



Prototipo funcional de software de reconocimiento biométrico de huellas dactilares para aerolíneas

Functional Prototype of Biometric Fingerprint Recognition Software for Airlines

Víctor Daniel Gil Vera¹, Jean Carlos López-Tavera²

Tipo de Artículo: Investigación.

Recibido: 11/05/2025. **Aprobado:** 15/09/2025. **Publicado:** 12/12/2025

Resumen: La identificación de personas con huellas dactilares es uno de los métodos más seguros y confiables que existen en la actualidad. Aunque esta tecnología ha sido ampliamente utilizada en otros contextos como la banca, la telefonía móvil y el control de acceso, su adopción en procesos aeroportuarios colombianos aún es limitada. Este trabajo presenta el desarrollo de un prototipo de software biométrico para el reconocimiento y registro de pasajeros de aerolíneas, cuya novedad radica en la integración de algoritmos de procesamiento en C++, una interfaz gráfica desarrollada en C#/NET y una base de datos en SQL Server, optimi-

zados para escenarios de *check-in* y abordaje. El prototipo demostró un funcionamiento eficiente en la autenticación biométrica, logrando una identificación rápida y precisa que contribuye a reducir los tiempos de atención, eliminar la dependencia de documentos físicos y fortalecer la seguridad frente a riesgos de suplantación. Además, la arquitectura modular y el uso de metodologías ágiles (*Scrum*) permiten la escalabilidad del sistema hacia la incorporación de nuevas tecnologías biométricas y su despliegue en entornos en la nube, ofreciendo una solución adaptable a las necesidades operativas cambiantes del sector aeronáutico.

¹ Autor correspondiente: Víctor Daniel Gil Vera. Mayor título: Doctor en Ingeniería de Sistemas. Filiación Institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: victor.gilve@amigo.edu.co ORCID: 0000-0003-3895-4822

² Autor correspondiente: Jean Carlo López Tavera. Mayor título: Ingeniero de Sistemas. Filiación Institucional: Universidad Católica Luis Amigó. País: Colombia, Ciudad: Medellín. Correo electrónico: jean.lopeztav@amigo.edu.co

Palabras clave: Biometría; check-In; marco de trabajo; product Backlog; Scrum

Abstract: Fingerprint identification is one of the most secure and reliable methods currently available. Although this technology has been widely used in other contexts such as banking, mobile telephony and access control, its adoption in Colombian airport processes is still limited. This work presents the development of a biometric software prototype for airline passenger recognition and registration, whose novelty lies in the integration of processing algorithms in C++ with a graphical interface in C#/NET and a database in SQL Server, optimized for check-in and boarding scenarios. The prototype demonstrated efficient operation in biometric authentication, achieving fast and accurate identification that contributes to reducing service times, eliminating the need for physical documents, and improving security against impersonation risks. In addition, the modular architecture and the use of agile methodologies (Scrum) enable the scalability of the system to incorporate new biometric technologies and deploy it in cloud environments, providing an adaptable solution to the changing operational needs of the aeronautical sector.

Keywords: Biometric; check-in; framework; product Backlog; Scrum

I. Introducción

La suplantación de identidad es un delito que se comete con frecuencia en los aeropuertos del mundo. Pasaportes y visados falsos son diseñados y creados por personas inescrupulosas para sujetos que desean evadir la ley, quienes pagan altas sumas de dinero por este servicio ilegal, un delito que puede generar hasta tres años de prisión, dependiendo de la legislación del país en el cual se cometa [1]. La huella dactilar como método de verificación en los sistemas biométricos es uno de los más usados debido a su alto índice de seguridad, ya que cada persona tiene patrones únicos y no existen huellas digitales iguales [2]. Debido a las características de seguridad con las que cuenta la huella dactilar, esta se ha conver-

tido en una herramienta para la identificación de personal, usuarios o clientes en empresas, bancos, compañías de tecnología, entre otras. Gracias a esto, es posible brindar a los usuarios servicios ágiles, prácticos y seguros [2].

Este trabajo presenta el diseño de un prototipo de software biométrico para optimizar los procesos de check-in y abordaje, y reducir los tiempos de atención y espera en aeropuertos, lo que podría beneficiar a las aerolíneas. El prototipo de software desarrollado tiene como objetivo simplificar estos procesos mediante el uso de tecnología biométrica, aportando un plus de seguridad, ya que el sistema que actualmente emplean las aerolíneas colombianas para el proceso de check-in y abordaje requiere la generación de tiquetes impresos, códigos QR, entre otros, que pueden ralentizar el proceso de abordaje y generar costos adicionales y tiempo a los usuarios y a las aerolíneas.

El proceso de check-in en aerolíneas colombianas es un proceso que toma tiempo, especialmente en vuelos internacionales en los cuales las personas deben estar entre dos y tres horas antes en el aeropuerto para poder verificar la documentación (pasaporte, visa, documentos de identificación), equipaje de mano y en bodega, y demás procesos de seguridad establecidos por las autoridades migratorias [3]. Por otra parte, no todas las aerolíneas en Colombia cuentan con sistemas de seguridad para evitar suplantación en documentos de identidad, en ocasiones la intuición es lo único con lo que cuentan los empleados de las aerolíneas y el personal de seguridad privada del aeropuerto para detectar posibles irregularidades en los documentos [4]. Sumado a lo anterior, el aeropuerto es también un espacio donde ocurren muchas transacciones económicas; restaurantes, cafeterías, tiendas de regalo, tanto antes como después del check-in.

