

Reconocimiento automático de rostros para permitir el acceso peatonal al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Automatic face recognition to allow pedestrian access to the Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Antonio-Velázquez, J. A.^{1*} , Gil-Antonio, L.¹ , Alejo-Eleuterio, R.²  (*juan.antonio@tesjo.edu.mx)

Recibido: 16 de octubre de 2023 Aceptado: 6 de enero de 2024

RESUMEN

En la actualidad el acceso seguro de personas a edificios e instalaciones con el uso de sistemas biométricos ha utilizado diferentes técnicas aplicadas a la detección de rostros usando una cámara de video, por lo cual el presente proyecto se basa en reconocer automáticamente los rostros detectados por videocámara y permitir el acceso a alumnado, profesores, administrativos, etc., a las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo). En el presente trabajo se presenta un sistema de detección automática que identifica y autentica rostros de estudiantes o personas que desean ingresar al TESJo. Las etapas se basan en una me-

todología propia, donde una cámara recoge el video y posteriormente se utilizan algoritmos de aprendizaje automático para comparar rasgos faciales con imágenes previamente almacenadas en una base de datos contiene 20 imágenes de rostros, y posteriormente se aplica el algoritmo Local Binary Pattern y al igual que el clasificador Haar Cascade que se basa en la combinación y detección de múltiples características, al final se obtiene un resultado de detección aplicando recall, cercano al 94 % de detección encontrando resultados prometedores.

Palabras clave: *Biometría, Detección de rostros, LBPH, Haar Cascade*

¹Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Carretera Toluca-Atlaconulco km 44.8, Ejido de San Juan y San Agustín, Jocotitlán, Edo. México.

²Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico de Toluca Av Tecnológico 100-s/n, Agrícola, 52149 Metepec, Edo. México.



ABSTRACT

Currently, the safe access of people to buildings and facilities with the use of biometric systems has used different techniques applied to the detection of faces using a video camera, which is why this project is based on automatically recognizing the faces detected by video camera and allow access to students, teachers, administrators, etc., to the facilities of the Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJo). In this work, an automatic detection system is presented that identifies and authenticates faces of students or people who wish to enter the TESJo. The stages are based on its own methodology, where a camera collects the video and later

machine learning algorithms are used to compare facial features with images previously stored in a database containing 20 images of faces, and subsequently the Local Binary algorithm is applied. Pattern and like the Haar Cascade classifier that is based on the combination and detection of multiple features, in the end a detection result is obtained by applying recall, close to 94 % detection, finding promising results.

Keywords: *Biometrics, Face Detection, LBPH, Haar Cascade*

INTRODUCCIÓN

El reconocimiento facial se ha convertido en una tecnología popular y efectiva para el acceso a instituciones escolares. Permite identificar y verificar la identidad de las personas mediante el análisis de características únicas de sus rostros. Al utilizar sistemas de reconocimiento facial para el acceso escolar, se pueden lograr varios beneficios, como una mayor seguridad, mayor eficiencia y comodidad para estudiantes, personal y visitantes. El reconocimiento facial funciona mediante la captura de imágenes faciales y la comparación de estas imágenes con una base de datos de rostros previamente registrados. Para utilizar el reconocimiento facial, se requiere registrar previamente los rostros de las personas autorizadas. Esto se realiza mediante la captura de imágenes faciales de alta calidad y su almacenamiento en una base de datos segura. Una vez registrados, se extraen características distintivas de los rostros, como la forma de los ojos, la nariz y la boca. Es importante garantizar la seguridad y la privacidad al utilizar sistemas de reconocimiento facial. Se deben implementar medidas para proteger los datos faciales almacenados, como el cifrado y el acceso restringido a la base de datos. Además, se deben seguir las regulaciones y políticas de privacidad relevantes para asegurar el uso adecuado de la información personal. El propósito de este trabajo es mejorar el acceso de todo el personal (alumnado, profesorado y administrativos), agilizando el proceso de entrada a las 7:00 hrs. y también a las 13:00 hrs. ya que son los horarios de entrada principal y se genera tráfico en el acceso con torniquetes.

