño* de la LAN para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar la(s) topología(s) y norma(s) de red a emplear,
- Seleccionar el soporte de transmisión a utilizar,
- Analizar la necesidad de emplear técnicas de conectividad,
- Considerar ampliaciones futuras de la red,
- Realizar una evaluación primaria del tráfico,
- Contemplar las necesidades del personal involucrado en la red,

---

<sup>2</sup>Solo se desarrolla esta etapa.

- Modificar, de ser necesario, el flujo de la información y seleccionar el software de aplicación.

*Seleccionar la topología.* Este paso, el cual es dependiente de los resultados del anterior. Las tres topologías más empleadas son: bus, estrella y anillo; mientras que las normas más comunes son: Ethernet, Token Ring y ArcNet. La selección de los aspectos anteriores trae aparejado escoger la velocidad de transmisión, la distancia máxima a emplear, el método de control de acceso al medio, etc. La elección se realiza a partir de la necesidad particular y de un amplio conocimiento de las topologías y normas existentes.

*Seleccionar el Soporte de Transmisión.* Esto está muy relacionado con la norma a emplear y con las características de los puntos a conectar. Es vital realizar una selección adecuada pues una opción equivocada comprometería la eficacia y la velocidad de la transferencia de datos. Para la elección de uno u otro medio de transmisión se debe tomar entre otras cosas las dimensiones de la instalación, el costo, la evolución tecnológica estimada, la facilidad de instalación y el grado de hostilidad electromagnética presente en el entorno.

*Seleccionar el Sistema Operativo de Red (SOR).*

Aunque el SOR (del inglés NOS: Netware Operating System) NetWare predomina en el mundo, éste no es siempre la elección adecuada, debido a sus costos y características. En el mercado existen otros SORs tales como: LAN Manager, LANServer, LANtastic, Vines, LINUX, Windows NT Server, Windows 2000 Server, etc.; los cuales poseen una determinada cuota de mercado. Para seleccionar el SOR adecuado se debe tener en cuenta:

- El nivel de confidencialidad que brinda a los datos,
- Si es del tipo cliente-servidor o de igual a igual,
- Grado de tolerancia a fallos que posee,
- Memoria RAM necesaria en el servidor y en las estaciones de trabajo,
- Facilidades de administración y diagnóstico que brinda,
- Si posee o no sistema de correo electrónico,
- Características de manipulación de colas de impresión.

*Analizar la necesidad de emplear técnicas de conectividad.* Esto estará en función de las dimensiones de la organización, del tráfico a cursar y el tipo de equipamiento a interconectar entre otros aspectos. Es necesario conocer en profundidad dichas técnicas para realizar una adecuada selección entre

repetidores, puentes, ruteadores, compuertas, servidores de acceso, etc. y lograr su correcta ubicación. La mejor solución muchas veces hace uso de más de un tipo de dispositivo de interconexión.

*Considerar ampliaciones futuras de la red.* Aún cuando de forma inmediata no sea necesario extender la red ni conectarse a otros, ésta debe poseer la base para que a partir de ella, y en cualquier momento sea posible una ampliación o llegar a formar parte de otras redes.

*Realizar una evaluación primaria del tráfico.* Aquí debe estimarse el tráfico que circulará en la red y analizar si el mismo no afecta el tiempo de acceso a la información ya otros recursos compartidos. Es importante que una vez instalada y puesta en funcionamiento la LAN se efectúen periódicamente estudios de este tipo.

*Contemplar las necesidades del personal involucrado en la red.* Esto es muy importante pues en última instancia éste será el personal que utilizará la red y por lo tanto deben quedar satisfechas sus necesidades de forma tal que la nueva red sea un elemento que facilite su trabajo.

*Modificar de ser necesario el flujo de información y seleccionar el software de aplicación.* Esto implica la modificación, como última opción, de la manera en que la información circula dentro de la organización y la definición del software de aplicación necesario, ya sea comercial o aquél que se encargará al personal especializado; que conozca las particularidades de la programación en ambiente multiusuario. El software encargado o adquirido debe ser de fácil instalación y aprendizaje. Además se debe velar porque sea posible tener acceso a posteriores actualizaciones y que éstas no sean caras.