En Colombia, la seguridad se ve aún más vulnerada con el nuevo sistema de check-in virtual de algunas aerolíneas que realizan vuelos nacionales. En este modelo, el cual el pasajero ingresa directamente a sala de espera si no requiere facturar equipaje en bodega, solo se realiza un control rápido al momento del abordaje, mediante la verificación

del tiquete impreso o del código QR del pasajero y del documento de identificación, sin efectuar ningún tipo de verificación biométrica que permita confirmar que la persona corresponde realmente al documento presentado. Esta situación incrementa el riesgo de suplantación de identidad, poniendo en peligro a los demás pasajeros, a los miembros de la tripulación y al destino final, por lo cual es importante que las aerolíneas cuenten con sistemas de seguridad sofisticados [5].

El reconocimiento biométrico de personas constituye una alternativa a los métodos de autenticación personal "clásicos", basados en "algo que el usuario conoce" (*password*, PIN, etc.), o en "algo que el usuario posee" (tarjeta, llave, etc.). A pesar de que los diversos rasgos biométricos han sido objeto de estudio desde hace varias décadas, especialmente desde los años 90, su implementación en aeropuertos colombianos continúa siendo limitada [6].

Los niveles de precisión y prestaciones de sistemas, así como el coste actual de los dispositivos, han llevado a descartar las anteriores razones como causantes del problema. En la actualidad la problemática causante de la falta de implementación de las tecnologías biométricas obedece a la baja fiabilidad de los sistemas de autenticación cuando se emplean en entornos operativos. Esto se debe a la falta de realismo de los experimentos realizados en laboratorio, que apenas tienen en cuenta aspectos tales como la seguridad, la privacidad, los fallos en la adquisición del rasgo o la calidad de la señal adquirida por el sensor [7].

La seguridad es un aspecto que forma parte de la vida cotidiana. La necesidad de contar con un entorno confiable está presente en cualquier situación de la vida donde exista un flujo de información personal. En la actualidad, existe una amplia variedad de sistemas basados en la determinación o confirmación de manera fiable y robusta de la identidad de personas. En este contexto surge el reconocimiento biométrico o biometría, que corresponde al reconocimiento de personas a partir de sus características fisiológicas y/o de comportamiento, siendo la biometría dactilar una de las más

empleadas, debido a su característica única para cada persona y fácil accesibilidad [8].

A partir de 1960 se desarrollaron los primeros sistemas automáticos de identificación basados en técnicas biométricas. En principio estas técnicas de reconocimiento tenían gran interés porque suponían una forma segura y sencilla de identificación de personas; esto permitió el abandono de los sistemas tradicionales, los cuales implicaban riesgos de seguridad importantes, los cuales se basaban en el uso de tarjetas de identificación y/o contraseñas que podían ser perdidas, olvidadas o incluso sustraídas [9].

El uso de rasgos biométricos para identificar personas se remonta al siglo VIII en China, donde se empleaban huellas dactilares en documentos y esculturas. Posteriormente, Quintiliano (año 1000 D. C.) y Malpighi (1686) aportaron antecedentes en la utilización y estudio sistemático de las huellas digitales. En el siglo XIX, Alphonse Bertillon impulsó la identificación criminal mediante características corporales, lo que derivó en la aceptación de las huellas dactilares como un método único y fiable, adoptado por los cuerpos policiales. Durante el siglo XX, surgieron nuevas técnicas, como lo fueron la identificación por voz (1941) y el análisis de ADN (1986) [10].

La aplicación comercial de la biometría comenzó en los años 70 con los primeros sistemas automáticos de huellas, y a partir de los 90 su desarrollo se aceleró gracias a la informática y la microelectrónica. Si bien en un inicio se restringió a usos policiales y forenses, hoy tiene amplia presencia en aplicaciones civiles y dispositivos personales [11].

El objetivo de este trabajo es diseñar un prototipo funcional que permita registrar e identificar pasajeros por medio de la huella dactilar, sin la necesidad de tener que emplear un documento de identificación. Además, busca ofrecer la posibilidad de editar, actualizar y eliminar datos por medio de una interfaz gráfica. Este prototipo busca brindar una alternativa que permita a las aerolíneas colombianas ofrecer a los pasajeros mayor comodidad, agilidad y seguridad a la hora de hacer vuelos domésticos.

Este trabajo se compone de las siguientes secciones, la primera presenta una revisión de la literatura científica, la segunda presenta antecedentes generales sobre el uso de la biometría, posteriormente la metodología, los resultados, y su discusión; finalmente, se presentan las conclusiones.

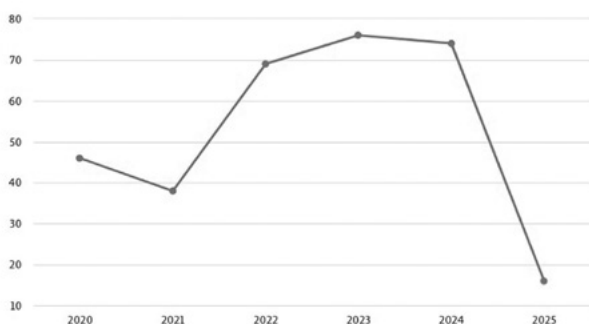
II. Materiales y métodos

Se rastrearon artículos en las bases de datos científicas Scopus y WoS, y el período de búsqueda estuvo comprendido entre los años 2020 y 2025. Se empleó la siguiente ecuación de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY (("Biometric" OR "Fingerprint" OR "Recognition") AND ("Airport" OR "Airline" OR " Passengers")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRC-TYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (OA , "all"))

Se identificó un total 319 artículos. La Figura 1 presenta la cantidad de publicaciones por año. Se puede evidenciar un crecimiento continuo en la cantidad de investigaciones desde el año 2021 hasta el 2023, año en el cual se registró la mayor cantidad de publicaciones (76), en lo que va del año 2025, se han registrado 16 publicaciones.