De lo anterior se puede decir que el uso de la tecnología basada en biometría, ha tenido grandes avances y esto no sólo en la manera en cómo se usa, sino que también en la manera en la que se estudia y sobre

todo en cómo se usa para el acceso a las instituciones, ya que con la innovación se ha podido desarrollar un servicio tecnológico en la construcción de Smart campus, como se puede leer en [1]. Este servicio permite a la escuela tener control de la salida de los dormitorios de los estudiantes, esto a través del uso de la tecnología del reconocimiento facial, destacando que esta tecnología mejorará la eficiencia de la gestión del campus, mejorando no sólo en estos aspectos sino también haciendo más eficiente el trabajo de los profesores. Por otro lado, en [2], explica el desarrollo de un prototipo con la capacidad de realizar el control de acceso, control de luces, climatización interna de la edificación donde sea implementada mediante el reconocimiento facial, utilizando tecnologías OpenSource para obtener una viabilidad económica donde sea implementado el sistema. Por su parte en [3], mencionan que cada vez las nuevas tecnologías se han extendido y se usan de manera más eficiente en la seguridad para el acceso a edificios, y por eso se utilizan instrumentos como los basados en la biometría, que permiten identificar a una persona a través de parámetros fisiológicos. Se basan en el reconocimiento facial a través de parámetros que tiene el rostro. Sin embargo, se realiza un estudio de las implicaciones éticas que se tendrían en el reconocimiento facial dependiendo de las normas de cada país, para permitir videogravar el rostro de una persona. Se hace mención en [4], que debido a la pandemia ocasionada por el covid-19 las personas tuvieron que utilizar cubre bocas, lo cual era un problema al momento de utilizar los sistemas de reconocimiento facial en las personas, ya que su rostro era cubierto por la mascarilla, por ello se realizó la investigación que consta de la arquitectura MobileNetV2 y el detector de rostros de OpenCv que trabajan por medio de fotografías e identifica a personas incluso si llevan cubre bocas. De este modo se utiliza el entrenamiento del modelo de reconocimiento facial por medio 13,359 imágenes de las cuales el 52,9 % son imágenes con mascarilla y 47,1 % son imágenes sin mascarilla, aun así, de este modo hay más precisión cuando las personas no llevan mascarilla. De igual manera [5], se menciona que OpenCV es una herramienta para el reconocimiento facial, la detección y el reconocimiento de rostros ya que el reconocimiento facial es un entorno en tiempo real que tiene un área emocionante y un desafío que crece rápidamente, el análisis de componentes clave (PCA) es un método estadístico bajo el amplio título de análisis factorial y su objetivo de la PCA es reducir la gran cantidad de almacenamiento de datos al tamaño del espacio de características que se requiere para representar los datos económicamente, construyó un sistema de reconocimiento facial en tiempo real basado en una cámara y establezco un algoritmo mediante el desarrollo de programación en OpenCV. De las anteriores investigaciones se puede mencionar que actualmente el uso de las técnicas de visión artificial es útil para el reconocimiento automático de rostros, pero también contiene aristas que pueden hacer que la detección no sea correcta como el uso de anteojos, cubrebocas, etc; así como otras problemáticas como la iluminación y la distancia de detección.

