

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA ALTERNATIVA DE PAGO CON RECONOCIMIENTO FACIAL EN ESTACIONES DE TRANSMILENIO, BOGOTÁ.

María Fernanda Castillo Zuleta, Paula Alejandra Romero Gómez  
 Fundación Universidad de América  
 Bogotá, Colombia  
 maria.castillo2@estudiantes.uamerica.edu.co  
 paula.romero@estudiantes.uamerica.edu.co

**Resumen** — El reconocimiento facial es una rama de la inteligencia artificial que evoluciona rápidamente y está siendo implementado en diferentes sectores desde las telecomunicaciones hasta el sector financiero ofreciendo nuevas oportunidades de mejora en las empresas, por tal motivo a través del presente artículo se estudian las diferentes variables a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo un sistema de pago con reconocimiento facial en estaciones de TransMilenio, desde el análisis de los procesos y actores involucrados en el sistema de recaudo hasta la determinación de la viabilidad del proyecto propuesto.

**Palabras claves** — Transporte público, medios de pago, tecnología, sistemas biométricos, reconocimiento facial.

## I. INTRODUCCIÓN

La importancia del transporte público en la calidad de vida de las personas y en el desarrollo social de una ciudad ha generado varios estudios alrededor de la movilidad en Bogotá, en los cuales se han identificado como principales problemáticas “la congestión vehicular, demoras en los tiempos de viaje, altas tasas de accidentalidad y excesiva contaminación” [1]. Como respuesta a estas problemáticas surge TransMilenio S.A en el año 2000, empresa prestadora del servicio de transporte público masivo, actualmente responsable de la movilidad de aproximadamente 2,65 millones de pasajeros que frecuentan este sistema diariamente [2]. Así mismo es la entidad encargada de la administración, planificación, y organización de las instituciones privadas que conforman la red de transporte público articulada SITP (Sistema Integrado de Transporte público), la cual gestiona el acceso de los usuarios a través de un único sistema de recaudo y servicio a todos los componentes del sistema [3]. Recaudo Bogotá S.A.S es la empresa que “Se encarga de la logística para garantizar la operación durante todo el horario de servicio del Sistema; de la venta de pasajes; del procesamiento de información; la custodia y consignación del dinero recaudado, así como del mantenimiento de los equipos del Sistema de Recaudo” [4], cuenta con 5.017 puntos de recarga en estaciones y portales en donde las largas filas de usuarios, las demoras en el ingreso y la evasión del pasaje por parte de los ciudadanos demuestran la ineficiencia de las tarjetas TuLLave como sistema de recaudo. Una de las funciones de la tarjeta es el control de ingreso de los usuarios a través de la validación del pasaje, para de esta forma

suministrar información de la demanda a TransMilenio, ésta es posteriormente empleada en la programación de la frecuencia de las flotas. Sin embargo, la alta cifra de personas que acceden a las estaciones y portales sin validar el pasaje genera inconsistencias en los datos.

El problema de evasión del pasaje no solamente afecta el flujo de información en el sistema, también incide directamente en la crisis financiera de la entidad pública de planeación y gestión. “la cual en 2015 llegó a los 738.000 millones de pesos y se expresa en una baja cultura ciudadana, en un aumento de los “colados”, los vendedores ambulantes y la inseguridad dentro del sistema. Por otro lado, desde una perspectiva técnica, la crisis se manifiesta en la incapacidad del sistema para responder a la creciente demanda, agravada por el mal diseño de las rutas, la demora de los buses, la condición de hacinamiento en que se viaja, la deficiente infraestructura de las vías y en el atraso en las obras contratadas o anunciadas” [5].

Los problemas técnicos del sistema y la baja cultura ciudadana conllevan a la insatisfacción de los usuarios con el sistema, hecho que se evidencia en la encuesta publicada por Bogotá como vamos de percepción ciudadana 2019, en la cual solo el 23% de los usuarios están satisfechos con el servicio de TransMilenio y el 24% con el SITP [3]. Adicionalmente, problemas en el sistema de recaudo como la falta de puntos de recarga cercanos al lugar de origen, la dependencia de la tarjeta para ingresar al sistema en caso de pérdida u olvido de la misma y los altos costos representan las principales causas de la inconformidad de los usuarios, así lo manifiesta la acción popular presentada por “el grupo de acciones Públicas de la Universidad del Rosario con el fin de que los usuarios del transporte público en Bogotá puedan acceder al sistema pagando el pasaje, pero sin tener que comprar la tarjeta TuLLave” [6].

Frente a las múltiples variables que inciden en la prestación de un servicio de transporte público de calidad y que satisfaga las necesidades de los ciudadanos. Las empresas de transporte público trabajan continuamente en mejorar la eficiencia y eficacia de sus procesos. De acuerdo con Jesmina García, VP de la unidad Smart Cities de Smartmatic, “los latinoamericanos estamos repensando nuestras ciudades. Hemos entendido que debemos cambiar, sensibilizarnos, actualizarnos y modernizarnos para hacer frente a las nuevas exigencias y

nuevos retos que plantean las comunidades a los servicios ciudadanos” [7].

La inteligencia Artificial sin lugar a duda revolucionó los diferentes sectores, incluyendo el Transporte público con nuevas tecnologías como el reconocimiento facial, el cual cada día es más frecuente en actividades cotidianas como “desbloquear celulares, Retirar dinero de cajeros, pagar en establecimientos, realizar controles en aeropuertos o identificar sospechosos en eventos como conciertos o partidos de fútbol”. Así mismo estas tecnologías permitieron la implementación de los SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte), los cuales consisten en la aplicación de telecomunicaciones, informática y electrónica al campo del transporte [8].

Frente a las problemáticas identificadas en el sistema de recaudo, se establece la necesidad de estudiar un nuevo sistema de pago aprovechando los avances tecnológicos que ofrece la Inteligencia Artificial, para de esta forma dar respuesta a ¿Cuáles son los aspectos sociales, técnicos y financieros que se deben tener en cuenta para una futura implementación del reconocimiento facial como sistema de pago para los usuarios de TransMilenio, en Bogotá?

En principio la tecnología implementada por el sistema masivo para el sistema de recaudo fue la tarjeta monedera y cliente frecuente en el año 2000, la cual reemplazó el sistema tradicional de pagos con billetes y monedas, posteriormente estas se unifican en la tarjeta TuLlave la cual funciona con la tecnología inalámbrica de corto alcance para realizar pagos en forma segura, lleva un chip EMV y una antena integrada para realizar pagos de proximidad. Sin embargo, no son las únicas tarjetas que permiten el pago del pasaje del SITP, entidades bancarias habilitaron las tarjetas híbridas, débito y crédito para los clientes que hicieran uso de este medio de transporte. El auge en el desarrollo de los teléfonos y sus aplicaciones móviles, han permitido nuevos sistemas de pago a través de tecnologías como: «SMS (Short Message Service), WAP (Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas) / Internet, NFC (Near Field Communication), USSD (Unstructured Supplementary Service Data) y servicios de voz. los cuales ya han sido objeto de estudio y aplicaciones en diferentes ciudades de Latinoamérica y Europa. La tecnología NFC es considerada la preferida de las empresas relacionadas con el sector de telefonía móvil (empresas de hardware, compañías de software, proveedores o carriers y entidades financieras) » [9], algunos de los beneficios ofrecidos por esta tecnología es la alta seguridad que garantiza la proximidad entre los dispositivos y la elevada velocidad de transmisión para enviar y recibir datos siendo 0,1 segundos el tiempo de conexión entre dispositivos. Estos sistemas ofrecen rapidez y sencillez ya que no requiere introducir una tarjeta por una ranura, evita cargar una tarjeta para la transacción y facilitan la recopilación de datos de los usuarios. Sin embargo, se encuentran algunas dificultades como el hecho de que no todas las personas poseen teléfonos inteligentes o no tienen los conocimientos para realizar transacciones a través de los mismos, adicionalmente la alta cifra de hurtos especialmente de teléfonos móviles descarga y dificultades técnicas en el equipo son los principales obstáculos para la implementación de esta tecnología en los sistemas de recaudo.

El artículo se enfoca en el reconocimiento facial como una alternativa de pago para el sistema de TransMilenio teniendo en

cuenta el potencial de esta herramienta para realizar pagos, procedimientos operativos y redes de comunicación para la transmisión de información y liquidación de pagos en diferentes organizaciones. BBVA al implementar esta tecnología en sus restaurantes destacan la facilidad y efectividad de este sistema “con solo mirar hacia las cámaras situadas dentro unas cabinas junto a las cajas registradoras, se identifica el rostro del cliente previamente registrado y posteriormente se realiza automáticamente el cargo en su tarjeta para hacer efectivo el pago”, de igual forma esta tecnología llega a Colombia con la alianza entre Redeban y Carulla quienes estiman que el uso de esta tecnología se masificará en los próximos años y que sin duda se convertirá en una nueva opción de pago para los compradores que no quieren cargar con efectivo ni plásticos [10].

En las aplicaciones del reconocimiento facial en el pago del transporte público, Madrid se considera la primera ciudad que estudia la implementación de los pagos con reconocimiento facial con el proyecto “Madrid Mobility Movement” cuyo fin es facilitar a los usuarios el acceso al sistema haciendo que este sea sostenible, inteligente y conectado de manera sencilla [11]. Por lo anterior surge la hipótesis de si en un contexto de posicionamiento de la inteligencia artificial en los sistemas de pago, y teniendo en cuenta los aspectos sociales, políticos y económicos de la ciudad de Bogotá es posible la inserción del reconocimiento facial en el sistema de recaudo de TransMilenio. Considerando las normativas vigentes que regulan el transporte público como la Ley 105 de 1993 mediante la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones. Adicionalmente el artículo 52 de la Ley 1151 de 2007 declara el apoyo a los sistemas de Transporte masivo, reglamentado por el decreto nacional 3422 de 2009 así mismo el artículo 53 decreta que los sistemas de Transporte que sean cofinanciados con recursos de la nación adoptarán un sistema de recaudo centralizado que integre los subsistemas de transporte complementario y de transporte masivo, utilizando mecanismos que lo permitan y preferiblemente el sistema de pago electrónico [12].

## II. METODOLOGIA

La presente investigación inicia con un análisis de los factores internos del sistema masivo TransMilenio que permite mediante la aplicación de la matriz DOFA la identificación de las Debilidades, Fortalezas, Amenazas y Oportunidades del sistema de recaudo de la entidad y la formulación de estrategias para el mejoramiento del mismo, además, se caracteriza el entorno político – legal, económico, sociocultural y tecnológico externo para determinar los factores críticos de éxito en la aplicación del proyecto. Luego, a través de una encuesta realizada a los usuarios se mide el grado de satisfacción de las personas con el sistema de recaudo actual, teniendo en cuenta aspectos como la diversidad poblacional, analizada desde las variables edad y el estrato socioeconómico de los encuestados, si consideran o no importante el sistema de recaudo para las operaciones del sistema, su experiencia en el proceso de recarga y validación del pasaje y finalmente su posición frente a un nuevo sistema de pago por medio de la tecnología del

reconocimiento facial en TransMilenio. A través de los resultados obtenidos de la encuesta, se llevará a cabo el estudio de mercado con el fin de definir el tamaño y la segmentación del mercado, las características de los clientes y el análisis de la competencia frente a otras alternativas de pago que pueden ser implementadas en el sistema. Posteriormente en el estudio técnico propuesto, se plantean aspectos fundamentales como: avances en la creación de proyectos tecnológicos para Transmilenio y las tendencias de nuevos sistemas propuestos por empresas líderes en la implementación de los sistemas inteligentes de transporte, así mismo la comparación de la infraestructura tecnológica y los tiempos de validación del pasaje en el sistema de recaudo actual con el sistema de pagos con reconocimiento facial propuesto y la caracterización de los equipos, actores y operaciones que requiere el proyecto. Finalmente, para determinar la viabilidad del proyecto se analiza la situación financiera actual del sistema y se realiza la valuación financiera de proyectos de inversión y estrategias de negocio mediante la utilización de opciones reales, a la vez se proponen algunas alianzas con empresas o entidades que pueden contribuir al financiamiento del proyecto.