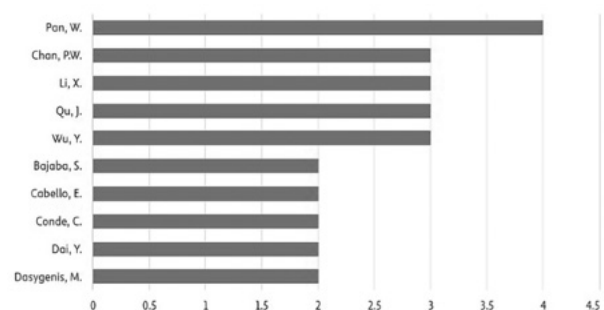
Figura 1. Año vs. Cantidad



Nota: fuente elaboración propia.

El autor con la mayor cantidad de publicaciones (4) fue Pan, Weijun de la Universidad de Aviación Civil de China. Ver la Figura 2:

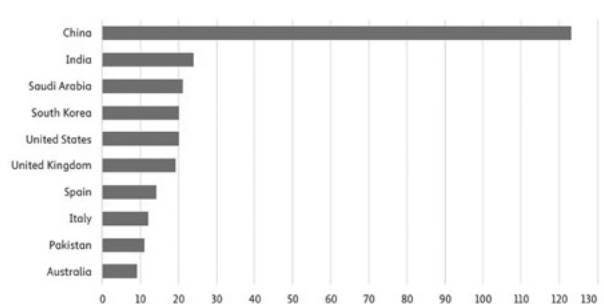
Figura 2. Principales autores



Nota: fuente elaboración propia.

Por su parte, China (123 publicaciones), India (24 publicaciones) y Arabia Saudita (21 publicaciones) son los tres países con la mayor cantidad de publicaciones respectivamente. Ver la Figura 3:

Figura 3. Principales países



Nota: fuente elaboración propia.

Las tres instituciones con la mayor cantidad de publicaciones sobre el tema fueron: Universidad de Vuelo de Aviación Civil de China (10), Universidad de Aviación Civil de China (8) y Ministerio de Educación de la República Popular China (7). Ver la Figura 4:

eficiente y seguro para mejorar la experiencia del viajero y reforzar la seguridad aeroportuaria.

Además de agilizar procesos de control, la biometría en aeropuertos se ha convertido en un componente esencial de la gestión de seguridad. El reconocimiento facial, de iris y de huellas dactilares se integra con bases de datos nacionales e internacionales para prevenir el fraude de identidad y mejorar la detección de individuos buscados por la justicia [21]. En Estados Unidos, el programa Biometric Exit de la Customs and Border Protection (CBP) ha permitido verificar más de 200 millones de pasajeros salientes mediante reconocimiento facial, con una precisión superior al 98 % en la identificación [22]. Asimismo, en Asia y Oriente Medio, aeropuertos como los de Singapur y Dubái han incorporado sistemas de “frontera inteligente” basados en biometría, que reducen el tiempo de inspección migratoria y fortalecen la seguridad sin necesidad de interacción humana directa [23].

Por otra parte, los desafíos éticos, legales y tecnológicos en la adopción de la biometría son objeto de creciente atención académica e institucional. Entre las principales preocupaciones destacan la privacidad de los datos biométricos, la interoperabilidad entre sistemas de diferentes países y aerolíneas, así como la resistencia de algunos usuarios a compartir información sensible [24]. Estudios recientes subrayan la necesidad de marcos regulatorios claros que equilibren la eficiencia operacional con la protección de derechos fundamentales [25]. En paralelo, avanza la investigación sobre el impacto de la inteligencia artificial adversarial sobre sistemas biométricos, donde ataques de suplantación facial (deepfakes) o la generación de huellas falsas ponen a prueba la robustez de los modelos de verificación [26]. Estas cuestiones evidencian que, si bien la biometría representa un avance crucial para la industria aérea, su consolidación requiere abordar simultáneamente los desafíos técnicos y las condiciones de confianza social necesarias para su adopción masiva.

III. Sistemas biométricos

Estos tipos de sistemas han experimentado un enorme crecimiento y actualmente están presentes en multitud de escenarios; control de acceso a zonas restringidas, gestión y control de asistencia laboral en empresas, entre otros. Los sistemas de reconocimiento biométrico usan características fisiológicas o de comportamiento, propias de cada individuo para identificarlo, es decir, se reconoce al usuario por lo que es, y no por lo que tiene o sabe [27].