Con el desarrollo de la tecnología en las escuelas, el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán necesita de los avances tecnológicos con relación al acceso del alumnado, profesorado, administrativos y

visitantes a las instalaciones del plantel, es por eso que este trabajo da a conocer un sistema automático de reconocimiento facial que ayude a reconocer a las personas y que posteriormente, si fuera posible, dar acceso a las instalaciones y con esto prevenir problemas de que personas ajenas entren, y quienes en años anteriores habían ocasionado robos de equipos de cómputo, de equipos de laboratorio, entre otros problemas.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Algoritmo LBP

Local Binary Pattern (LBP) [6], es un algoritmo utilizado en el reconocimiento de patrones y el análisis de imágenes. Se utiliza comúnmente en el procesamiento de imágenes para describir la textura y la apariencia local de una imagen. El algoritmo LBP opera a nivel de píxeles y se basa en la comparación de los valores de intensidad de un píxel central con los valores de intensidad de sus píxeles vecinos.

$$pixel\ central = I(x_c, y_c)$$

Donde $I(x_c, y_c)$, representa el valor de intensidad del píxel central en las coordenadas (x_c, y_c)

$$pixel\ vecino = I(x_c, y_c)$$

$$LBP_{P,R} = \sum_{p=0}^n s(g_p - g_c) 2^p, \quad \text{Bit} = \begin{cases} 1, & \text{si pixel vecino} \geq \text{Pixel central,} \\ 0, & \text{si el pixel vecino} < \text{Pixel central} \end{cases} \quad (1)$$

la derivación de la Ec. (1) se demuestra utilizando el ejemplo mencionado anteriormente. Cabe destacar que la función $s(x)$ se utiliza para comparar la diferencia entre el valor del píxel actualmente evaluado y el píxel central, si esta diferencia es mayor o igual a cero, la función devuelve un valor de 1. Sin embargo, si la diferencia es negativa o, en otras palabras, inferior a cero, la función devuelve el valor 0.

Finalmente, se concatenan los bits generados para formar el patrón binario del píxel central. Entonces el primer paso computacional del algoritmo LBPH, consiste en la generación del patrón binario mediante la operación de LBP. Se comparan los valores de intensidad del píxel central con los valores de intensidad de sus vecinos para obtener un patrón binario que representa la textura local del píxel.

Continuando con el análisis de los histogramas de patrones binarios locales (LBPH), el primer paso consiste en obtener un inventario completo de los patrones binarios locales. Posteriormente, cada patrón se convierte metódicamente en un número decimal mediante la transición de una representación binaria a

una decimal. Finalmente, se genera un histograma a partir de todos los valores decimales obtenidos. Para una representación visual, ver Figura 1.

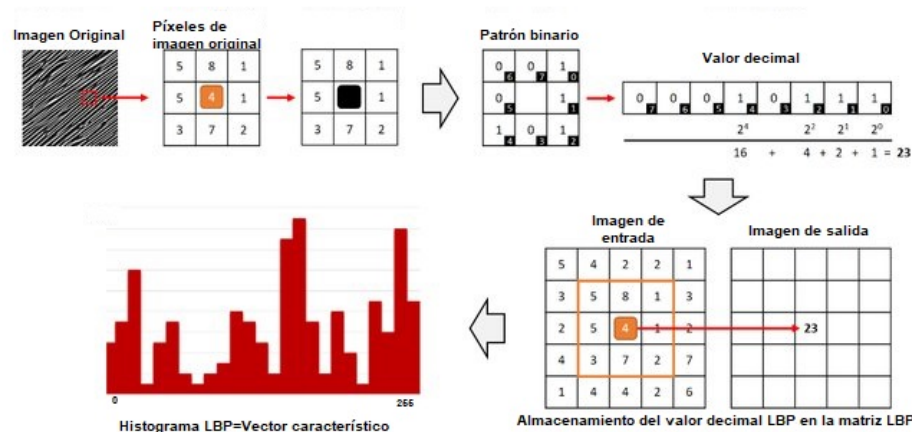


FIGURA 1. Fases en la detección de características con el algoritmo LBP.

El histograma final se crea para cada cara en el conjunto de datos de entrenamiento. Eso significa que, si había 100 imágenes en el conjunto de datos de entrenamiento, LBPH extraerá 100 histogramas después del entrenamiento y los almacenará para su posterior reconocimiento.