### III. DIAGNÓSTICO DE LA ORGANIZACIÓN

La necesidad de cambios en el modelo de movilidad urbana es acuciante. En este sentido, las ciudades más avanzadas llevan tiempo adoptando medidas de diversa naturaleza, simples en su concepto, aunque no siempre fáciles de poner en marcha. Una de las medidas en la que enfatiza este artículo es la promoción de la digitalización y los Intelligence Transport Systems (ITS) los cuales integran tecnologías de comunicación, control y procesamiento de información para el aumento de la efectividad, eficiencia y seguridad en los sistemas de transporte, TransMilenio tiene estipulado en sus políticas la mejora de sus servicios a través del Plan estratégico de Tecnologías de la información (PETI), este documento junto a informes institucionales, permiten la identificación de las fortalezas y debilidades de la gestión tecnológica y la operación de tarjetas TuLlave en el sistema de recaudo plasmadas en la matriz de evaluación de factores internos (EFI). Así mismo la implementación de los ITS en diferentes ciudades facilitan la identificación de las oportunidades y amenazas en la inserción tecnológica para TransMilenio, planteada en la Matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) en las oportunidades y amenazas. Además de estudiar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sistema masivo es necesario establecer los factores políticos - legales, económicos, sociales y tecnológicos de Bogotá; a partir del análisis PESTEL teniendo en cuenta que la entidad al ser una institución público- privada debe establecer sus proyectos en pro del bienestar ciudadano y el desarrollo social de la ciudad. [13]

#### A. Evaluación externa e interna:

Las matrices EFE (anexo1) y EFI (anexo 2) son una herramienta para la formulación de estrategias que evalúan las Amenazas, Oportunidades, Fortalezas y Debilidades del entorno de TransMilenio. La aplicación de estas matrices permite establecer los factores internos y externos de mayor relevancia

para la formulación de estrategias en la matriz FODA (anexo 3). [14]

- 1) Fortalezas: TransMilenio ha trabajado en la mejora de sus subsistemas, a través de la implementación de los sistemas inteligentes de transporte, los cuales están definidos en el plan estratégico de las tecnologías de la información (PETI). En este documento tienen proyectado la implementación de nueva tecnología, los lineamientos y las políticas necesarias para su adopción [13]. Así mismo, el sistema masivo y Recaudo Bogotá, empresa responsable de las operaciones, equipos y administración de los recursos de recaudo por medio de la tarjeta TuLlave, han buscado alinear su servicio a la política que garantiza el derecho de todo ciudadano de acceso al transporte público, estableciendo beneficios como tarifas diferenciales y subsidios para adultos mayores de 62 años, personas con discapacidad y personas con puntaje inferior a 30.56 en el Sisbén. [15] Adicionalmente otros beneficios como: transbordos de \$0 de troncal a zonal y de zonal a zonal y de \$200 de zonal a troncal en un intervalo de tiempo de 110 minutos; dos viajes a crédito en los servicios zonales y troncales que serán descontados en la próxima recarga del usuario y bloqueo de la tarjeta y la protección del saldo en caso de pérdida o robo [16]. De igual forma las fortalezas encontradas en una posible implementación de los pagos con reconocimiento facial son: Disminución del costo de adquisición de la tarjeta para los usuarios, rapidez en la identificación de patrones biométricos, permite la obtención de datos verídicos y en tiempo real de los usuarios.
- 2) Debilidades: El sistema TransMilenio no cuenta con la infraestructura necesaria para la aplicación total de los sistemas inteligentes de transporte lo cual puede complicar la implantación de nueva tecnología al sistema. También se identifican problemas en el flujo de información entre los diferentes operadores, generando inconsistencias en la información que regula otras actividades y alterando los indicadores de control establecidos por la institución.[13] Los problemas de la tarjeta TuLlave, están relacionados a la falta de personalización de la tarjeta, la cual debería proporcionar la información del usuario para un control de las validaciones del pasaje, sin embargo a junio del 2020 la entidad contaba con un total de 15.429.725 tarjetas en circulación, de las cuales solo 5.400.906 eran personalizadas.[16]Adicionalmente el material de la tarjeta tiende a deteriorarse y en caso de pérdida el usuario debe asumir el costo de reposición. Aunque la aplicación del reconocimiento facial al sistema de recaudo puede contribuir a la disminución de ciertas debilidades del sistema, puede ser el punto de partida a otras dificultades como: Altos costos que puede representar la implementación tecnológica, tanto para los usuarios en el incremento del pasaje, como para el sistema. Así mismo la dependencia de una cuenta bancaria, limita el derecho de todo ciudadano de acceso al transporte público.
- 3) Oportunidades: En la actualidad varias ciudades están trabajando en el desarrollo de transporte inteligente en compañía de empresas líderes en tecnología como: Masabi, proveedora de boletos móviles que desde el 2007 ha

revolucionado el sistema de pagos en el transporte público desde su primera aplicación de billetes en el móvil para Reino Unido, hasta SaaS Justride la plataforma que permite a los organismos del transporte el uso de billetes en teléfonos móviles, tarjetas bancarias sin contacto y tarjetas inteligentes [17]; Mastercard empresa que lidera alrededor de 20 proyectos sobre movilidad urbana con el fin de contribuir al desarrollo de ciudades inteligentes, busca reducir el uso del efectivo a través de nuevas alternativas de pago mediante aplicaciones móviles y material basado en QR y finalmente LG CNS empresa dedicada a la consultoría, construcción y operación de soluciones innovadoras para el transporte público a través de tendencias tecnológicas como la Inteligencia Artificial, Big Data, Iot, Blockchain y las tecnologías de la información. Esta entidad revolucionó el Sistema de transporte público coreano a través de la implementación de las T-money de Seúl la cual contribuyó a integrar el pago de las diferentes modalidades de transporte: autobuses, metros y taxis en una tarjeta disponible en el teléfono móvil. Las alianzas con estas instituciones habilitan una posibilidad para TransMilenio de mejorar su sistema de recaudo actual, dedicando sus esfuerzos a la creación de un esquema de recaudo inteligente y un centro de gestión que permita la regulación de ubicación, programación, comunicación y niveles de servicio del sistema. [18] Así mismo las alianzas con entidades financieras como el banco iberoamericano de desarrollo ofrecen posibilidades de financiación de proyectos de inversión tecnológica para entidades gubernamentales. La inserción de los pagos con reconocimiento facial puede ser un punto de partida para el desarrollo de los sistemas inteligentes de transporte, de tal forma que puede incrementar el nivel de innovación de la ciudad, así mismo los beneficios de la tecnología puede a futuro mitigar las problemáticas en temas de movilidad, lo que incide directamente en el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.

- 4) Amenazas: La inserción de nueva tecnología requiere garantizar a los usuarios la seguridad y protección de los datos personales, sin embargo, la ciberdelincuencia, la piratería de datos y redes, el fraude y la falsificación de sensores son uno de los mayores obstáculos, generando desaprobación y desconfianza de los usuarios para la adopción de nuevas tecnologías biométricas. Por otro lado, los desacuerdos entre las diferentes operadoras del sistema los altos costos que representa la introducción de nueva tecnología y los monopolios creados por los proveedores de software limitan el trabajo conjunto entre diferentes organizaciones para la implementación de los sistemas inteligentes de Transporte [29]. Las problemáticas sociales que se viven hoy en día en Bogotá se constituyen en una gran amenaza para la implementación de los pagos con reconocimiento facial, ya que el descontento social se ha manifestado en daños en la infraestructura del sistema. Además, los problemas culturales, no solo afectan la satisfacción de los usuarios con el sistema, sino que aumentan la crisis financiera del sistema ocasionando

menores posibilidades inversión tecnológica para el sistema.

#### B. Matriz DOFA:

La matriz de las amenazas, oportunidades, debilidades y fortalezas (FODA) es una herramienta de ajuste utilizada en la creación 4 tipos de estrategias para la ejecución del proyecto: Estrategias de fortalezas y oportunidades (FO), estrategias de debilidades y oportunidades (DO), estrategias de Fortalezas y amenazas (FA) y estrategias de debilidades y amenazas (DA).

- 1) Estrategias FO: Aplicar las tecnologías de los sistemas Inteligentes de Transporte (Reconocimiento facial) en el sistema de recaudo de TransMilenio que permita ofrecer los beneficios de la tarjeta de TuLlave.
- 2) Estrategias DO: Establecer un sistema de recaudo que proporcione datos reales de las validaciones y los usuarios, además que facilite el flujo de información entre las diferentes operadoras que integran TransMilenio.
- 3) Estrategias FA: Definir en el plan de mantenimiento preventivo de la infraestructura las acciones para mitigar el riesgo de vulnerabilidad en los datos personales de los sistemas biométricos.
- 4) Estrategias DA: Establecer un área de Investigación, innovación y desarrollo que contribuya al desarrollo de proyectos propios de TransMilenio.

#### C. Análisis PEST:

Mediante el análisis PEST se determinan los factores políticos-legales, económicos, sociales y tecnológicos de Bogotá, teniendo en cuenta que TransMilenio tiene que adaptar sus sistemas a la normativa establecida para el transporte público, así mismo la situación económica de la organización, la cultura ciudadana y el nivel de innovación determina la viabilidad del proyecto.

- 1) Político-Legal: La relación entre las instituciones públicas y privadas ha sido un factor determinante en la prestación del servicio de transporte público, especialmente de TransMilenio, la forma en la que se ha llevado a cabo es a través de la concesión. "Un modelo en el cual se le entrega a un privado la autorización de explotar un recurso o sacar provecho económico de la prestación de un servicio, a cambio de cumplir ciertos compromisos contractuales, en este caso, la operación del sistema." Las controversias entre el sector público y privado han limitado el avance y la mejora en las operaciones del sistema, teniendo en cuenta la poca continuidad a las propuestas establecidas por las diferentes administraciones distritales. Edder Velandia Duran, experto en movilidad sostenible de la universidad de la Salle afirma "En Bogotá, el transporte público se ha convertido en un caballo de batalla y campaña política. Bogotá sufre porque cada alcalde desea generar transformaciones y soluciones a los problemas de movilidad, pero estos planes son de 4 años. Este tiempo es insuficiente para realizar estudios, diseños, aprobación y gestión de recursos, licitaciones y adjudicación de proyectos; una ciudad y su sistema de transporte no se construyen en tan corto plazo. Ese ha sido un hecho evidente en Bogotá durante los último 30 años". [20] Con

la constitución de la Empresa de Transporte de Tercer Milenio, TransMilenio S.A., llevada a cabo el 13 de octubre de 1999 como sociedad por acciones, bajo la forma de sociedad anónima de carácter comercial con aportes públicos, el entonces alcalde de Bogotá, Enrique Peñalosa, planeaba diseñar un sistema de transporte público de buena calidad, eficiente, seguro y cómodo. Esta intención consta en el Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas de 1998-2001 “Por la Bogotá que queremos” [21]. Así, la administración distrital terminó materializando sus intenciones en un nuevo sistema de transporte, adaptado de uno ya existente en la ciudad de Curitiba (Estado de Paraná, Brasil), conocido como Buses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés) [22].