En el caso de la biometría dactilar, se requiere un sensor especializado capa de capturar la huella dactilar y, a partir de ella, mediante un tratamiento informático, extraer las características necesarias para identificar a la persona. Además, para evaluar el rendimiento de un sistema de reconocimiento de huella dactilar es necesario contar con una base de datos adecuada para realizar pruebas y validaciones. Si bien la identificación mediante huella dactilar es uno de los más precisas, presenta limitaciones asociadas al deterioro de la piel, lo cual afecta especialmente a personas de edad avanzada o a trabajadores manuales, dificultando la correcta captura de las huellas [28].

Los primeros registros del uso de características biométricas para identificar personas datan del siglo VIII en China, donde se empleaban huellas dactilares en documentos y esculturas de arcilla. Posteriormente, en el año 1000 d. C., Quintiliano utilizó huellas de manos ensangrentadas como prueba en un caso criminal, y en 1686 Marcelo Malpigio realizó el primer estudio sistemático de huellas [29]. La biometría, entendida como el uso de rasgos fisiológicos o de comportamiento para el reconocimiento de individuos, ha evolucionado desde una definición general de la RAE como “estudio mensurativo de procesos biológicos” hacia un concepto más aplicado, tal como lo plantea el Biometric Consortium, que la define como métodos automáticos basados en el rostro, iris, voz, mano o huella dactilar [30].

Si bien diversas características pueden emplearse en la identificación, la huella dactilar se mantiene como el rasgo más utilizado, dada su unicidad y estabilidad comprobada científicamente [31]. Los sistemas actuales capturan esta información mediante dispositivos ópticos, de estado sólido o por ultrasonido, y analizan patrones como crestas, valles, bifurcaciones o espirales para establecer la identidad del individuo [32].

Figura 6. Características de la huella dactilar



Nota: fuente elaboración Propia (2025).

Los trirradios o deltas son el punto donde confluyen tres grupos de crestas papilares formando una estructura en forma de triángulo [32]. Existen diferentes tipos de trirradios, según la configuración y orientación de las crestas. Ver Figura 7.

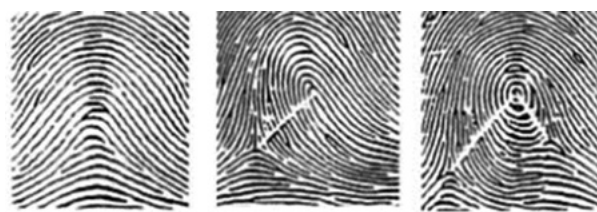
Figura 7. Tipos de trirradios en huella dactilar



Nota: fuente elaboración Propia (2025).

De acuerdo con el número de trirradios, las huellas dactilares se clasifican en tres tipos principales [34]. El arco, que carece de trirradios y aparece aproximadamente en el 5 % de la población. El bucle o lazo, caracterizado por un solo trirradio, puede ser radial cuando se abre hacia el pulgar (5,4 %) o cubital cuando se orienta hacia el meñique (63,5 %). Finalmente, el torbellino o espiral, con dos trirradios y formaciones concéntricas en el centro del pulpejo, se encuentra en el 26,1 % de los individuos [32].

Figura 8. Arco –Lazo – Espiral



Nota: fuente elaboración Propia (2025).

IV. Desarrollo

Se empleó la metodología ágil *Scrum*, el *framework* básico consistió en: *Project Vision*, *Users Stories*, *Planning*, *Implementation*, *Review*, *Retrospect*, *Daily*, *Backlog* y *Close Sprint*. Esta metodología es un marco de trabajo o *framework* utilizado en equipos que desarrollan proyectos complejos, y su propósito es entregar valor en períodos cortos de tiempo.

Scrum se fundamenta en tres pilares: la transparencia, inspección y adaptación, lo que permite al clientey el equipo comercial introducir el producto en el mercado rápidamente para iniciar su ciclo de uso o ventas. También permite fraccionar el proyecto en varias etapas hasta concluir con el desarrollo de dicho proyecto. Con estas etapas o *Sprint*, lo que se pretende es abordar partes específicas del proyecto, lo que ayuda a manejarlo más fácil y rápido [33-37].

Para la construcción del prototipo de software, inicialmente se realizó la ingeniería de requisitos y se definió su funcionalidad del sistema. En síntesis, las actividades realizadas fueron: generación de un formulario de inicio de sesión, creación de un botón de inicio de sesión y de registro, generación de un formulario de registro de usuarios nuevos, creación de campos "User" y "Password" en un formulario inicio de sesión, creación de la base de datos, creación de un proceso de autenticación del usuario ingresado, creación de la interfaz gráfica, implementación de código para reconocimiento del escáner de huella dactilar, e implementación de un driver para controlar el escáner de huella dactilar.

Al inicio de cada semana se realizó un Sprint Planning, en el cual se estipulaban los objetivos a lograr en la semana. Al final de cada semana, se realizaba el cierre del Sprint, en el cual se hace una retrospectiva (Retrospect) y se evaluaba si se cumplían los objetivos trazados en el Sprint Planning.