# Capítulo 4

## Resultados

Para garantizar resultados precisos durante la evaluación del sistema de asistencia basado en reconocimiento facial, se definió un entorno de pruebas controlado. A continuación, se detallan las características del hardware y software utilizados, así como la versión del sistema y los módulos activados durante las pruebas.

### 4.1. Figuras y Tablas

Tabla 4.1: Componentes de hardware y software utilizados en el sistema

| Elemento                         | Descripción                                                                               |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo de cámara                 | cámara web HD 720p                                                                        |
| Servidor                         | AMD Ryzen 7 7735HS, 16 GB RAM, SSD 512 GB, Windows 11 Home                                |
| Librerías                        | OpenCV,numpy, ultralytics,deepface,tensorflow-cpu==2.13.0,omegaconf                       |
| Lenguaje de programación         | Python 3.8.10                                                                             |
| Versión del sistema desarrollado | v1.0 Beta                                                                                 |
| Módulos activados                | Captura de imagen, Preprocesamiento, Detección, Reconocimiento, Registro en base de datos |

### 4.1.1. Errores detectados y ajustes aplicados

Durante la etapa de pruebas, se identificaron ciertos errores recurrentes en el funcionamiento del sistema, principalmente relacionados con la precisión del reconocimiento facial. A continuación, se presenta una tabla con los tipos de errores detectados, su causa y las acciones de mitigación implementadas para mejorar el desempeño.

Tabla 4.2: Errores frecuentes y acciones de mitigación

| Tipo de error                                    | Causa identificada                                                                  | Ajuste o solución aplicada                                                                         |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Falsos positivos en la identificación facial     | Umbral de similitud fijo (50) no adecuado para la variabilidad de datos por usuario | Se ajustó el umbral dinámicamente según la cantidad de imágenes por usuario y su variación interna |
| Reconocimiento erróneo con poca iluminación      | Capturas de imágenes en condiciones de baja luz o sombras parciales                 | Se incorporó preprocesamiento de imagen (mejora de contraste y normalización)                      |
| Procesamiento lento con gran volumen de usuarios | Comparación secuencial con todos los embeddings registrados                         | Se implementó filtrado previo por clase probable y limitación del número de comparaciones activas  |

Tabla 4.3: Configuración de umbral vs. resultado esperado

| Umbral ( $\text{min\_dist} > ?$ ) | Factor de similitud           | Resultado esperado                      | Notas                                                            |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| $> 1,0$                           | $100 - \text{dist} \times 30$ | Reconocimiento muy estricto             | Muy preciso, pero puede fallar si la luz o ángulo cambia         |
| $> 1,3$                           | $100 - \text{dist} \times 25$ | Recomendado en entornos controlados     | Balance entre precisión y tolerancia                             |
| $> 1,8$                           | $100 - \text{dist} \times 20$ | Reconoce con más flexibilidad           | Acepta diferencias de expresión o iluminación                    |
| $> 3,5$                           | $100 - \text{dist} \times 18$ | Tolerante, puede haber falsos positivos | Útil si los embeddings fueron generados con solo 1 o 2 imágenes  |
| $> 5,0$                           | $100 - \text{dist} \times 15$ | Muy laxo, reconoce casi todo            | Solo útil para pruebas                                           |
| $> 10,0$                          | $100 - \text{dist} \times 10$ | <b>Demasiado permisivo</b>              | Como en su captura: reconoce a cualquiera con similitud muy baja |

#### 4.1.2. Configuraciones aplicadas y resultados obtenidos

##### Configuración 1: Umbral 1.0 y factor 30

```
similarity = max(0, 100 - min_dist * 30)

if min_dist > 1.0:
    identity = "Desconocido"
    similarity = 0

return identity, similarity
```

Figura 4.1: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.