El Estatuto General del Transporte (Ley 336 de 1996) establece que el servicio de transporte público puede ser prestado por empresas, personas naturales o personas jurídicas públicas o privadas. El Acuerdo 04 de 1999 en cambio, bajo el cual se constituyó TransMilenio S.A, señaló que la prestación del servicio sería contratada únicamente con empresas privadas, y que Transmilenio S.A no podría ser operador ni socio. Bajo esas facultades, TransMilenio suscribió siete contratos de concesión: cuatro firmados en 2000 para la fase I, y tres firmados en 2003 para la fase II [21]. Aunque, en principio, el nuevo sistema de transporte fue una solución a los problemas de movilidad en Bogotá, intentando superar a los buses urbanos tradicionales que presentaban inconvenientes como la “guerra del centavo”, la contaminación excesiva, la congestión vehicular, demoras en los tiempos de viaje, altas tasas de accidentalidad, entre otros [23]. Problemas que hasta el día de hoy no han podido ser solucionados.

- 2) Económico: Con el tiempo los problemas de TransMilenio ha generado un déficit financiero que llega a los \$2,1 billones [24]. Para dimensionar la gravedad, eso es lo que cuesta la construcción de una troncal entera (Bogotá tiene siete) o lo que podría costar el corredor verde de la Séptima [25].

Para entender las razones que propician la difícil situación financiera de TransMilenio es importante empezar por describir el funcionamiento del sistema de transporte. Para la puesta en marcha inicial, el Distrito y la Nación aportaron todos los recursos necesarios en la construcción de la infraestructura; junto con ello, asumieron los costos del aseo y la vigilancia en la fase I, así como el mantenimiento de las estaciones de las fases I y II, y los gastos de implantación y puesta en marcha del centro de control del sistema. Los agentes privados, por su parte, aportaron únicamente la flota de buses, razón por la cual, durante los primeros 10 años de funcionamiento, la mayor parte de la tarifa recaudada se destinó a pagar la inversión que habían hecho los operadores privados: se les reconoció el 15% de rentabilidad sobre cada bus y una depreciación del 10% [21]. Además, por supuesto, de pagarles por su servicio de operación. En el sistema se articulan cuatro tipos de agentes privados: 1. los operadores troncales, que manejan la flota que circula por las troncales y se encargan de su mantenimiento, además contratan y capacitan a los conductores del sistema, 2. los operadores alimentadores, quienes se encargan de la flota rodante en rutas

alimentadoras y de su mantenimiento, 3. los operadores de recaudo, que básicamente reciben de los usuarios el dinero por venta y recarga de las tarjetas (pasajes). Finalmente, 4. una fiduciaria, que tiene la responsabilidad de administrar los ingresos y de pagarles a todos los operadores. Por su parte, TransMilenio es el agente de gestión y coordinación de todo el sistema [23]. Para el 2006, la participación de TransMilenio S.A sobre la tarifa cobrada a los usuarios era del 5,3 % (Muy baja con respecto a los recursos públicos invertidos en la infraestructura y operación de las estaciones y portales). Por su parte, los porcentajes para los operadores privados se distribuían de la siguiente manera: 1. Troncales: 70,7 % (incluyendo fiduciaria), 2. Alimentación: 15,3 % y 3. Recaudo: 8,7 % [21]. A la luz de las cifras, mientras estos operadores se enriquecían recibiendo altos porcentajes de utilidad por sus servicios, la inversión pública claramente no se recuperó en ninguna medida. Es así como el dinero recaudado de lo que pagan los usuarios ha sido insuficiente para cubrir los costos operativos, tanto que desde el 2003 (apenas 3 años después de la inauguración de TransMilenio) el sistema viene con un déficit financiero que ha tenido que ser subsidiado por el Distrito, como lo muestra la (anexo 4). El déficit se agravó en 2012 bajo la alcaldía de Gustavo Petro, quien, usando la figura de un descuento, otorgó un subsidio generalizado en las horas “valle” (franjas horarias en las que el sistema tiene bajo flujo de pasajeros) sin tener claridad sobre cómo lo costearía [26]. Esta situación, aunque trajo cierto auxilio a los usuarios, terminó por empeorar el hueco financiero, mientras que en 2011 el déficit de TransMilenio era de \$8.547 millones, en 2012 fue 11,5 veces mayor y en 2014 75,2 veces más [26]. Por otro lado, el contenido de los contratos de concesión fijó inicialmente un Índice Pasajero Kilómetro (IPK) que se trataba de una tarifa técnica que tenía en cuenta el número de pasajeros transportados y de kilómetros recorridos para calcular la remuneración de los operadores, los alimentadores, los recaudadores y la empresa TransMilenio [21]. Ahora bien, sabiendo que la circulación en el sistema de transporte cambia con las horas del día, siendo mucho mayor en las llamadas horas pico, este método no resultaba tan provechoso para los agentes privados, pues en ciertas franjas era bajo el flujo de usuarios, lo que resultaba, seguramente, en menores utilidades para los privados. Aunque estos contratos encontraban vencimiento diez años después de firmados (es decir en el 2009), la administración de Samuel Moreno (2008-2011) no adelantó la licitación para reponer la flota de las fases I y II. Por lo que, ya en el 2012, Petro optó por darle continuidad a los mismos contratos. Sin embargo, para el 2013, se suprimió el IPK y se pasó a una equivalencia de pago por kilómetro solamente [21], acción que eliminó completamente el riesgo de disminución de las tarifas pagadas a los operadores, pues ahora, independientemente de si un bus iba lleno o no, el pago sería el mismo. Con esto, como era apenas lógico esperar, el déficit aumentó. Adicionalmente, el sistema empezaba a revelar sus deficiencias: grandes congestiones en horas pico, daños en la infraestructura, inseguridad, aumento de “colados”, etc. Aunque la situación financiera presentó

mejoras para el 2015, lo cierto es que la fase III (Sistema Integrado de Transporte Público SITP), desde el momento cero ha presentado retrasos y malas planeaciones, traducidas en altos sobrecostos que se han sumado a la ya preocupante situación del sistema de transporte en Bogotá. De acuerdo con Transmilenio S.A, el déficit pasó de \$677.000 millones en 2016 a \$734.758 millones en 2018 [21]. Para el 2018, de nuevo con la ciudad bajo el mandato del principal artífice de TransMilenio, Enrique Peñalosa, se abrieron dos licitaciones diferentes: una para suministro de buses y otra para su operación y mantenimiento [21], es decir, contrario a como se venía manejando, se celebrarían dos contratos distintos: el primero para quien adquiriera la nueva flota de buses y el segundo, para quien la operara, lo que a simple vista, significaba el pago de dos tasas de rentabilidad a esos operadores, en vez de a uno solo.

El 2020, como es bien sabido, trajo consigo la pandemia por Covid-19 y con ella una larga lista de problemas. Por supuesto, el sistema público de transporte en Bogotá no fue ajeno a la situación, la crisis generalizada provocó un aumento del déficit en \$1,2 billones, que sumado a los \$0,9 billones que se acumulaban del 2019 resultan en la alarmante cifra de \$2,1 billones [25]. Algunos actores políticos han afirmado que, gracias al modelo de los contratos con los operadores privados de Transmilenio y SITP, estos quedaron blindados ante la crisis del último año, ya que siguieron percibiendo su rentabilidad a pesar de que la demanda bajó ostensiblemente, dejando toda la carga al operario público. Además, se ha puesto en la conversación la firma de un otrosí en el 2019, asegurando que disparó los costos de la operación [27].

Es evidente la terrible situación financiera que atraviesa TransMilenio y aunque no es una cuestión de los últimos tiempos, es claro que la pandemia generó un efecto realmente devastador. La Administración Distrital debe establecer estrategias para enfrentar la crisis, que incluyan el replanteamiento de los contratos actuales con los operadores privados y las inversiones al SITP. Toda esta situación empeora con la vandalización de la infraestructura del sistema TransMilenio en los últimos años, junto con el aumento de los colados, la creciente inseguridad y el deterioro físico del sistema, que, en últimas, afecta en mayor medida a los ciudadanos que diariamente están obligados a usar el transporte público, sea cual sea su estado.

- 3) Sociocultural: La accesibilidad al Transporte público como derecho de los ciudadanos debe garantizar la prestación de este servicio a toda la población. Una ciudad como Bogotá que manifiesta un aumento poblacional creciente y acelerado en los últimos años requiere un eficiente sistema de transporte público urbano que atienda la alta demanda de movilidad de sus habitantes. Los complejos fenómenos socioeconómicos y culturales que vive el país como la creciente participación de la mujer en el mercado laboral, el control natal y el efecto neto de la migración hacia la ciudad, han ubicado el crecimiento de la población en tasas promedio de 2.8%. Adicionalmente la segregación socioespacial es uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta, partiendo de la ubicación de los estratos 1, 2 y 3 de menores ingresos al sur y zonas periféricas1, el sector

industrial en el occidente, el comercio, los servicios e instituciones en la zona céntrica de la ciudad y los estratos 4, 5 y 6 de ingresos más altos, se encuentran ubicados en el nor-orienté de la ciudad Los usuarios que más utilizan TransMilenio corresponden a los estratos 2 y 3, por lo que cualquier decisión que pueda imponer condiciones desfavorables para ellos en materia de mayores gastos, golpea directamente el derecho al acceso al transporte público [19]. El comportamiento y las conductas de los usuarios es fundamental para establecer cambios en el sistema, en este sentido un estudio realizado por Angie Katherine López Torres de la Universidad Distrital denominado El bogotano nace bueno y TransMilenio lo corrompe analiza el sentimiento compartido de los usuarios donde la cotidianidad en el sistema obliga a actuar bajo los parámetros de la ley del más fuerte, ley que apoya la representación social del sistema: Inseguro, caótico e ineficiente, en el que convierten al ciudadano en un ser feroz y poco solidario guiado por los comportamientos de las masas. [29]