Clasificador Haar Cascade

El clasificador Haar Cascade fue propuesta por Viola y Jones en 2001 [7], y se basa en la combinación de múltiples características Haar para la detección de objetos. Utiliza un conjunto de clasificadores en cascada, donde cada clasificador es una combinación de características Haar ponderadas. Haar Cascade ha demostrado ser eficaz en la detección de objetos en imágenes. Su enfoque basado en características Haar y el uso de clasificadores en cascada permite una detección rápida y precisa de objetos en tiempo real.

• Una representación general del clasificador Haar Cascade

El clasificador Haar Cascade es un algoritmo de código abierto que hace una clasificación entre imágenes con un objeto (es decir, cara) e imágenes sin objeto (es decir, sin caras). Inicialmente, se han dado a este clasificador varios cientos de imágenes con rostros y varios cientos de imágenes sin rostros. Este clasificador se entrenó aplicando métodos de aprendizaje automático como las redes neuronales para reconocer rostros humanos. Haar Features extrae de esas imágenes las características esenciales y las almacena en un archivo XML.

• ¿Qué son las características de Haar y cómo se extraen?

Básicamente, para la detección de rostros, el clasificador busca los rasgos más relevantes de la cara, como

los ojos, la nariz, los labios, la frente, las cejas, porque, aunque las personas tienen diferentes gestos del rostro, estos rasgos se encuentran en posiciones similares en la cara (ver Figura 2).

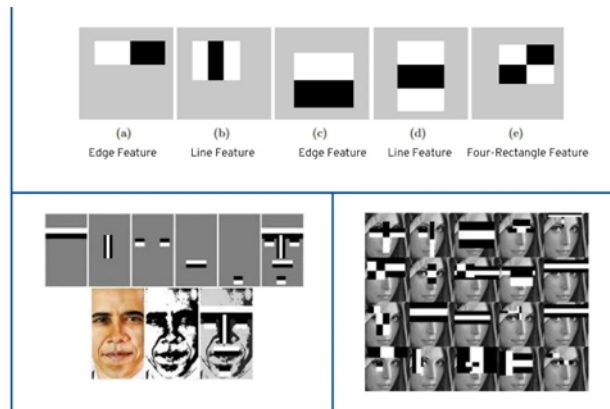


FIGURA 2. Representación de las etapas en la extracción de características del rostro, imagen tomada de [8].

Las características obtenidas de Haar Cascade, son píxeles blancos y negros del rostro. Además, que la imagen en escala de grises de una cara no tiene píxeles completamente blancos y negros, pero aquí estamos considerando un caso ideal en el que los píxeles blancos son más claros y los píxeles negros son más oscuros, como el ejemplo de la Figura 2, la ceja contiene píxeles más oscuros y la frente contiene píxeles más claros, aplicándose del mismo modo a los ojos, la nariz y los labios.

• *Cómo se realiza la comparación*

Después, se proporciona una nueva imagen de entrada al clasificador, compara las características de Haar almacenadas en el archivo XML y las aplica a la imagen de entrada. Si pasa por todas las etapas de la comparación de características Haar, entonces es una cara, de lo contrario no (ver Figura 3).

DESARROLLO DEL TRABAJO

El reconocimiento facial es una tecnología capaz de identificar o verificar a un rostro a través de una imagen, vídeo o cualquier elemento visual de un rostro, la cual se muestra en la Figura 4. Generalmente, esta identificación implica ciertos procesos para poder llegar a un reconocimiento facial correcto, para eso se muestran los siguientes pasos:

Creación de la base de datos

Para la obtención de la base de datos, se lleva a cabo la recolección de imágenes, dicha recolección toma en cuenta los factores de iluminación controlada y distancia de la cámara, la pose que se eligió fue de frente ya que con esto se obtienen los rasgos esenciales del rostro, y posterior a esto se procesa un video o una transmisión en tiempo real, se detectan los rostros en cada fotograma utilizando el clasificador