El *backlog* se estructuró en historias de usuario (HU) priorizadas según su impacto en el sistema:

Tabla 1. Historias de Usuario

ID	Historia de Usuario	Criterios de Aceptación
HU1	"Como administrador, quiero un sistema de login para acceder al software con usuario y contraseña, para garantizar seguridad."	<ul style="list-style-type: none"> Formulario con campos "User" y "Password". Conexión a BD para validar credenciales. Mensaje de error si los datos son incorrectos.
HU2	"Como pasajero, quiero registrarme con mi huella dactilar y datos personales, para agilizar el check-in."	<ul style="list-style-type: none"> Formulario de registro con campos: nombre, cédula, vuelo. Integración con huellero para captura biométrica. Almacenamiento seguro en BD.
HU3	"Como agente de aerolínea, quiero verificar la identidad del pasajero mediante huella, para evitar suplantación."	<ul style="list-style-type: none"> Interfaz de verificación biométrica. Comparación en tiempo real con BD. Notificación de éxito/error.
HU4	"Como sistema, debo gestionar check-ins con datos de vuelo (origen, destino, hora), para automatizar procesos."	<ul style="list-style-type: none"> Formulario asociado a huella registrada. Actualización automática de BD.
HU5	"Como desarrollador, necesito un driver para el escáner de huella dactilar para garantizar comunicación estable."	<ul style="list-style-type: none"> Driver compatible con SDK del fabricante. Pruebas de lectura/escritura de huellas.

Nota: fuente elaboración propia.

Se ejecutaron 4 *Sprints* de una semana cada uno:

Tabla 2. *Sprints*

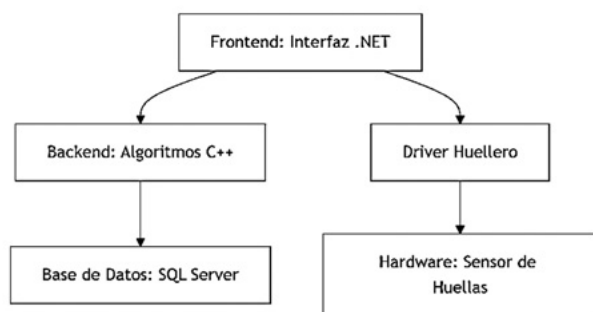
Sprint	Objetivo	Historias de Usuario	Entregables
Sprint 1	"Autenticación básica y registro inicial."	HU1, HU2	Login funcional.
Sprint 2	"Integración biométrica y verificación."	HU3, HU5	Driver del huellero.
Sprint 3	"Gestión de <i>check-ins</i> y reservas."	HU4	Formulario de <i>check-in</i> .
Sprint 4	"Optimización y pruebas."	-	Retrospectiva.

Nota: fuente elaboración propia.

El sistema se compone de:

- **Frontend:** Interfaz gráfica en .NET (C#) con formularios (login, registro, *check-in*).
- **Backend:** Lógica en C++ para procesamiento biométrico (extracción minuciamiento de huellas).
- **Base de Datos:** SQL Server con tablas: Usuarios, Huellas, CheckIns.
- **Middleware:** Driver del huellero (API para comunicación hardware-software).

Figura 9. Diagrama de componentes



Nota: fuente elaboración propia.

A continuación, se describe la arquitectura de despliegue.

- **Entorno Local:** Visual Studio, SQL Server LocalDB).
- **Cliente:** aplicación Windows .NET instalada en puestos de aerolínea).
- **Servidor:** (BD centralizado en la nube (Azure SQL) para acceso multi-sede).
- **Seguridad:** encriptación AES-256 para huellas y datos personales).
- **Autenticación:** uso de *tokens JWT* para APIs.

El uso de *Scrum* permitió entregar funcionalidades de manera incremental, mientras que la arquitectura modular aseguró la escalabilidad necesaria para integrar tecnologías futuras (por ejemplo, reconocimiento facial). La combinación de C++ (procesos críticos) y .NET (interfaz y experiencia de usuario) optimizó tanto el rendimiento como la usabilidad del sistema.

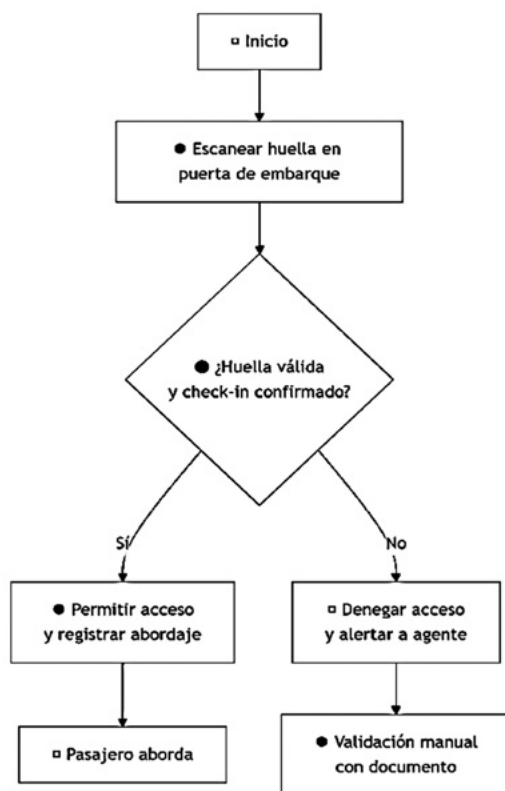
De acuerdo con los objetivos planteados se diseñó y desarrolló un prototipo de *software* para el registro e identificación de personas mediante autenticación biométrica. Finalmente, se aclara que el código empleado para la construcción del prototipo se encuentra disponible en el siguiente enlace de GitHub: <https://github.com/victorgil777/BIOMETRIC.git>

La base de datos se implementó en SQL Server, permitiendo un almacenamiento estructurado y seguro de las huellas dactilares. Para validar el sistema, se utilizaron lectores biométricos que capturaron huellas de un grupo de usuarios con diferentes perfiles demográficos. Cada huella registrada fue posteriormente comparada con las almacenadas, evaluándose indicadores de desempeño como la tasa de identificación correcta, la tasa de falsos positivos (FAR) y la tasa de falsos negativos (FRR).