- 4) Tecnológico: Frente a los grandes retos de movilidad en las diferentes ciudades surgen tecnologías como el internet de las cosas, la inteligencia artificial, machine learning, entre otras que promueven la digitalización y la gestión del tráfico en forma dinámica, las cuales permiten la evolución de los sistemas de transporte inteligente. La configuración de la logística de la ciudad se basará cada vez más en una suma de la información histórica y las nuevas realidades que ofrece las técnicas de la inteligencia artificial. Estas permitirán la optimización de la gestión de tiempos, cobros y apoyo a los terceros. Adicionalmente en términos de congestión, toda esta información podrá evitar atascos y por ende reducirlos, también permitirán la adaptación del transporte público a la demanda real. [16] Las nuevas tecnologías sin lugar a duda tienen una alta incidencia en el desarrollo económico y la innovación de los países. El estudio resultante de la Conferencia de Comercio y desarrollo de la ONU denominado “Technology and Innovation Report 2021” presenta el índice de desarrollo e innovación basado en variables de inversión pública, digitalización, actividades de investigación y desarrollo, acceso a la financiación, capacidades de investigación y sobre todo, en indicadores de resultados como patentes y publicaciones en temáticas TIC. Los resultados de esta investigación resaltan la y pomarada diferencia entre los países ricos y en desarrollo por el avance científico y tecnológico de las TIC. Los países que lideran la investigación y desarrollo asociado a la inteligencia artificial son: China y Estados Unidos sin dejar de lado Suiza, Reino Unido, Suecia, Singapur, Finlandia y Corea. Pero ¿Cómo está Colombia respecto a innovación? Colombia aparece en la mitad del camino en investigación y desarrollo tecnológico para el futuro digital, en la mitad alta del ranking ocupando el puesto 78 de 158 países evaluados. Así mismo, Colombia ocupa el puesto 71 en el indicador integrado de TIC, el puesto 56 en acceso financiero, el 53 en capacidades de I+D, y el puesto 90 en apropiación de estas tecnologías por parte de la Industria. El reto para Colombia consiste en multiplicar los esfuerzos en el desarrollo tecnológico nacional impulsando el

crecimiento de los grupos de investigación enfocados en ingeniería y tecnologías que corresponde al 19% según un informe publicado por MinCiencias, de igual forma promover el enfoque en nuevas temáticas como gobernanza de internet, apropiación TIC, e-commerce, entre otros. [30]

#### D. Factores críticos de éxito:

Luego de analizar los factores del entorno interno y externo de TransMilenio, se proponen los factores críticos de éxito a tener en cuenta para la implementación del reconocimiento facial en el sistema de recaudo, de tal forma que este debe:

- 1) Garantizar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.
- 2) Mejorar la eficiencia del sistema.
- 3) Adaptarse al comportamiento de la demanda.
- 4) Controlar el ingreso de los usuarios a través de la validación del pasaje.
- 5) Responder a los retos relacionados con la ciberseguridad y la protección de datos personales de los usuarios.
- 6) Adaptarse al marco normativo que regula la movilidad en la ciudad.
- 7) Permitir integración de las tarifas y el acceso a los diferentes operadores del sistema (TransMilenio, Alimentadores, Urbano, Complementario y Servicio especial).

#### IV. ESTUDIO DE MERCADO

El objetivo del presente estudio de mercado es analizar el grado de satisfacción de los usuarios con el sistema de recaudo actual de TransMilenio, a través de la aplicación de una encuesta que permita identificar las debilidades del sistema de recaudo, las expectativas y las necesidades de los usuarios que buscan ser suplidas a través de un nuevo sistema de pago con reconocimiento facial. Así mismo reconocer el mercado real y potencial para la aplicación del proyecto y la competencia frente a otras alternativas de pago. La metodología empleada inicia con el diseño y aplicación de la encuesta posteriormente se realiza el análisis del mercado (tamaño y la segmentación), Los clientes y la competencia.

##### A. Diseño y aplicación de la encuesta:

Es estudio de mercado se realiza a partir de fuentes primarias utilizando como herramienta la aplicación de encuestas, se inicia con la definición de la muestra, la cual es parte fundamental para obtener resultados más precisos de la población que se considera representativa, el diseño se establece a partir de 3 etapas: Tipo de muestra, tamaño de la muestra y el número de encuestas.

- 1) Tipo de muestra: El tipo de muestra en población finita, permite definir el tamaño de la muestra en términos cuantitativos teniendo en cuenta las validaciones del sistema en los tres últimos meses (enero, febrero, marzo) del presente año.
- 2) Tamaño de la muestra: Para determinar el tamaño de la muestra es necesario contar con un marco referencial como una lista de unidades que esté disponible en cuanto a la población en la que se basan los esquemas del muestreo.

Es por eso que se tiene en cuenta las validaciones diarias en de los primero tres meses del presente año.

##### Suma promedio de las validaciones:

$$X = \frac{\sum x}{n}$$

Donde,  $\sum x$  es igual a 8,43377E+13 equivalente a la suma elevada al cuadrado de las validaciones en los primeros tres meses del presente año y n igual a 90 días (tres meses). Se obtiene el siguiente resultado:

$$X = \frac{8,43377E + 13}{90}$$

$$X = 915.110$$

##### Desviación estándar: $\sigma$

$$S^2 = \frac{\sum x^2 i - n^2}{n - 1}$$

Teniendo en cuenta el resultado de la suma promedio, se remplazaron valores y se obtuvo el siguiente resultado:

$$S^2 = \frac{8,43377E + 13 - 90(915.110)^2}{90 - 1}$$

$$S^2 = 99659282341$$

##### Muestra "n":

$$n_o = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Finalmente se obtiene un tamaño de muestra con un nivel de confianza del 90% que equivale al Z igual a 1,645 y un error con el que obtuvo teniendo en cuenta la suma promedio multiplicada por 5%. Se obtuvo como resultado:

$$n_o = \frac{1,645^2 (99659282341)}{45.755^2}$$

$$n_o = 129$$

- 3) Encuesta: Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra se realizaron 129 encuestas, con 17 preguntas. Las dos primeras están relacionadas directamente al usuario, las siguientes ocho preguntas son sobre el sistema actual de recaudo utilizado por TransMilenio y la opinión del usuario frente al mismo y las últimas siete hacen referencia al sistema de reconocimiento facial y la percepción del mismo en cuanto a la implementación de la tecnología.

##### B. Análisis del mercado:

Teniendo en cuenta la información suministrada por TransMilenio de las estadísticas de oferta y demanda del SITP

[31] en la TABLA I se registra la demanda de los años 2017, 2018, 2019 en las estaciones de TransMilenio. Para fines de la investigación se excluyen los datos del 2020 y los meses transcurridos del presente año por cambios atípicos en la demanda resultado de la contingencia sanitaria COVID-19.

TABLA I.

DEMANDA DE USUARIOS EN ESTACIONES DE TRANSMILENIO

| Mes\Año | 2017        | 2018        | 2019       |
|---------|-------------|-------------|------------|
| Feb     | 103.254.512 | 94.553.784  | 93.783.994 |
| Abr     | 91.388.791  | 95.655.187  | 90.909.823 |
| Jun     | 92.419.473  | 87.385.299  | 85.133.465 |
| Ago     | 93.429.507  | 100.150.719 | 96.174.153 |
| Oct     | 102.858.775 | 101.951.963 | 99.187.657 |
| Dic     | 99.333.181  | 87.949.426  | 84.480.046 |

A partir de los datos de la TABLA I, se hace una estimación de la demanda anual de 94.444.431 usuarios, de los cuales se denomina MERCADO REAL a los usuarios que utilizan frecuentemente el sistema y realizan su respectiva validación del pasaje. Según las bases de datos más recientes de la organización se establece un promedio de 915.110 validaciones diarias en las estaciones del sistema. Así mismo la aproximación de la demanda futura se denomina como MERCADO POTENCIAL determinada a través del modelo de pronóstico de suavizamiento exponencial simple teniendo en cuenta el comportamiento de los datos históricos de la demanda.



Fig. 1. Grafica por el modelo de pronóstico de suavizamiento exponencial.

Por lo tanto, para pronosticar las validaciones por bimestre el 2021 se llevó a cabo por el mismo método, dando como resultado valores pronosticados para cada uno de los bimestres.

TABLA II  
DEMANDA PROYECTADA PARA EL 2021

| 2021      |             |
|-----------|-------------|
| MES       | DEMANDA     |
| Febrero   | 101.689.576 |
| Abril     | 91.695.102  |
| Junio     | 91.351.433  |
| Agosto    | 94.226.992  |
| Octubre   | 102.454.106 |
| Diciembre | 97.064.069  |

Por último, para determinar el mercado meta de la investigación es necesario agrupar los usuarios de TransMilenio con

características similares según los datos de edad y estrato socioeconómico. El porcentaje de usuarios para estas categorías se registra en las tablas III y IV respectivamente de acuerdo a la encuesta realizada y se denomina SEGMENTACIÓN DEL MERCADO, de la cual podemos establecer que el mercado meta para la aplicación del proyecto son los usuarios entre 15 y 40 años de estrato 3.

TABLA III.

PROCENTAJES SEGÚN LA EDAD DEL USUARIO

| EDAD           |     |
|----------------|-----|
| 15 a 25 años   | 42% |
| 26 a 40 años   | 39% |
| 41 a 60 años   | 18% |
| más de 60 años | 1%  |

TABLA IV.

PORCENTAJES SEGÚN EL ESTRATO SOCIECONOMICO DE LOS USUARIOS

| ESTRATO SOCIECONOMICO |     |
|-----------------------|-----|
| 1                     | 2%  |
| 2                     | 16% |
| 3                     | 76% |
| 4                     | 20% |
| 5                     | 59% |

### C. Clientes:

Para ofrecer un nuevo servicio en TransMilenio es necesario conocer al usuario, del cual se espera que acepte y haga uso del servicio propuesto de pagos con reconocimiento facial. Para esto es necesario conocer su experiencia, opinión y nivel de satisfacción con el recaudo actual, analizando variables como: el nivel de importancia que le da al sistema para las operaciones de TransMilenio; las problemáticas que considera están afectando la eficiencia del mismo; dónde, cómo y con qué frecuencia recarga la tarjeta TuLlave. Además, es necesario identificar sus preferencias respecto a los medios de pago frecuentados en el transporte público y el interés que pueden tener los usuarios por los pagos con reconocimiento facial, determinando si estarían dispuestos a utilizarlo, y a cumplir con requisitos para su implementación como el suministro de información personal al sistema y actividad en el sistema bancario.

- 1) Satisfacción de los usuarios: Según la encuesta realizada, el porcentaje de usuarios satisfechos con el sistema de recaudo corresponde al 89% lo que quiere decir que la mayoría de las personas aprueban la Tarjeta TuLlave como medio de pago, sin embargo, destacan algunos inconvenientes con el servicio prestado. Las demoras por parte del personal al momento de recargar la tarjeta es una de las problemáticas más destacadas por los usuarios, además, la congestión en taquillas y torniquetes del sistema, los costos elevados en la adquisición de la tarjeta, la falta de control del ingreso de usuarios al sistema e insuficiente divulgación de información de puntos de recarga externo. Así mismo para identificar las necesidades de los usuarios, se hizo un acercamiento de dónde, cómo y con qué frecuencia utilizan el sistema de recaudo. Para ingresar a TransMilenio se debe realizar la recarga de la



tarjeta TuLlave, el sistema tiene a disposición de los usuarios varios puntos alrededor de la ciudad, siendo los principales las taquillas ubicadas en estaciones y portales, cuyos horarios de atención corresponden al horario de operación del sistema de Lunes a viernes de 4:00 am a 11:00 pm, sábado de 5:00 am a 11:00 pm y domingos y festivos de 5:00 am a 10:00 pm, adicionalmente Recaudo Bogotá cuenta con más de mil puntos de recarga ubicados en droguerías, café internet y otros establecimientos. De los encuestados el 63% manifiestan tener puntos de venta cercanos a su lugar de residencia, de igual forma recargan la tarjeta a lo largo del día, las horas menos frecuentes para realizar este proceso es de 7:00pm a 11:00 pm. Finalmente, la validación del pasaje se efectúa a partir de la lectura de la tarjeta TuLlave en los torniquetes, de la cual se descuenta el valor del pasaje de acuerdo a la tarjeta que tenga el usuario. Según la encuesta realizada el 48% de los usuarios cuentan con tarjeta Plus (personalizada), seguido el 39% poseen la tarjeta básica (sin personalizar). Los otros porcentajes corresponden el 8% a las tarjetas híbridas (bancarias), un 2% a la tarjeta para personas en condición de discapacidad, otro 2% a la tarjeta plus especial (Adulto mayor) y por último 1% a la tarjeta apoyo ciudadano SISBEN.