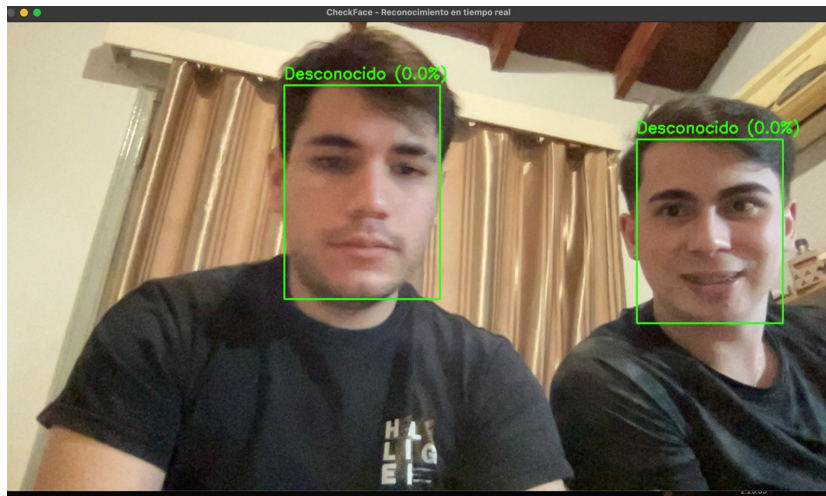


Figura 4.2: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.0 y factor de similitud 30).

### Configuración 2: Umbral 1.3 y factor 25

```
similarity = max(0, 100 - min_dist * 25)

if min_dist > 1.3:
    identity = "Desconocido"
    similarity = 0

return identity, similarity
```

Figura 4.3: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.

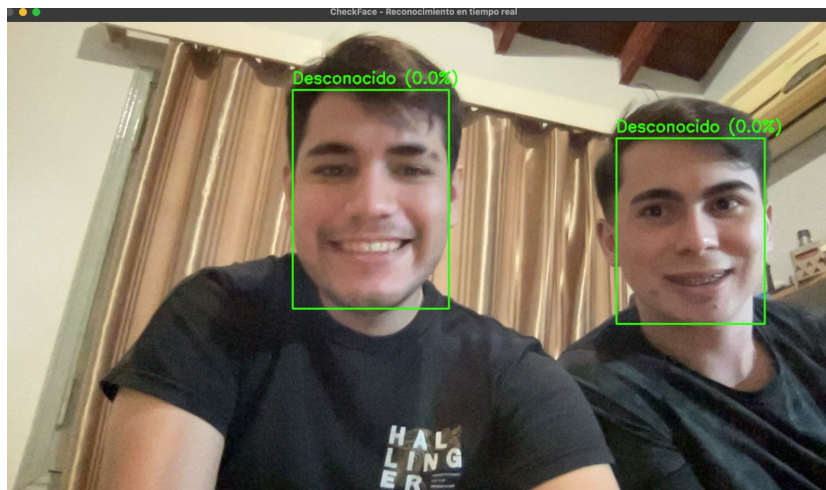


Figura 4.4: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.3 y factor de similitud 25).

### Configuración 3: Umbral 1.8 y factor 20

```
similarity = max(0, 100 - min_dist * 20)

if min_dist > 1.8:
    identity = "Desconocido"
    similarity = 0

return identity, similarity
```

Figura 4.5: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.

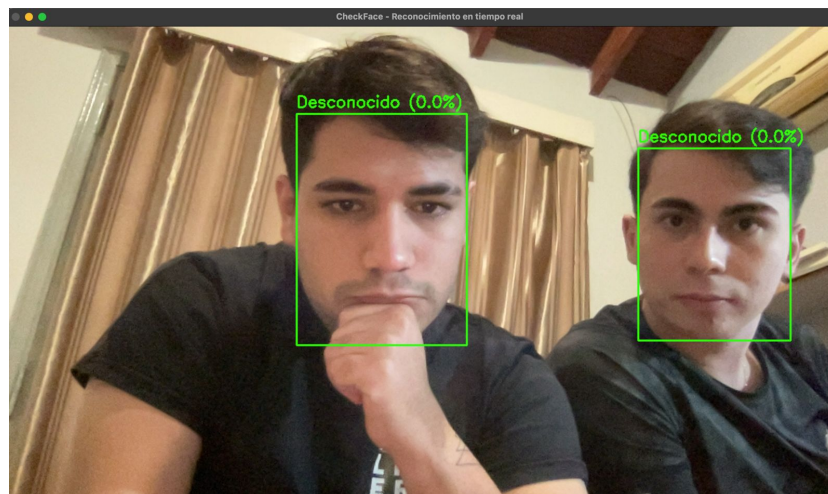


Figura 4.6: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 1.8 y factor de similitud 20).