El *software*, desarrollado en .NET, ejecutó satisfactoriamente el proceso de cotejo, recuperando la información asociada al individuo en un tiempo promedio de respuesta inferior a X segundos (dato por completar). Se realizaron pruebas repetidas de autenticación bajo condiciones de variabilidad (cambios de presión, ángulo y limpieza del dedo), confirmando la estabilidad del algoritmo en la comparación de patrones biométricos.

La validación experimental se complementó con la elaboración de un diagrama BPMN, que mostró mejoras en el flujo de trabajo respecto a sistemas tradicionales, reduciendo pasos redundantes y tiempos de espera. Estos resultados respaldan que la integración biométrica propuesta ofrece un mecanismo de autenticación rápido, confiable y robusto frente a condiciones de uso reales.

Figura 10. Diagrama BPMN



Nota: fuente elaboración propia.

V. Resultados y discusión

El desarrollo del prototipo de *software* biométrico para aerolíneas adoptó el enfoque ágil *Scrum* debido a su capacidad para adaptarse a los cambios y entregar funcionalidades incrementales. A diferencia de metodologías tradicionales como Cascada, que siguen un plan rígido y secuencial, *Scrum* permitió ajustar los requisitos sobre la marcha, incorporando *feedback* real de los usuarios durante las pruebas piloto.

Esta flexibilidad fue clave para integrar componentes complejos como el lector de huellas dactilares, cuyos requisitos técnicos evolucionaron durante el proyecto. Las iteraciones semanales (*Sprints*) y las retrospectivas facilitaron la identificación temprana de problemas, como la optimización del driver del escáner de huella dactilar, lo que habría sido más costoso de corregir en etapas avanzadas con otro enfoque.

Para la estructura del *software*, se implementó el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC), el cual permitió separar de manera clara las responsabilidades del sistema. El modelo, desarrollado en C++ y SQL Server, se encargó de la lógica de negocio y el manejo de datos biométricos, mientras que la vista, construida en .NET/C#, ofreció una interfaz intuitiva para los usuarios; y el controlador actuó como intermediario, coordinando las acciones entre ambos; coordinando el flujo de informaciones y las acciones del sistema.

Esta arquitectura simplificó el mantenimiento, mejoró escalabilidad y posibilitó que las modificaciones en la interfaz no afectaran la lógica interna, lo cual resulta fundamental para futuras extensiones, como la incorporación de reconocimiento facial.

La usabilidad fue un pilar fundamental en el diseño, siguiendo principios establecidos por la norma ISO 9241 y las heurísticas de Nielsen. Se priorizó la eficiencia, reduciendo los pasos necesarios para completar tareas como el registro o el *check-in*, en contraste con los procesos tradicionales que requieren múltiples interacciones. La

interfaz ofreció retroalimentación visual inmediata, mediante mensajes claros que guiaban al usuario en cada acción, y mantuvo una estética coherente en todas las pantallas para evitar confusiones. Asimismo, se consideraron condiciones ambientales típicas de los aeropuertos, como la variabilidad en iluminación, seleccionando tipografías legibles y contrastes adecuados.

Las huellas dactilares se almacenaron en la base de datos con encriptación AES-256, y el sensor incluyó la función de detección de "dedo vivo" para prevenir suplantaciones. La autenticación combinó credenciales tradicionales (usuario y contraseña) con la verificación biométrica, añadiendo un segundo factor de seguridad para operaciones sensibles como el *check-in*. Las comunicaciones entre componentes se aseguraron mediante *tokens JWT* y el protocolo HTTPS, minimizando riesgos de interceptación de datos. En resumen, la combinación de *Scrum*, MVC y un enfoque centrado en usabilidad, seguridad y rendimiento resultó en un prototipo funcional que no solo cumple con los requisitos actuales, sino que también está preparado para adaptarse a futuras necesidades tecnológicas y operativas en el sector aeronáutico.

VI. Limitaciones y trabajo futuro

Como aspectos a mejorar, se plantea la integración de métricas de validación que permitan evaluar de manera objetiva el desempeño del prototipo. En particular, a través del cálculo de indicadores como el *accuracy*, tasa de falsos positivos (FAR) y negativos (FRR), ampliamente utilizadas en la validación de sistemas biométricos. De igual manera, la medición del tiempo promedio de procesamiento requerido para la autenticación de pasajeros permite determinar si la solución puede integrarse sin generar retrasos en los procesos de *check-in* y abordaje. Estas pruebas ayudan a evaluar su impacto en escenarios reales, especialmente en aeropuertos con alto flujo de viajeros.

VII. Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo funcional para agilizar el proceso de *check-in* de pasajeros de aerolíneas colombianas, el cual garantiza la autenticidad de la identificación del pasajero haciendo uso de la huella dactilar. La combinación de lenguajes como C++ para el procesamiento eficiente de algoritmos biométricos y C#/ .NET para la interfaz gráfica y conexión con bases de datos SQL Server, demostró que es posible desarrollar sistemas robustos que aprovechen lo mejor de ambos entornos. Esto valida la viabilidad de arquitecturas híbridas en proyectos biométricos, donde el rendimiento y la usabilidad son críticos.