- 2) Percepción de los usuarios frente a los pagos con reconocimiento facial: Para establecer la viabilidad del proyecto es indispensable analizar la aceptación del usuario frente al servicio propuesto, pues de esto dependerá las condiciones bajo las cuales se puede dar la implantación tecnológica en el sistema de recaudo. Por lo anterior se analiza la preferencia de los usuarios a la hora de elegir un medio de pago. En la figura 2 se puede observar que la mayoría de personas prefieren las aplicaciones en los celulares y el tradicional método del efectivo, sobre un 14% que prefieren el reconocimiento facial. Así mismo el 58,9% de los usuarios consideran que este podría mejorar el sistema de recaudo de TransMilenio.



Fig. 2. Grafica medio de pago preferido.

Para la aplicación de los pagos con reconocimiento facial, no solo es necesario conocer si la persona está dispuesta a utilizarlo o no, sino identificar el porcentaje de usuarios que hacen uso del sistema financiero a través de cuentas bancarias, de las cuales se descontaría el valor del pasaje. De los encuestados el 83,7% tienen cuenta, sin embargo,

del porcentaje que no tienen el 46,5% no están dispuestos a abrir una para hacer uso de los servicios. Adicionalmente el 48,1% afirman no disponer su información personal a la entidad lo que complicaría la aplicación del proyecto.

#### D. La competencia:

Para establecer la factibilidad de los pagos con reconocimiento facial es necesario conocer los diferentes métodos de pago que podrían implementarse en el sistema de recaudo de TransMilenio como: el efectivo, tickets, tecnología NFC y otros sistemas biométricos.

- 1) Efectivo: Se denomina efectivo a la forma de monedas o papel moneda (billetes) empleada entre tantas cosas para el pago del transporte público, una de las ventajas es que los clientes tienen o no tienen el dinero, de manera que no hay opción de aplazar o negociar el pago. Además, el pago en efectivo no requiere de intermediario que gestione el cobro y, por lo tanto, el 100% de lo acordado irá directo a la caja. Las desventajas radican en la vulnerabilidad a falsificaciones, y el requerimiento de la intervención manual de un operario, lo que puede generar errores en los cálculos matemáticos. [32]
- 2) Tickets: Hace más fluido el trámite de acceso al transporte ya que en cuestión de segundos se realiza la validación del recurso. Además, el costo del boleto o ticket está integrado en la tarifa del pasaje lo que permite que todas las personas puedan hacer uso del transporte público sin necesidad de un elemento específico que deban cargar. Como desventajas se encuentra que los boletos o tickets no facilitan la recopilación de información del Usuario y no favorecen el cuidado del medio ambiente. [33]
- 3) Tecnología NFC: La tecnología NFC (Near Field Communication) puede realizar comunicaciones inalámbricas de corto alcance entre los dispositivos electrónicos. Estos sistemas se caracterizan por su alta seguridad y velocidad de transmisión de datos. Rapidez y sencillez ya que no requiere introducir una tarjeta por una ranura, evita tener que cargar una tarjeta, ofrece una mayor personalización lo que favorece recopilar datos de los usuarios, el tiempo de conexión entre los dispositivos es extremadamente rápido, ya que tan solo lleva 0,1 segundo y por último casi todo el mundo tiene un móvil. Pero presenta algunas dificultades como: En caso de descarga o problemas en el celular se dificultaría el acceso al Transporte público, La distancia máxima a la que se pueden tener los dos dispositivos o aparatos tecnológicos es de 20 cm lo que puede ocasionar la copia de los códigos para uso fraudulento y por último No todas las personas están familiarizadas con el uso de estos dispositivos para transacciones. [32]
- 4) Sistemas Biométricos: Los sistemas biométricos son sistemas de identificación y verificación automática para la persona, en el que solo se analizan ciertos patrones de identificación biométrica que no se puede cambiar, manipular, falsificar o robar para reconstruir la información personal. Las principales ventajas conciernen a que no se corre el riesgo de pérdidas de un recurso físico, ya que los rasgos biométricos son los que habilitan el acceso de las personas al transporte público, además, no

requiere de renovación por caducidad, desperfecto, robo o pérdida. Sin embargo, como desventaja se tiene que existen distintas formas de engañar a sistemas biométricos poco elaborados, por el simple hecho de que los rasgos utilizados no son secretos, en caso de robo de los datos biométricos la persona puede resultar grandemente perjudicada, así mismo los sistemas que involucran la biometría requieren de un estricto control de la manipulación de datos de las personas. [34]

Frente a las diferentes alternativas de pago analizadas se busca la estrategia de ofrecer un servicio muy distinto al de la competencia cuya factibilidad depende de ofrecerlo a un precio razonable y de la existencia de clientes potenciales para el mismo.

## V. ESTUDIO TECNICO

“La tecnología es la herramienta que permite la ejecución y/o el desarrollo de las operaciones en forma eficiente y eficaz, es decir, la tecnología es el instrumento mediante el cual se optimiza, se reducen o se eliminan acciones que en el pasado imposibilitaban una cierta flexibilidad en los procesos” el objetivo de la inserción de nueva tecnología es la optimización de tiempos que representa ahorro financiero de los recursos destinados para las operaciones de Transmilenio. Por lo anterior a través del estudio técnico se establecen las condiciones controladas bajo las cuales se debe implantar el sistema de reconocimiento facial como sistema de pagos del sistema masivo, analizando los factores tangibles e intangibles que involucra el mismo.

### A. *Sistemas biométricos:*

El uso de sistemas biométricos permite la identificación y/o verificación de la identidad de personas a partir de características morfológicas o de comportamiento, propias y únicas del individuo, conocidas como autenticadores de los cuales podemos destacar: las huellas dactilares, la geometría de la mano, la cara, el termograma facial, el iris, la retina y la voz, como lo estableció Virginia Espinosa en su estudio “Evaluación de Sistemas de Reconocimiento Biométrico” de la Escuela Universitaria Politécnica de Matar. Este estudio plantea tres fases principales para la aplicación de los sistemas biométricos, la primera fase es la denominada entrenamiento o modelado en donde se identifican los patrones únicos de individuo, la segunda fase es de almacenamiento la cual requiere de una base de datos sólida y finalmente la fase de prueba donde se realiza el reconocimiento e identificación de la persona.

El reconocimiento facial tiene estipuladas técnicas que considera las propiedades globales de un patrón y su relación con el conjunto de características geométricas de la cara, es un Sistema no invasivo que permite la identificación de personas en movimiento, sin embargo, como debilidades se encuentra la susceptibilidad a problemas de iluminación y la imposibilidad de reconocer a sujetos que se han sometido a operaciones o tienen cambios en sus rostros.

Otro Sistema biométrico comúnmente utilizado es el reconocimiento de huellas dactilares analiza la presencia de crestas o partes donde la piel se eleva sobre las partes más bajas, estas están definidas a partir de su localización de acuerdo con las coordenadas espaciales respecto al Sistema de coordenadas

central de la imagen es un sistema no invasivo, que ha generado confianza y aceptación de las personas y de bajo costo. Las dificultades de este Sistema corresponden a que requiere de una elevada resolución de imagen digital, y las personas que presentan heridas o callosidades pueden inducir a problemas del reconocimiento.

Finalmente el reconocimiento de Iris es el Sistema que proporciona el mayor número de características únicas e individuales de las personas y actualmente la más estudiada por biólogos e ingenieros, se ejecuta a partir de la captura de la imagen a nivel de grises mediante scanners que escanean la superficie del ojo, es un Sistema no invasivo, cuya resolución será en función de la calidad de la imagen de la estructura del iris, la presencia de gafas o lentes de contacto no es un problema para aplicación. Sin embargo, es un Sistema de elevado tiempo de captura de imagen, de baja aceptación y elevado costo [37].

### B. *Riesgo tecnológico:*

La implantación de nuevos sistemas tecnológicos requiere el análisis del nivel de riesgo que representa para la organización y el grado de difusión tecnológica, los pagos con reconocimiento facial al ser una tecnología desconocida por la industria se sitúan en un alto nivel de riesgo de la adopción y un bajo grado de difusión tecnológica.

El riesgo se define como “Situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento”, o bien “Probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial” [35]. Uno de los principales peligros identificados en la implantación del reconocimiento facial está relacionado a la protección de los datos y la seguridad informática. Para ISOTools Excellence (2017), la seguridad de la información es la disciplina que nos habla de los riesgos, de las amenazas, de los análisis de escenarios, de las buenas prácticas y los esquemas normativos, que nos exigen niveles de aseguramiento de procesos y de tecnología para elevar el nivel de confianza en la creación, utilización, almacenaje, transmisión, recuperación y disposición final de la información” [36]. Según el estudio realizado por Jonny Julián Sánchez Gómez especialista en seguridad informática la tecnología trabaja en el desarrollo de herramientas que garanticen mayor seguridad en los procedimientos a través de los servicios de autenticación. Los sistemas biométricos como toda herramienta tecnológica también sufren amenazas y vulnerabilidades como el robo de información y transacciones riesgosas, sin embargo, se identifican mayores ventajas frente a las desventajas de estos sistemas [38].

Según la encuesta realizada el porcentaje de personas que están dispuestos a suministrar información personal a TransMilenio es el 51,9%.

- 1) Capacidades Innovativas: Las capacidades tecnológicas de un ente están conformadas por una gran variedad de fuentes de conocimientos e innovación, ya sean éstas tácitas y/o codificadas. Algunas de ellas están compuestas de nuevas ideas e invenciones, otras subyacen inmersas en equipo, maquinaria e infraestructura. Para su respectivo análisis se debe considerar: La creación de tecnología (patentes, artículos científicos); La infraestructura tecnológica (penetración de tecnologías de información y de comunicaciones, etc.); y el desarrollo del capital humano especializado (mano de obra necesaria).

### C. Creación de la tecnología:

Frente a la importancia del transporte público en el desarrollo social y su alto impacto en la calidad de vida de las personas se han desarrollado varios estudios con el fin de proponer alternativas de solución a algunas problemáticas identificadas en TransMilenio como: la congestión en el sistema, la ineficiencia de las tarjetas TuLLave y la evasión del pasaje, haciendo uso de herramientas tecnológicas que cada vez se ajustan más a las necesidades del transporte público.