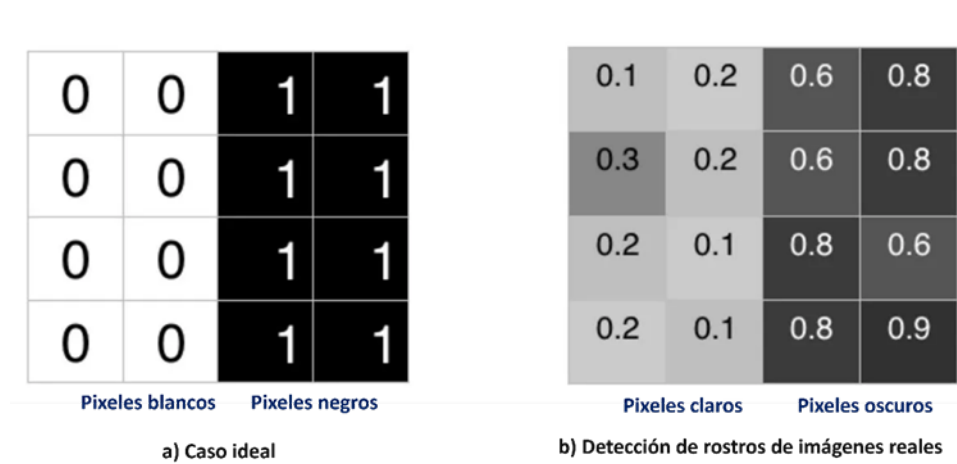


FIGURA 3. *Intensidades de píxeles para un caso ideal y para una imagen.*

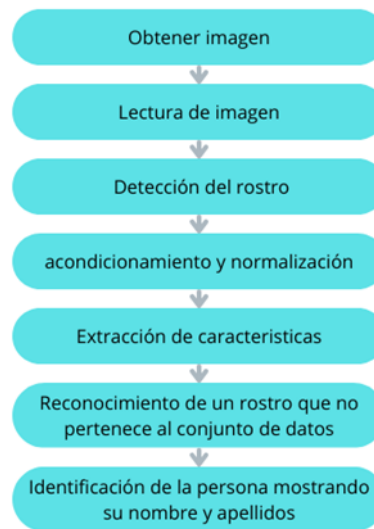


FIGURA 4. *Etapas definidas para usar en la detección de rostros.*

Haar Cascade y se guardan las imágenes de los rostros detectados en un directorio específico para cada persona, como se muestra en la Figura 5. Esto permite crear una base de datos de imágenes de rostros para su posterior uso en la aplicación de reconocimiento facial.

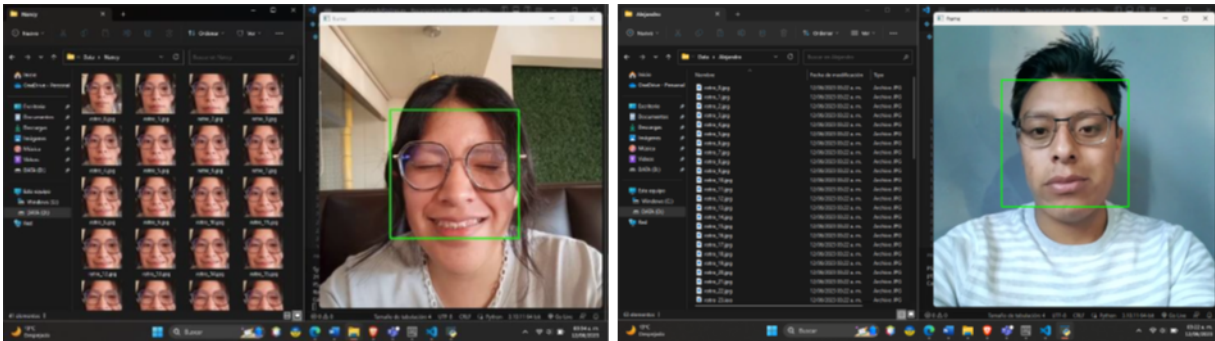


FIGURA 5. *Etiquetado del conjunto de imágenes que contienen los rostros de cada alumno a ser detectado.*

Cabe mencionar que estas técnicas no usan un etiquetado previo como en otras técnicas usadas en detección de rostros, sino que en esta técnica se separan las imágenes de entrenamiento las cuales deben estar almacenadas con el nombre de archivo rostro, al aplicarle la técnica de Haar Cascade a cada archivo se genera un archivo XML, que almacena todas las características de detección del rostro de cada persona.