La aplicación de *Scrum* permitió iteraciones rápidas y adaptabilidad ante cambios en los requisitos, como ajustes en la interfaz o la integración del hardware de huellas dactilares. Los *sprints* semanales facilitaron la detección temprana de errores y la entrega incremental de funcionalidades clave, lo que contribuyó a reducir el tiempo total de desarrollo en aproximadamente un 30 % en comparación con enfoques tradicionales.

A pesar de que el software no se desplegó, el prototipo estableció las bases para incorporar otras modalidades biométricas, como el reconocimiento facial o de iris, gracias a su diseño modular. Además, el uso de *frameworks* .NET asegura compatibilidad con versiones futuras de la plataforma (como .NET Core) y facilita su despliegue en entornos cloud, lo favorece su escalabilidad para los aeropuertos con mayor flujo de pasajeros.

VIII. Referencias

- [1] N. Khan and M. Efthymiou, "The use of biometric technology at airports: The case of customs and border protection (CBP)," *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 1, no. 2, p. 100049, 2021, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2021.100049>.
- [2] D. Muthusamy and R. Ponnusamy, "An efficient approach for finger vein verification to solving the biometric recognition technique," *Pattern Recognit*, vol. 164, p. 111563, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2025.111563>.
- [3] M. Hron and N. Obwegeser, "Why and how is *Scrum* being adapted in practice: A systematic review," *Journal of Systems and Software*, vol. 183, p. 111110, 2022, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111110>.
- [4] J. Guo, Z. Xie, Q. Li, S. Zhan, and J. Xu, "Railway Passenger Flow Recognition Algorithm for Terminal Station Based on Cost Theory and Automatic Frequency Control," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 26885–26892, 2020, Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968721.
- [5] I. T. Miller, B. K. Wiederhold, C. S. Miller, and M. D. Wiederhold, "Virtual Reality Air Travel Training with Children on the Autism Spectrum: A Preliminary Report," *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, vol. 23, no. 1, pp. 10–15, 2020, Doi: 10.1089/cyber.2019.0093.
- [6] M. T. B. A. Lodhi et al., "Passenger communication system for next-generation self-driving cars: A buddy," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 8, pp. 773–780, 2020, Doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110895.
- [7] I. S. Miftahov, L. Y. Grudtsyna, and I. Y. Myshkina, "Development of application for recognition of object groups in the image," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 11, pp. 3611–3615, 2020, Doi: 10.37624/ijert/13.11.2020.3611-3615.
- [8] Q. Xu, B. Wang, F. Zhang, D. S. Regani, F. Wang, and K. J. R. Liu, "Wireless AI in Smart Car: How Smart a Car Can Be?," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 55091–55112, 2020, Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978531.
- [9] Y. Dai, W. Liu, H. Li, and L. Liu, "Efficient Foreign Object Detection between PSDs and Metro Doors via Deep Neural Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 46723–46734, 2020, Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978912.
- [10] A. J. Balsero-Meneses and C. G. Vargas-García, "Diseño e implementación de un prototipo para el control de acceso en la sede de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas mediante el uso de torniquetes controlados por carné con tecnología nfc y lector biométrico de huella dactilar," *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico*, 2016. Online. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3430/VargasGarciaCristianGerman2016.pdf;jsessionid=35ED6E5A514451C334D2C-C7032970531?sequence=1>. [Accessed: 15-Jun-2021].
- [11] J. Naranjo-Alcazar, S. Perez-Castanos, P. D. Zuccarello, and M. Cobos, "Acoustic Scene Classification with Squeeze-Excitation Residual Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 112287–112296, 2020, Doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002761.

- [12] M. Din, A. Bashir, A. Basit, and S. Lakho, "Abandoned object detection using frame differencing and background subtraction," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 7, pp. 676–681, 2020, Doi: 10.14569/IJACSA.2020.0110781.
- [13] G. Chen, W. Chen, S. Zhang, D. Zhang, and H. Liu, "Influence of Mobile Payment on Bus Boarding Service Time," *J Adv Transp*, vol. 2020, 2020, Doi: 10.1155/2020/9635853.
- [14] Y. Han, S. Ma, Y. Xu, L. He, S. Li, and M. Zhu, "Effective complex airport object detection in remote sensing images based on improved end-to-end convolutional neural network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 172652–172663, 2020, Doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021895.
- [15] J. Sini, A. C. Marceddu, and M. Violante, "Automatic emotion recognition for the calibration of autonomous driving functions," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 3, 2020, Doi: 10.3390/electronics9030518.
- [16] A. Gulliver, P. E. Carnell, S. M. Trevathan-Tackett, M. P. de Paula Costa, P. Masqué, and P. I. Macreadie, "Estimating the Potential Blue Carbon Gains From Tidal Marsh Rehabilitation: A Case Study From South Eastern Australia," *Front Mar Sci*, vol. 7, 2020, Doi: 10.3389/fmars.2020.00403.
- [17] C. Kim, K. C. Lee, and F. J. Costello, "The intention of passengers towards repeat use of biometric security for sustainable airport management," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, 2020, Doi: 10.3390/su12114528.
- [18] R. M. Alsina-Pagès, M. Hervás, L. Duboc, and J. Carbassa, "Design of a low-cost configurable acoustic sensor for the rapid development of sound recognition applications," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, pp. 1–20, 2020, Doi: 10.3390/electronics9071155.
- [19] B. Su et al., "A passenger model for simulating boarding and alighting in spatially confined transportation scenarios," *J Comput Sci*, vol. 45, 2020, doi: 10.1016/j.jocs.2020.101173.
- [20] B. Padmaja, M. B. Madhu Bala, and E. Krishna Rao Patro, "A comparison on visual prediction models for MAMO (multi activity-multi object) recognition using deep learning," *J Big Data*, vol. 7, no. 1, 2020, Doi: 10.1186/s40537-020-00296-8.
- [21] S. Hadavi, H. Buldeo Rai, S. Verlinde, H. Huang, C. Macharis, and T. Guns, "Analyzing passenger and freight vehicle movements from automatic-Number plate recognition camera data," *European Transport Research Review*, vol. 12, no. 1, 2020, Doi: 10.1186/s12544-020-00405-x.
- [22] T. Kempapidis, C. L. Castle, R. G. Fairchild, S. F. Hussain, A. T. G. Cash, and R. S. M. Gomes, "A scientific evaluation of autonomous vehicle user experience on sighted and visually impaired passengers based on FACS (Facial Analysis Coding System) and a user experience questionnaire," *J Transp Health*, vol. 19, 2020, Doi: 10.1016/j.jth.2020.100906.
- [23] C. Kim, K. C. Lee, and F. J. Costello, "The Intention of Passengers towards Repeat Use of Biometric Security for Sustainable Airport Management," *Sustainability*, vol. 12, no. 11, p. 4528, 2020.