Daniel Jaramillo, docente de la universidad Javeriana Ph.D. en telecomunicaciones y magister en ingeniería electrónica se ha dedicado a estudiar el transporte de Bogotá y diferentes tecnologías que podrían mejorarlo. Frente a la problemática de congestión en TransMilenio y su incidencia en la calidad del servicio, utilizó diferentes técnicas para tratar de contar las personas y medir la congestión. La primera fue la detección y seguimiento de las cabezas de los usuarios a través de una computadora, cámaras y un algoritmo. La segunda: un ‘Sniffer Wi-Fi’ (físgón en español), que iba pegado en algunas partes de la estación y en el bus para capturar los mensajes Wi-Fi que hay en el aire para la estimación del número de personas que hay en los alrededores del lugar y finalmente la técnica que utiliza Transmilenio actualmente para hacer algunas de sus mediciones de congestión, a través de un equipo aforos, es decir, personas encargadas de monitorear con lápiz y papel el movimiento de los buses y estimado de personas que se suben en ellos. La tecnología propuesta consiste en grabaciones de voz en vez de escribir, pasándola voz a texto y el texto a datos, para que la información fuera más precisa y fácil de procesar.

Una conclusión directa del estudio se traduce en que Transmilenio no es una tecnología desarrollada ni estable, sino que es un gran experimento. Para el año 2000 ninguna ciudad había intentado mover tanta gente a través de un sistema de buses como el plan que tenía Bogotá [39].

Otra de las investigaciones realizadas por los ingenieros Nancy Gálvez y Oswaldo de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas corresponde al diseño de una aplicación prototipo para dispositivos móviles Android que permita recargas y acceso al sistema de transporte TransMilenio mediante tecnología NFC en la cual resaltan que la recarga de una tarjeta virtual por medio de una tarjeta de crédito favorecería el proceso de recarga, el acceso a la estación y la descongestión en las taquillas, sin embargo puede incrementar los problemas de inseguridad.

Finalmente, frente a la evasión del pasaje como principal problemática a mitigar a través de los pagos con reconocimiento facial encontramos el estudio realizado por Edward Steven Burgos Prada, Nicolas Velázquez Martínez y Laura Alejandra Rosero denominado Sistema de tratamiento de imágenes con tecnologías IOT para el control y monitoreo: caso de estudio evasión por puerta de vagón en las estaciones de TransMilenio. Este estudio identifica múltiples soluciones de tratamiento de imágenes que permiten la detección y el conteo de personas, el modelo propuesto puede ser adaptado a estudios que requieran dicha información en tiempo real.

### D. Infraestructura tecnológica:

“La inversión en infraestructura tecnológica y los nuevos arreglos y disposiciones dentro de las instituciones y la

propiedad intelectual, facilitan el comportamiento innovativo” [38].

Las tecnologías de la información y comunicaciones siempre han estado presentes en el desarrollo de TransMilenio S.A y se plantean en el PETI (Plan estratégico de tecnologías de la información) de la entidad tomando como base la estrategia mundial para el desarrollo del transporte público conocida como sistemas inteligentes de Transporte (ITS). Su construcción se sustenta en la transformación de la estrategia misional en iniciativas, proyectos y componentes operativos de ITS. En este documento se establece que el sistema masivo no cuenta con infraestructura adecuada para el flujo de información lo que ha ocasionado pérdida de datos, además, se identifican debilidades en el soporte, mantenimiento y capacitación del manejo de nuevas tecnologías.

Los procesos de TransMilenio se dividen en procesos: estratégicos, misionales, de apoyo, de evaluación y control. En los procesos estratégicos se encuentra el subproceso de gestión de TIC, en donde se consolidan los servicios de tecnología de información, seguridad y privacidad de la información, gobierno digital y la ruta de actualización tecnológica de la infraestructura. Los procesos misionales se dividen en planeación, supervisión, control de la operación y monitoreo de los sistemas integrados de Transporte público a su vez estos subprocesos se alimentan de la información suministrada por el SIRCI (Sistema Integrado de Recaudo, Control e Información) encargado del componente tecnológico de TransMilenio.

El SIRCI se divide en cuatro niveles, el primer nivel corresponde a los dispositivos empleados para las operaciones de recaudo, control de flota y sistema de información de servicio al usuario, a los cuales los usuarios tienen acceso (estaciones, buses, puntos de venta y atención al usuario) luego en el segundo nivel se encuentran los dispositivos especiales que alimentan la información a bases de datos, servidores, almacenamiento y computadores asignados a cada operación y

que se encuentran en el tercer nivel. Finalmente, en el cuarto nivel se da la consolidación e integración de la información.

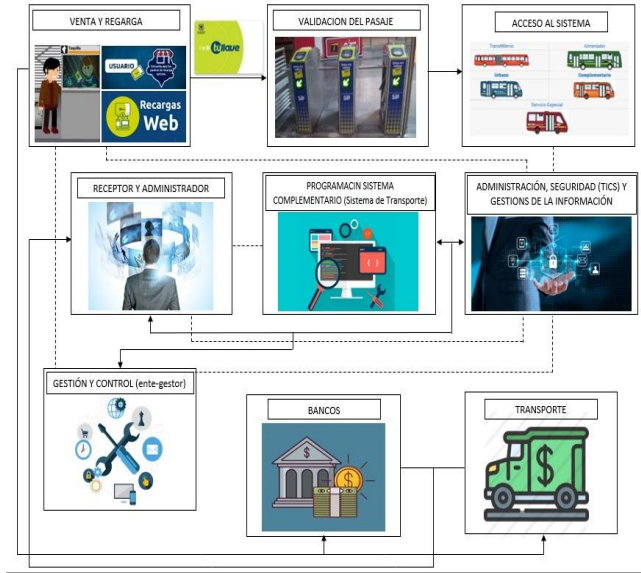


Fig. 3. Esquema funcional del sistema de recaudo.

**E. Tendencias:**

En los sistemas de pago de transporte público. La digitalización revolucionó la forma de interacción de las personas a través del uso del pago electrónico. Waldo Uribe, regional producto mánager de la pasarela de pagos Kushki afirma que el reto para los sistemas de pago será descomprimir las filas en los puntos de recarga. En Perú una alianza entre Kushki y la empresa wego permitió integrar una App que permite a las empresas participantes de la red pública cobrar el pasaje vía QR, afiliado a tarjetas de crédito y pago recurrente de los usuarios.

Seul-Corea es otro de los países que revolucionó el sistema de pago del transporte público por medio de la tarjeta interoperable T-Money incorporada en los teléfonos móviles, la cual facilita el pago de bus, metro, taxi, bicicleta y vehículos eléctricos a través del clearing unificado y servicio NFC. Este sistema logró reducir el uso de efectivo entre 2004 y 2017.

En conclusión las tendencias en el sistema de recaudo automático de Transporte público es el uso de la tarjeta sin contacto abierto tipo EMV como estándar internacional definido por Europay, MasterCard y Visa en conjunto, para tarjetas de débito/crédito y por otro lado la arquitectura basada en cuentas, la cual gracias al mejoramiento del servicio, cobertura y bajo costo en las comunicaciones inalámbricas posibilitaron los pagos hacia las tecnologías sin contacto mejorando la eficiencia del recaudo. Sin embargo, los problemas comunes en los sistemas de saldo en tarjeta radican en la insuficiencia de cobertura, disponibilidad de recarga externa y el incremento de los costos por disponer de un equipo. Adicionalmente las inquietudes de los usuarios son las limitaciones físicas para la recarga de sus tarjetas de manera presencial en puntos específicos.

Ji chan Young presidente de LG ELECTRONICS COLOMBIA en el congreso y feria internacional de Transporte de pasajeros afirma que se espera que las tecnologías biométricas tracen una

nueva tendencia en el pago del transporte público. “Sin embargo esas nuevas tecnologías necesitan ser maduras y consolidadas en entornos exigentes de ciudades con millones de usuarios, antes de ser considerado como una solución real. En otras palabras, no se trata de salir a adoptar las últimas tecnologías para sus ciudades, sino maximizar los sistemas existentes con el uso de técnicas como las tarjetas bancarias (híbridas), móviles NFC, et, considerando que el transporte es un ‘contenido de oro’ para atraer a las personas no bancarizadas al sistema financiero.”

Según el estudio de mercado de la presente investigación el 83,7% de usuarios tienen una cuenta y 53,5% estarían dispuestos a abrir una cuenta bancaria para hacer uso de los pagos electrónicos con arquitectura basada en cuentas.

En colaboración con la universidad de Stanford, Visa, realizó un estudio en el cual emite una serie de recomendaciones para hacer del transporte público una experiencia de movilidad que mejore la vida de las personas que lo utilizan estas son: Invertir en conectividad, lo que requiere de una infraestructura de datos siempre activa; crear una experiencia de pago fácil para respaldar los viajes diarios; diseñar sistemas que tengan en cuenta a todos los miembros de la sociedad y desarrollar asociaciones estratégicas para impulsar la comprensión. “Las ciudades deben asociarse con corporaciones que puedan ofrecer una visión más amplia, ayudando en la planificación. La inteligencia artificial en combinación con Big Data se puede usar para analizar datos sobre el consumo, el movimiento y las tendencias cambiantes para anticipar las necesidades en tiempo real, así como para brindar a las ciudades información que puede ayudar en la planificación futura”.

**F. Tiempos de adopción:**

Se tiene en cuenta la investigación y desarrollo de la tecnología y la adquisición de tecnología externa y el funcionamiento organizacional.

- 1) *Investigación y desarrollo:* Estos términos se comprenden bajo el modo de Research and Development (R&D) el cual está relacionado estrictamente en lo administrativo, en donde los responsables son quienes toman la decisión en el proceso de selección de las alternativas. La siguiente tabla expone los tres diferentes tipos de R&D y sus características.
- 2) *Adquisición de tecnología externa y el funcionamiento organizacional:* Teniendo en cuenta el Anexo IV para tomar la decisión de realizar o comprar depende del crecimiento del mercado y el progreso tecnológico. Por lo que se debe tener en cuenta diferentes situaciones de selección.

TABLA V  
SITUACIONES DE SELECCIÓN DE R&D

| SITUACION  |  |
|--|--|
| Progreso tecnológico lento y crecimiento del mercado lento/moderado: | Cuando se obtienen resultados exitosos en la R&D, se logrará una ventaja del producto o de los procesos de producción de la innovación.  |
| Progreso tecnológico rápido y crecimiento del mercado lento:         | Los esfuerzos en R&D puede resultar riesgosos, ya que pueden conducir al desarrollo de nuevas tecnologías no implementables o tecnologías para las cuales no existirá mercado, dado que no existe una necesidad a corto plazo para |

|  |   |
|--|---|
|  | su adquisición por parte de las organizaciones.   |
| Progreso tecnológico lento y crecimiento del mercado rápido: | No hay tiempo suficiente para el desarrollo de R&D interna, la estrategia apropiada en este caso es el licenciamiento de la tecnología por parte de la corporación. |

Por lo anterior la forma complementaria para el desarrollo de criterios que permitan la optimización en la selección y evaluación de alternativas, se deben tener en cuenta el grado de ventaja en cuanto a la disponibilidad de empresa después de la implantación, lo que depende del grado de autonomía con respecto a la utilización de la tecnología, el tiempo de retazo necesarios para la incorporación de la tecnología es decir los bienes de la organización, el costo de adquisición que es relativo dependiendo de la tecnología y el riesgo relativo que representa la adquisición tecnológica al incorporar los en la corporación u organización [40].