#### Configuración 4: Umbral 3.5 y factor 18

```
similarity = max(0, 100 -  
    min_dist * 18)  
  
if min_dist > 3.5:  
    identity = "Desconocido"  
    similarity = 0  
  
return identity, similarity
```

Figura 4.7: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.

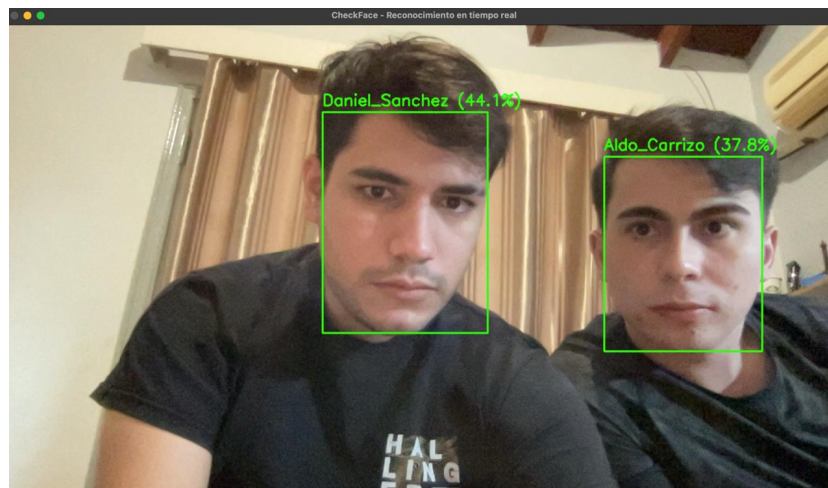


Figura 4.8: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 3.5 y factor de similitud 18).

### Configuración 5: Umbral 5 y factor 15

```
similarity = max(0, 100 -  
    min_dist * 15)  
  
if min_dist > 5:  
    identity = "Desconocido"  
    similarity = 0  
  
return identity, similarity
```

Figura 4.9: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.

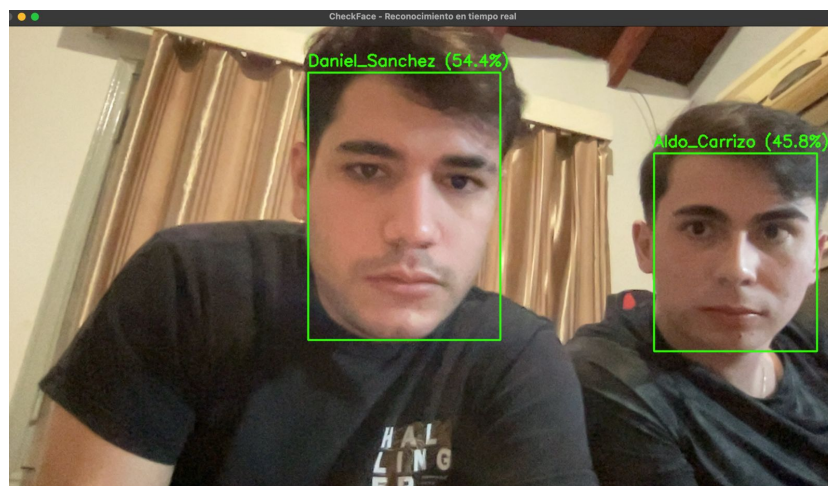


Figura 4.10: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 5 y factor de similitud 15).

### Configuración 6: Umbral 10 y factor 10

```
similarity = max(0, 100 -  
    min_dist * 10)  
  
if min_dist >10:  
    identity = "Desconocido"  
    similarity = 0  
  
return identity, similarity
```

Figura 4.11: Fragmento de código utilizado para configurar el umbral de reconocimiento facial.