Posteriormente se utiliza el algoritmo Local Binary Pattern, la utilización de un algoritmo de reconocimiento facial es necesario para identificar el rostro de un individuo. El rendimiento de este algoritmo es conocido por su capacidad para reconocer los rasgos faciales desde la perspectiva frontal y lateral. Open CV también incorpora dos modelos adicionales, EigenFace y FisherFace, que adoptan un enfoque holístico para facilitar la identificación. La información se ve como un vector dentro de un espacio de alta dimensión, el LBPH evita esto considerando únicamente las características locales de un objeto, en lugar de examinar la imagen en su totalidad como un vector de gran dimensión, esta forma de extracción de las características produce implícitamente una dimensionalidad reducida.

La base de este enfoque se basa en el operador de patrones binarios locales (LBP), que se basa en el análisis de texturas 2D. Después de realizado el entrenamiento, se introduce un nuevo video en tiempo real que debe reconocer a la persona a la que pertenece el rostro. Las etiquetas permitirán al sistema reconocer que las imágenes pertenecen a personas diferentes. Al cargar las imágenes de rostros de diferentes personas desde un directorio, asigna etiquetas a cada imagen y entrena un reconocedor de rostros utilizando el algoritmo LBPH. Luego, se guarda el modelo entrenado en un archivo XML, como se muestra en la Figura 6.

Características del hardware



FIGURA 6. *Generación del archivo XML que contiene las características de cada rostro etiquetado.*

En las fases de recolección y entrenamiento, el sistema se ejecutó en una PC de escritorio la cual cuenta con las siguientes características:

CPU: Xeon E5-2665 a 2.40 GHz con 8 hilos y 16 núcleos.

RAM: 8gb Quad Channel DDR3 a 1333Mhz.

Almacenamiento: Raid 0 con 2 SSD SATA3.

GPU: Radeon RX 560 4 Gb.

OS: Windows 11.

Cámara: 2 Mp a 720p

Reconocimiento facial

El reconocimiento facial en tiempo real en video usa el algoritmo LBPH, mostrando el nombre de las personas reconocidas, como se muestra en la Figura 7. Cabe mencionar que en las pruebas el sistema sólo detecta a aquellos rostros que se encuentran en el dataset.

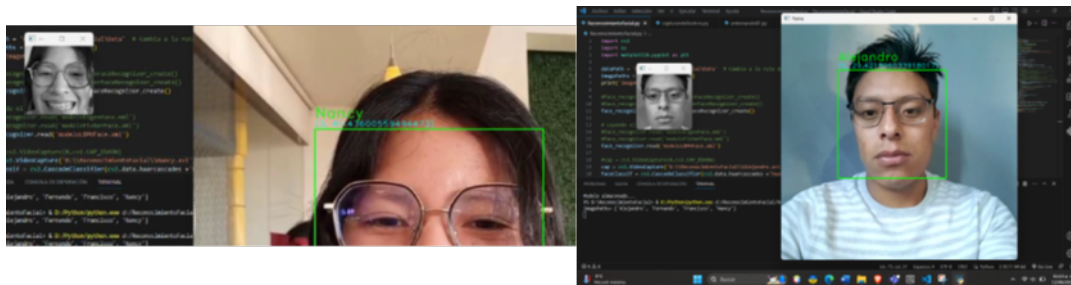


FIGURA 7. *Resultados de la detección de cada rostro del alumnado del salón N10.*