#### G. Tiempos de operación:

Tiempo de operación es el tiempo que tarda en realizarse un trabajo o una operación, para determinar el tiempo de operación que realiza el usuario al validar el pasaje se tomaron en cuenta las bases de datos de los primeros tres meses (enero, febrero y marzo) del presente año proporcionadas por TransMilenio en cuanto a las validaciones registradas en todo el sistema, se lleva a cabo de tal manera dada la situación actual del mundo en cuanto al virus Covid-19, el paro nacional por el cual Colombia está atravesando.

Las bases de datos registran validaciones cada 15 min desde las 3:00 am hasta las 12:15 pm, sin embargo, el horario del sistema para los usuarios es de 4:00 am a 11:00 pm. Por lo tanto, de filtran cada 15 min para determinar el promedio de las validaciones registradas (Anexo 5 y 6).

En la franja de la mañana (a.m.) el promedio más alto en validaciones (43 validaciones) se registra en el rango de 6:00 a 6:30 a.m. de tal forma que los usuarios tardan aproximadamente 172,02 segundos en validar el pasaje. Mientras que en la franja de la tarde (p.m.) el promedio más alto en validaciones (43 validaciones) se registra en el rango de 5:15 a 5:30 p.m. es decir los usuarios tardan aproximadamente 172,13 segundos en validar el pasaje, similar a la franja de la mañana.

#### H. Atributos de la tecnología:

1) Fases del reconocimiento facial: Donde se maneja conceptos teóricos en cuanto al funcionamiento de sistemas que controlen el acceso como el reconocimiento facial, determinando características de los algoritmos y por último el sistema consisten en la clasificación de los patrones del rostro.

Detección del rostro: Al momento de detectar un rostro se evidencia las áreas de la imagen digital en donde se aprecia el rostro de la persona, es decir que las áreas que no tienen rostro son eliminadas, así como ignorar el fondo, de tal forma se genera una silueta del rostro identificado. Para la

detección del rostro existen varios métodos como plantilla, Bootstrap, AdaBoots.

Extracción de características: La extracción hace referencia a la obtención de propiedades y parámetros de cada rostro y así poder clasificarlos. Tiene tres enfoques; enfoque holístico, basándose en la imagen del rostro como un todo, enfoque mediante características locales, dando mayor importancia a las diferentes partes del rostro (geometría facial) y enfoque híbrido, basado en la idea de que el sistema de percepción humana combina características locales y globales para el reconocimiento.

Reconocimiento: La etapa final consisten en la identificación de los patrones de la etapa anterior y la verificación de los mismo, así poder comprar los patrones obtenidos con los establecidos por el sistema. El reconocimiento es la clasificación de las características del rostro la cual puede ser controlada es decir que en el patrón de entrada se identifica como miembro de una clase predeterminada. Este se puede distinguir en tres aproximaciones; concepto de similitud, aproximación probabilística, optimización de un criterio de error.

- 2) Reconocimiento de imágenes fijas: El reconocimiento de imágenes fijas es un tipo de reconocimiento en el que usa imágenes de referencia que están almacenadas en el sistema, estas se usan para identificar si la imagen de entrada pertenece al conjunto de imágenes registradas anteriormente. Requiere de pasos para su correcto funcionamiento, en la figura se especifican los bloques de cada uno de los pasos.

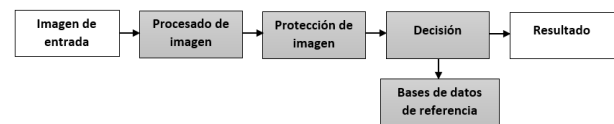


Fig. 5. Diagrama de bloques del sistema.

El sistema necesita de un set de imágenes de referencia las cuales son procesadas y proyectadas en el nuevo subespacio, luego son utilizadas para conocer si una imagen pertenece o no a un individuo registrado en el sistema.

Cuando las imágenes de referencia están correctamente proyectadas, se realiza el mismo procedimiento con las imágenes de prueba. Estas pueden pertenecer a personas que estaban incluidas entre las imágenes de referencia, pero mostrando diferentes expresiones faciales o diferentes condiciones del entorno [41].

- 3) Funcionamiento del sistema según el medio de factores externos: Para tener un funcionamiento correcto se deben

tener en cuenta característica que puedan afectar la viabilidad del reconocimiento facial.

TABLA VI  
FACTORES EXTERNOS Y SUS CARACTERISTICAS

| FACTOR EXTERNO           | CARACTERISTICAS   |
|--------------------------|---|
| Cámara                   | Teniendo en cuenta que “incluso bajo la misma iluminación, la distribución del color de la piel para la misma persona difiere de una cámara a otra dependiendo de las características del sensor de la cámara. El color reproducido por una cámara CCD “(Charge Coupled Device o, en español, Dispositivo de Carga Acoplada) el cual es un tipo de sensor que es sensible a la luz y trabaja a manera de líneas de pixeles con una cobertura de los colores primarios (RGB)”[36 Y estas cámaras dependen de la reflectancia espectral, que prevalece condiciones de iluminación y sensibilidades del sensor de la cámara.” [42] |
| Etnia                    | Se refiere al color de las personas dado que varía su color dependiendo del grupo étnico al que pertenezca y personas de diferentes regiones.   |
| Individuales (Personas)  | Hace referencia a características propias de la persona como la edad, el sexo, partes del cuerpo que afectan el color de la piel.   |
| Factores externos        | Hace referencia a factores como maquillaje, accesorios, colores de fondo, sombras.  |
| Variación de iluminación | Esta característica afecta directamente el reconocimiento facial, por lo que científicos e investigadores han tratado de mitigar el efecto que hace la luz al momento del reconocimiento, ya que es difícil identificar patrones específicos cuando el color de la piel cambia constantemente.  |

En el caso de la iluminación es importante tener en cuenta si es expuesta o subexpuesta, donde subexpuesta en comparación con la escena original, muestra una notable falta de luz es decir la foto es oscura, expuesta es la imagen que recoge la cantidad de luz adecuada para representar con precisión la escena de la toma y sobreexpuesta en comparación con la escena original, muestra un notable exceso de luz es decir la foto es clara.

- 4) **Requerimientos generales:** Es la capacidad que el usuario y el sistema requiere para satisfacer una necesidad y lograr el objetivo. Los requerimientos se dividen en dos funcionales y no funcionales, los requerimientos funcionales son las funciones que el sistema debe tener y como responde a al requerimiento, por otro lado, los requerimientos no funcionales son las restricciones del sistema como disponibilidad, mantenimiento, seguridad, capacidad de los dispositivos de entrada/salida, rendimiento.

Los requerimientos funcionales se relacionan al proceso que conlleva el ingreso del usuario al sistema, toma de fotos al usuario, asignar un espacio para en la memoria de bases de datos, extracción de características de las fotos de entrada con las con las características de cada una de la foto de los usuarios almacenados en la base de datos, identificar al usuario por medio de la imagen de su rostro, eliminar y agregar usuarios.

Los requerimientos no funcionales están relacionados con el sistema el cual debe funcionar con una cámara estándar que cumpla las características previamente establecidas y

luz artificial en el caso de las horas nocturnas, se debe ejecutar en tiempo real es decir debe ser eficiente la técnica del reconocimiento facial para que las operaciones computacionales sean procesadas en un tiempo razonable.

- 5) **Requerimientos de la unidad de procesamiento:** Para el procesamiento es necesario contar con requerimientos en el sistema para mitigar posibles afectaciones.

TABLA VII  
UNIDAD DE PROCESAMIENTO

| VARIABLE   | COMPORTAMIENTO   |
|--|--|
| CPU y velocidad del reloj                            | Esta variable afecta el rendimiento general de la placa y es la que define que tan veloz es la placa para ejecutar cálculos.   |
| RAM  | Esta variable afecta el número de tareas que se pueden ejecutar simultáneamente, así mismo, afecta la rapidez los datos que se pueden procesar, como el intercambio de datos de RAM a no ser volátil el almacenamiento incurre en un gran rendimiento gastos generales.  |
| Unidad de procesamiento rápido (GPU)                 | “La unidad de procesamiento gráfico permitirá a la placa de desarrollo ejecutar salida de video (VGA, HDMI, etc.). La unidad de alto rendimiento es lo más necesario al procesar video e imágenes con la placa de desarrollo”. [42]  |
| Almacenamiento                                       | Esta variable afecta el tamaño de los programas, sistemas operativos y datos generados o descargados que pueden almacenarse.   |
| Numero de pines de I/O para un pronóstico en general | Es utilizado para conectar componentes a la placa de desarrollo por lo que más pines significa más componentes conectados simultáneamente.   |
| Open-Source  | “Open source hardware association es un código abierto, como tener un diseño que cualquier dispositivo y que esta se pueda hacer, modificar, distribuir y usar. El software asociado con el hardware debe estar suficientemente documentado para escribir software de código abierto o estar bajo una licencia aprobada por open-source”. [42] |
| Consumo de energía                                   | Juega un papel importante en las elecciones de diseño para proyectos portátiles, o proyectos que necesariamente necesiten una fuente de poder continua.  |

Adicional requiere de una placa de desarrollo con buena capacidad de almacenamiento ya que en esta se piensa almacenar las imágenes de referencia, para la debida comparación de la imagen de entrada o usuario.

- 6) **Requerimientos de la cámara:** Este requerimiento es fundamental ya que permite tener un concepto más allá de tomar una imagen, los cuales ayudan a tener una mejor perspectiva para el mejoramiento de la imagen del usuario y facilitar la captura de imagen con buena calidad para el debido procesamiento. Es necesario que la cámara a usar

cuenta con ergonomía, altura, resolución de la cámara, algunos de inclinación, contraste.

- 7) **Requerimientos del algoritmo:** Es importante contar con el algoritmo adecuado que tenga la capacidad de escoger la técnica de reconocimiento facial ideal, ya que esta comprende desde la detección del rostro hasta la comparación y clasificación de la foto. Así mismo debe cumplir con características como capacidad de detectar un rostro, eficiencia del algoritmo con cierto número de usuarios, capacidad del algoritmo al reaccionar al contraste de la luz natural, influencia en la variación de aspectos de la cara, eficiencia computacional con respecto a los recursos que utiliza el algoritmo, tiempo de ejecución y respuesta.
- 8) **Requerimientos del software:** El software es el lugar para realizar las tareas requeridas por el algoritmo, ya que los requisitos de software son las características del software a instalar en el dispositivo los que pueden aplicarse al sistema operativo o aplicaciones instaladas. El software debe ser compatible con la placa de desarrollo y sus requisitos, por lo que los programas, aplicaciones, sistemas operativos e incluso los lenguajes de programación utilizados deben usarse con precaución [42].

## VI. ESTUDIO FINANCIERO

### A. Inversión inicial:

Para la implementación del reconocimiento facial se tuvo en cuenta un prototipo desarrollado en el estudio llamado "sistemas de tratamiento de imágenes con tecnologías IOT para el control y monitoreo: caso de estudio de evasión por puerta de vagón en las estaciones de TransMilenio, en donde se plantea una inversión inicial en maquinaria como se muestra en la tabla VIII. Se debe tener en cuenta que Transmilenio cuenta con 138 estaciones en las que como mínimo tiene 3 torniquetes por accesos a estaciones en cada troncal [43].

Dada la información se obtiene una cantidad de 414 puntos para la implementación de la tecnología.