## Resultados

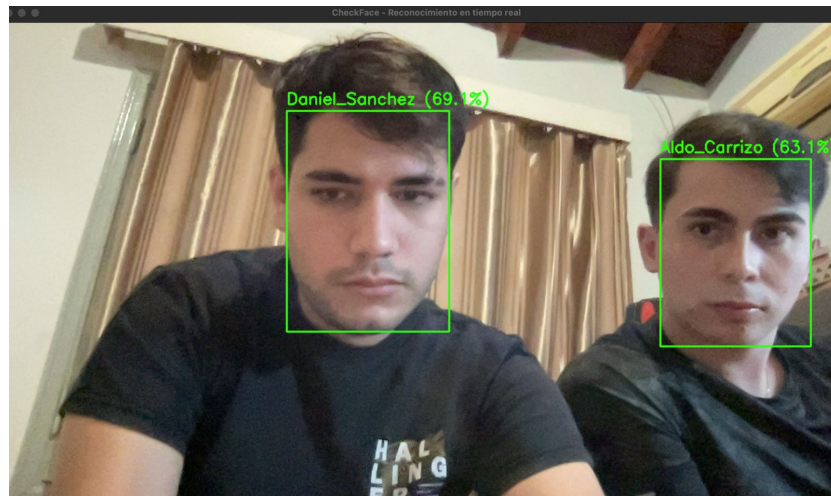


Figura 4.12: Resultados obtenidos aplicando la configuración anterior (umbral = 10 y factor de similitud 10).

### Comparativa de modelos YOLO para detección facial

Se evaluaron diferentes versiones de YOLO adaptadas al reconocimiento facial. Finalmente, se seleccionó YOLOv8n-Face por su buen equilibrio entre precisión, velocidad y soporte de keypoints.

Tabla 4.4: Comparativa de modelos YOLO para detección facial

| Modelo       | mAP@0.5:0.95 | Precisión    | Recall      | Velocidad (ms/img) | Observaciones                                                                 |
|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| YOLOv5n-Face | ~0.31        | ~0.60        | ~0.35       | ~2.1               | Ligero y rápido, pero menos preciso. No soporta keypoints.                    |
| YOLOv5s-Face | ~0.34        | ~0.65        | ~0.37       | ~5.7               | Mejor precisión que v5n, pero aún sin soporte de keypoints.                   |
| YOLOv8n-Face | <b>0.375</b> | <b>0.625</b> | <b>0.43</b> | ~1.0               | Buen balance entre precisión, velocidad y soporte moderno. Soporta keypoints. |
| YOLOv8s-Face | ~0.43        | ~0.70        | ~0.48       | ~1.2               | Alta precisión, ideal si se dispone de más recursos. Soporta keypoints.       |
| YOLOv8m-Face | ~0.46        | ~0.72        | ~0.50       | ~1.8               | Muy preciso, aunque más pesado. Soporta keypoints.                            |

### Evaluación según dificultad (WIDER Face)

La tabla muestra el rendimiento de diferentes modelos YOLO-Face bajo tres niveles de dificultad: fácil, medio y difícil. Estas pruebas se basan en el conjunto de datos WIDER Face, donde las condiciones difíciles incluyen ros-

## Resultados

tros pequeños, parcialmente visibles o con iluminación deficiente. Se observa que YOLOv8-Face presenta mayor robustez en entornos desafiantes.

Tabla 4.5: Rendimiento de modelos YOLO en distintos niveles de dificultad (WIDER Face)

| Modelo       | Easy (%) | Medium (%) | Hard (%) |
|--------------|----------|------------|----------|
| YOLOv5s-Face | 91.20    | 89.10      | 71.30    |
| YOLOv8n-Face | 93.79    | 91.82      | 79.38    |
| YOLOv8s-Face | 95.13    | 93.62      | 82.90    |
| YOLOv8x-Face | 96.33    | 95.16      | 85.80    |

## Comparativa de modelos DeepFace

La tabla muestra distintos modelos compatibles con DeepFace evaluados en cuanto a precisión, velocidad, tamaño, métrica de comparación y sus ventajas y desventajas. Se destaca ArcFace como el más preciso, aunque requiere buen preprocesamiento.