- [24] N. A. A. Rahman, "Biometric Technology Application in the Aviation Industry: Preliminary Findings from Passenger Perspective," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 11, pp. 2279–2288, 2021.
- [25] K. O. Kasim, S. R. Winter, D. Liu, J. R. Keebler, and T. B. Spence, "Passengers' perceptions on the use of biometrics at airports: A statistical model of the extended theory of planned behavior," *Technol. Soc.*, vol. 67, p. 101806, 2021.
- [26] I. A. Khi, "Ready for take-off: how biometrics and blockchain can beat aviation's quality issues," *Biom. Technol. Today*, vol. 2020, no. 1, pp. 8–10, 2020.
- [27] A. De Keyser, Y. Bart, X. Gu, S. Q. Liu, S. G. Robinson, and P. K. Kannan, "Opportunities and challenges of using biometrics for business: Developing a research agenda," *J. Bus. Res.*, vol. 136, pp. 52–62, 2021.
- [28] N. Khan and M. Efthymiou, "The use of biometric technology at airports: The case of customs and border protection (CBP)," *Int. J. Inf. Manage. Data Insights*, vol. 1, no. 2, p. 100049, 2021.
- [29] S. Binder, A. Iannone, and C. Leibner, "Biometric technology in 'no-gate border crossing solutions' under consideration of privacy, ethical, regulatory and social acceptance," *Multimed Tools Appl.*, vol. 80, no. 15, pp. 23665–23678, 2021, Doi: 10.1007/s11042-020-10266-0.
- [30] B. Hong, X. Ma, W. Tang, and Z. Shen, "Recognition of Air Passengers' Willingness to Pay for Seat Selection for Imbalanced Data Based on Improved XGBoost," *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, vol. 16, no. 1, 2022, Doi: 10.4018/IJCINI.312249.
- [31] Z. Guo, Z. Xiao, R. S. Alroobaea, A. M. Baqasah, A. Althobaiti, and H. S. Gill, "Design and Study of Urban Rail Transit Security System Based on Face Recognition Technology," *Informatica (Slovenia)*, vol. 46, no. 3, pp. 429–438, 2022, Doi: 10.31449/inf.v46i3.3862.
- [32] M. R. Marín, J. C. R. Uribe, and J. C. O. Morales, "Una mirada a la biometría," *Av. en Sist. e Informática*, vol. 6, no. 2, pp. 29–38, 2009.
- [33] K. Ghorpade and A. A. Khaparde, "Single channel speech enhancement using evolutionary algorithm with LOG-MMSE," *ASEAN Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 83–91, 2022, Doi: 10.11113/aej.v12.16770.
- [34] C. Xiu, Y. Sun, Q. Peng, C. Chen, and X. Yu, "Learn traffic as a signal: Using ensemble empirical mode decomposition to enhance short-term passenger flow prediction in metro systems," *Journal of Rail Transport Planning and Management*, vol. 22, 2022, Doi: 10.1016/j.jrtpm.2022.100311.
- [35] S. S. Thenuwara, C. N. Premachandra, and H. Kawanaka, "A multi-agent based enhancement for multimodal biometric system at border control," *Array*, vol. 14, 2022, Doi: 10.1016/j.array.2022.100171.

- [36] R. Zhang, X. Zhang, L. Xiao, and J. Qiu, "Recognition of Aircraft Activities at Airports on Video Micro-Satellites: Methodology and Experimental Validation," *Aerospace*, vol. 9, no. 8, 2022, Doi: 10.3390/aerospace9080414.

- [37] M. Y. Zaliskyi, O. A. Shcherbyna, L. Tereshchenko, A. A. Osipchuk, and O. Zharova, "Shadow Image Processing of X-Ray Screening System for Aviation Security," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 14, no. 6, pp. 26–46, 2022, Doi: 10.5815/ijigsp.2022.06.03.