RESULTADOS

El Recall es una métrica utilizada en problemas de clasificación para evaluar la capacidad de un modelo para identificar correctamente los elementos positivos de una clase. El Recall se define como la proporción de elementos positivos que un modelo clasifica correctamente respecto al total de elementos positivos presentes en el conjunto de datos. Se calcula utilizando la Ec. (2):

$$Recall = \frac{Verdaderos\ positivos}{Verdaderos\ positivos + Falsos\ negativos} \quad (2)$$

Donde:

Verdaderos positivos (VP) representa la cantidad de elementos positivos que el modelo clasifica correctamente.

Falsos negativos (FN) representa la cantidad de elementos positivos que el modelo clasifica incorrectamente como negativos.

En este proyecto se analizaron 20 rostros del alumnado del grupo ic-0703 de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales, los cuales al ser detectados no solamente aparece el rostro, sino también el nombre del alumno (ver Tabla 1 y Figura 8).

Tabla 1. Alumnos detectados y no detectados.

Número de muestra	Alumno detectado	Alumno no detectado	Total
Predicted Alumno detectado	VP=18	FP=1	19
Predicted Alumno no detectado	FN=1	VN=0	1
TOTAL	20	1	20

$$Recall = \frac{18}{18 + 1} = 0,94$$

Por su parte la precisión es el ratio o porcentaje de clasificaciones correctas del clasificador, en otras palabras, todo lo que el clasificador clasifica como positivo, correcta o incorrectamente (TP + FP), lo cual es la ratio de clasificaciones correctas. A continuación, con base en la Ec. (3) se muestra el cálculo de la gráfica de precisión (Figura 9).

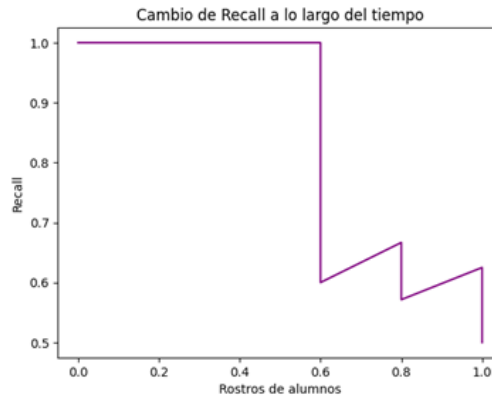


FIGURA 8. Cambio de Recall a lo largo del tiempo.

$$Precision = \frac{Verdaderos\ positivos}{Verdaderos\ positivos + Falsos\ positivos} \quad (3)$$

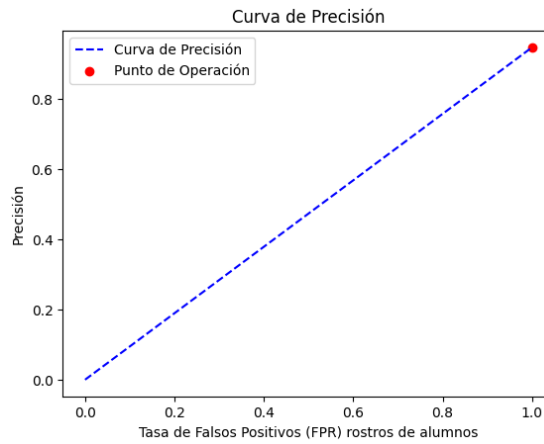


FIGURA 9. Gráfica de precisión.

$$Precision = \frac{18}{18 + 1} = 0,947$$

Posteriormente, se muestra una gráfica de pastel (Figura 10) que proporciona una visualización de la proporción de rostros detectados correctamente y rostros no detectados. Los rostros detectados correctamente se muestran en verde, mientras que los rostros no detectados se muestran en rojo.