Tabla 4.6: Comparativa de modelos de DeepFace (Parte 1)

| Modelo     | Precisión (LFW) | Velocidad  | Tamaño  | Métrica           |
|------------|-----------------|------------|---------|-------------------|
| ArcFace    | <b>99.83 %</b>  | Media      | ~68 MB  | Cosine / Euclídea |
| VGG-Face   | 98.78 %         | Lenta      | ~500 MB | Cosine            |
| Facenet    | 99.20 %         | Rápida     | ~90 MB  | Euclídea          |
| Facenet512 | 99.25 %         | Media      | ~125 MB | Euclídea          |
| Dlib       | 96.00 %         | Muy rápida | ~5 MB   | Euclídea          |
| SFace      | 99.65 %         | Media      | ~100 MB | Cosine            |

Tabla 4.7: Comparativa de modelos de DeepFace (Parte 2: ventajas y desventajas)

| Modelo     | Ventajas principales                                             | Desventajas                     |
|------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ArcFace    | Muy alta precisión, robusto ante variaciones de edad, pose y luz | Requiere buen preprocesamiento  |
| VGG-Face   | Modelo original de DeepFace, bien entrenado                      | Pesado y lento                  |
| Facenet    | Ligero, buena precisión                                          | Menos preciso que ArcFace       |
| Facenet512 | Mejor versión de Facenet, más robusto                            | Más pesado                      |
| Dlib       | Ultra ligero, ideal para CPU                                     | Muy baja precisión              |
| SFace      | Robusto ante diferentes condiciones                              | Aún en evaluación por comunidad |

# Capítulo 5

## Discusión

En este capítulo, que también suele denominarse “Conclusiones”, se derivan las conclusiones, se explicitan recomendaciones para otros estudios (por ejemplo, sugerir nuevas preguntas, muestras, instrumentos, líneas de investigación, etc.) y se indica lo que sigue y lo que debe hacerse. Se analiza la posibilidad de extender los resultados a una población mayor que la del estudio. Se evalúan las implicaciones, se establece la manera como se respondieron las preguntas de investigación, si se cumplieron o no los objetivos, se relacionan los resultados con los estudios existentes (vincular con el marco teórico y señalar si los resultados coinciden o no con la literatura previa, en qué sí y en qué no). Se reconocen las limitaciones de la investigación, se destaca la importancia y significado de todo el estudio y la forma como encaja en el conocimiento disponible. Se explican los resultados inesperados y cuando no se verificaron las hipótesis es necesario señalar o al menos especular sobre las razones. Recordar que no se deben repetir aquí los resultados sino que se los debe interpretar. La discusión debe redactarse de tal manera que se facilite la toma de decisiones respecto de una teoría, un curso de acción o una problemática. Resumiendo, este capítulo puede ser conceptualmente y dividido en al menos tres secciones, como se ilustra a continuación.

### 5.1. Logros alcanzados

Descripción de los principales descubrimientos obtenidos como producto de la interpretación de los resultados de la investigación.

## **5.2. Solución del problema de investigación**

Aquí se realiza la discusión propiamente dicha, respondiendo al problema planteado e indicando el nivel de satisfacción de la solución lograda.

## **5.3. Sugerencias para futuras investigaciones**

Todo trabajo de investigación, genera invariablemente como producto colateral, otras interrogantes que suelen ameritar seguir con la investigación. Esto es derivado del carácter abierto, *i.e.*, inacabado, del conocimiento científico. En esta sección se acostumbra hacer referencia a posibles seguimientos de la investigación indicando las interrogantes que conforman nuevos problemas pasibles de ser indagados.



## **Anexo A.**

Los apéndices y anexos resultan útiles para describir con mayor profundidad ciertos materiales, sin distraer la lectura del texto principal del reporte o evitar que rompan con el formato de éste. Algunos ejemplos serían el cuestionario utilizado, un código de programa computacional, análisis estadísticos adicionales, la demostración matemática de un teorema complicado, fotografías testimoniales, etc.

# Referencias bibliográficas

- [1] Roberto Hernández, C. Fernández, y M. P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 5th ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2010.