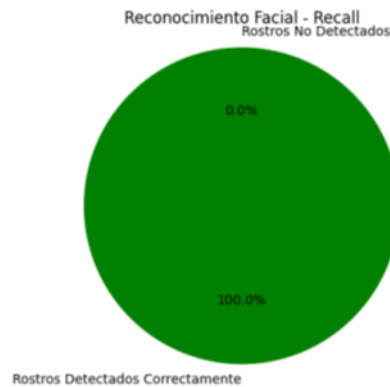


FIGURA 10. *Rostros detectados.*

CONCLUSIONES

El avance de reconocimiento facial para el control de acceso en el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (TESJO) ha sido favorable. Los resultados obtenidos demuestran que el sistema ha logrado detectar y reconocer correctamente los rostros de las personas, proponiendo mejorar significativamente la eficiencia y reconocimiento de rostros que hacen de manera visual los vigilantes del Tecnológico y sobre todo verificar el acceso a una cantidad de 3000 alumnos del turno matutino y aproximadamente 2000 alumnos del turno vespertino y seguridad en comparación con los métodos de control de acceso obsoletos utilizados actualmente.

El uso de métricas como el Recall y precisión han permitido evaluar el desempeño del sistema y verificar que ha sido capaz de detectar y clasificar correctamente una cantidad de rostros en el conjunto de datos utilizado. Esto indica que el sistema es confiable y preciso en la identificación de las personas autorizadas para acceder a la institución.

Los resultados favorables obtenidos respaldan la elección del algoritmo LBP y del clasificador Haar Cascade para el reconocimiento facial en este proyecto. Estos algoritmos han demostrado ser eficaces y rápidos en la detección y clasificación de rostros, lo que ha contribuido al éxito del sistema implementado.

El sistema de reconocimiento facial ha demostrado ser una solución innovadora y eficiente para mejorar el control de acceso en el TESJO. Los resultados favorables obtenidos respaldan la implementación de esta tecnología en la institución y demuestran su capacidad para garantizar la seguridad y eficiencia en el acceso a las instalaciones

REFERENCIAS

- [1] R. Rusdi, J. F., Kodong, F. R., Indrajit, R. E., Sofyan, H., Marco, “Student attendance using face recognition technology,” in *2020 2nd Int. Conf. Cybern. Intell. Syst.*, vol. 2, 2020, pp. 1–4.
- [2] W. A. Chancay Solís, D. S., Morla Sánchez, “Diseño de un sistema de seguridad con control de luces, climatización y reconocimiento facial para control de acceso a edificios utilizando tecnología open source,” Ph.D. dissertation, Univ. Guayaquil. Fac. Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera Ing. en Netw. y Telecomunicaciones, 2022.
- [3] C. D. Jaramillo, “Utilización del sistema de reconocimiento facial para preservar la seguridad ciudadana,” vol. 9, pp. 20–37, 2021.
- [4] J. Talahua, J. S., Buele, J., Calvopiña, P., Varela-Aldás, “Facial recognition system for people with and without face mask in times of the covid-19 pandemic,” vol. 13, no. 12, 2021.
- [5] S. Khan, M., Chakraborty, S., Astya, R., Khepra, “Face detection and recognition using opencv,” in *Int. Conf. Comput. Commun. Intell. Syst.*, 2019, pp. 116–119.
- [6] H. M. E. Kaplan Kaplan, Ylmaz Kaya, Melih Kuncan, “Brain tumor classification using modified local binary patterns (lbp) feature extraction methods,” vol. 139, no. 109696, 2020.
- [7] I. Rahmad, C., Asmara, R. A., Putra, D. R. H., Dharma, I., Darmono, H., “Comparison of viola-jones haar cascade classifier and histogram of oriented gradients (hog) for face detection,” in *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 732, no. 1, 2020, p. 012038.
- [8] R. Ranu, “Terminologies used in face detection with haar cascade classifier open cv,” <https://ai.plainenglish.io/terminologies-used-in-face-detection-with-haar-cascade-classifier-open-cv-6346c5c926c>.