TABLA VIII  
ESPECIFICACION PRESUPUESTO DE RECURSOS

| EQUIPO                         | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL            |
|--------------------------------|----------|----------------|------------------------|
| Equipos para el desarrollo     | 414      | \$1.000.000    | \$414.000.000          |
| Comunicaciones                 | 414      | \$1.000.000    | \$414.000.000          |
| Raspberry Pi                   | 414      | \$300.000      | \$124.200.000          |
| Tablet o cámaras               | 414      | \$300.000      | \$124.200.000          |
| Servicios                      | 414      | \$2.000.000    | \$828.000.000          |
| Gastos                         | 414      | \$1.500.000    | \$621.000.000          |
| <b>INVERSION INICIAL ANUAL</b> |          |                | <b>\$2.525.400.000</b> |

Se debe tener en cuenta el personal capacitado que realizara las funciones del mantenimiento de maquinaria y seguimiento de funcionamiento, por lo tanto, se requiere una persona por cada

estación. En la tabla IX se muestra el presupuesto de recurso humano.

TABLA IX  
PRESUPUESTO RECURSO HUMANO

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Cantidad de personal       | 138                    |
| Valor mensual por persona  | \$1.300.000            |
| <b>VALOR TOTAL MENSUAL</b> | <b>\$179.400.000</b>   |
| <b>VALOR TOTAL ANUAL</b>   | <b>\$2.152.800.000</b> |

Por lo tanto, se obtiene un presupuesto anual inicial del proyecto con un total de \$4.678.200.000.

### Ecuación VPN:

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+K)^t}$$

Donde,

$I_0$ : inversión inicial.

$F_t$ : Flujos netos de efectivo.

$K$ : Tasa de descuento.

$t$ : Numero de periodos que dura el proyecto.

Teniendo en cuenta el IPC del DANE la variación anual en el año 2020 fue de 3,51%, dado que actualmente se está cursando el año 2021 no se tiene un IPC para el mismo. Por esto se toma el porcentaje del IPC del 2020 para determinar el Valor Presentes Neto (VPN). Se proyectan 5 años ya que la depreciación de la tecnología es de 5 años [44].

TABLA X  
CALCULOS DEL VPN

| Inversión inicial | \$ 4.678.200.000         |
|-------------------|--------------------------|
| Año               |                          |
| 1                 | \$ 4.678.200.000         |
| 2                 | \$ 4.842.404.820         |
| 3                 | \$ 5.012.373.229         |
| 4                 | \$ 5.188.307.530         |
| 5                 | \$ 5.370.417.124         |
| <b>VPN</b>        | <b>\$ 17.919.616.636</b> |

### Ecuación TIR:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{F_n}{(1+i)^t}$$

Para determinar la tasa interna de retorno de la investigación se llevó a cabo por dos métodos. Optimista teniendo en cuenta la misma tasa del IPC utilizada anteriormente en el calculo del VPN, es decir 3,51% y moderado teniendo en cuenta la tasa efectiva anual 10,5% dada que son las tasas bancarias normales

que se manejan para las compañías con altas transaccionalidad en la banca.

TABLA XI  
OPTIMISTA: CLACULOS DE LA TIR TASA 3,51%

| Inversion inicial | \$ 4.678.200.000 |
|-------------------|------------------|
| Año               |                  |
| 1                 | \$ 2.613.080.862 |
| 2                 | \$ 2.704.800.000 |
| 3                 | \$ 2.799.738.480 |
| 4                 | \$ 2.898.009.301 |
| 5                 | \$ 2.999.729.427 |
| <b>TIR</b>        | <b>51%</b>       |

Dando como resultado la tasa interna de retorno corresponde al 51%, por lo que al ser positiva indica posibilidades de rendimientos futuros.

TABLA XII  
MODERADO: CLACULOS DE LA TIR TASA 10,5%

| Inversion inicial | \$ 4.678.200.000 |
|-------------------|------------------|
| Año               |                  |
| 1                 | \$ 2.447.782.805 |
| 2                 | \$ 2.292.941.160 |
| 3                 | \$ 2.147.894.475 |
| 4                 | \$ 2.012.023.141 |
| 5                 | \$ 1.884.746.745 |
| <b>TIR</b>        | <b>39%</b>       |

Dando como resultado la tasa interna de retorno corresponde al 39%, por lo que al ser positiva indica posibilidades de rendimientos futuros.

*B. Valuación financiera de proyectos de inversión y estrategias de negocio mediante la utilización de opciones reales:*

La valuación financiera se presenta como una herramienta fundamental para la toma de decisiones en proyectos de inversión o en estrategias de negocios. Si existe la flexibilidad a futuro de tomar dediciones en proyectos, pueden ser metodologías como “extensión de un proyecto nuevo o estrategias, contracción de un proyecto nuevo o estrategias, posposición de un proyecto nuevo o estrategias, corrección de un proyecto nuevo o estrategias, abandono de un proyecto”. Las metodologías mencionadas anteriormente se han utilizado en áreas dentro de las finanzas corporativas y en la teoría económica.

- 1) Valor presente neto: El valor presente neto VPN en un proyecto o estrategia nuevos puede ser aceptada o rechazada si cumple con los criterios,  $VPN > 0$  o  $VPN < 0$  como única posibilidad. Si el proyecto es aceptado cumpliendo los criterios, los planes de inversión no se modifican por lo tanto la inversión es irreversible. “Por otro lado, bajo el criterio del VPN no se puede valor hoy la posibilidad de que, si el entorno de negocios y el ambiente económico son favorables dentro de cinco años, un proyecto o estrategia pueda expandirse”, por el simple hecho de no saber si a futuro llegue a existir una condición para adoptar la decisión. La flexibilidad a hoy tiene un

valor el cual se debe integrar al valor que se obtiene por el VPN a fin de evaluar.

El  $VPN < 0$ , podría llegar hacer aceptado solo si existe la posibilidad de expandirlo o posponerlo, de ser así de tomar una decisión a futuro “tiene en un futuro un valor presente  $c$ , es decir,  $VPN \text{ promedio} = VPN + c$ , entonces, aunque  $VPN < 0$ , si  $VPN \text{ promedio} = VPN + c > 0$  la viabilidad de extender o implementar el proyecto o estrategia, es viable”. Por lo tanto, las opciones financieras son tratadas con activos financieros y las opciones reales son tratadas con activos reales como “unidades de negocio, obras e infraestructura y nuevas tecnologías”. Las diferencias entre las opciones reales y las opciones financieras se basan en series históricas de tiempos para poder estimar la incertidumbre del activo subyacente (tabla X), otra diferencia es que en la opción real el valor actual es el subyacente de la opción, en cuento a la opción financiera el valor subyacente es conocido.

TABLA XIII  
PARAMETROS DENTRO DE LAS OPCIONES REALES

| PARAMETRO | OPCION REAL   |
|-----------|---|
| $St$      | Valor presente de los flujos esperados en t         |
| $K$       | Costo de inversión en T                             |
| $r$       | Tasa de interés libre de riesgo                     |
| $\sigma$  | Volatilidad de los flujos de efectivo del proyecto  |
| $T-t$     | Tiempo en que la oportunidad de invertir desaparece |

Fuente: Implementación de nuevas tecnologías: valuación, variables, riesgos y escenarios tecnológicos

La incertidumbre de en la estimación subyacente no modifica el valor de la opción presente, ni la regla de inversión en la maduración de inversión. En caso de que “la opción se encuentra dentro del flujo de efectivo en el tiempo de maduración, la regla es invertir; pero cuando el valor del subyacente resulta ser de naturaleza estocástica, la opción podría estar fuera de toda consideración de inversión después de que el producto o el servicio ha sido introducido”. El valor presente es un estimado neutro, es por lo que el valor esperado del proyecto será igual al valor estimado subyacente. Por último se puede decir que las opciones reales mejoran la capacidad en la toma de decisiones a la inversión de los activos en el mercado, teniendo en cuenta que “aunque están basadas en una teoría sólida, resultan ser herramientas flexibles para la toma de decisiones, son utilizadas en modelos para la valuación de diferentes tipos de negocios, y en algunos casos son modelos sencillos que arrojan valores razonables en oportunidades complejas de inversión, en la simulación de las opciones reales se toman en cuenta: el valor, a administración activa del proyecto, la dependencia del tiempo, interacciones e interdependencias propias del proyecto y la interacción de las opciones, permiten utilizar probabilidades de riesgo en la inversión, introducen asimetrías dentro de la distribución en los valores de oportunidad de la inversión, muestran de forma explícita los factores que afectan e intervienen en la valuación de las



opciones, la valuación permite obtener resultados y valores consistentes en condiciones reales de operación.

### C. Opciones reales:

En la valuación de inversión de capital en proyectos existen distintas opciones reales que se pueden considerar.

1) Opciones reales para la posposición de proyectos: Si la empresa quiere invertir una cantidad  $I_0 = M$  en un proyecto hoy,  $T = 0$ , o posponerlo hasta el último año,  $t = 1$ . Si una vez tomada la decisión de inversión, es irrevocable la decisión y su recuperación es cero.

### D. Tipos de opciones reales:

Según el movimiento Browniano se supone que el valor presente de los flujos de efectivo esperados en  $t$ ,  $S_t$ , es conducido por:

- 1) Opción real de expansión: Para que una empresa u organización pueda expandir el valor presente de los flujos de efectivo esperados de un proyecto o estrategia en una proporción  $\infty$ , se requiere invertir una cantidad en un tiempo.
- 2) Opción real de contracción: Cuando la empresa importa en el mercado una un producto o servicio generalmente tiene un plan de inversión dividido en dos etapas, la primera en donde la empresa invierte un capital inicial para estudios de mercados y la segunda el producto o servicio no representa la aceptación esperada. En caso de que se cumpla la segunda etapa la empresa puede ejercer la opción real de contraer la producción con el recorte de inversiones futuras.
- 3) Opción real de cierre temporal: El mercado para cierto producto o servicio depende del clima o del entorno en donde se desarrollen las operaciones. El costo variable anual, de la empresa puede ser definido como el precio de ejercicio de una opción real de cierre temporal en tiempo.
- 4) Opción real de permanencia: En los proyectos de inversión de etapas múltiples, se pasa de una etapa a otra solamente si el beneficio esperado resulta positivo, de no ser así no se invierte en la siguiente etapa. De esta forma, en cada etapa en que se invierte, también se adquiere una opción para permanecer en el proyecto en la próxima etapa.
- 5) Opción real de abandono: El valor de mercado de los títulos de una empresa puede en algunos casos exceder el valor presente de los esperados en tiempo. En este caso, surge la opción de vender la empresa, ya que su valor de mercado excede el valor presente de los flujos de efectivo esperados. Si la organización se encuentra operando con pérdidas, en un ambiente económico adverso y que podría tomar la decisión de abandonar algunos proyectos, inversiones o el mercado en donde realizan sus acciones en un tiempo.
- 6) Opción real de cambio tecnológico: Cuando una empresa puede utilizar diferentes conjuntos de insumos para producir los mismos bienes o servicios, surgen opciones de intercambio. Se asume que el tiempo y el costo de convertir un conjunto de insumos en otro conjunto de insumos no constituirán un obstáculo para la empresa, aunque sí están involucrados otros factores, tales como: aprendizaje, tipo

de tecnología, R&D, costos de operación y mantenimiento, generalmente estas opciones de cambio se consideran irreversibles, pero para el trabajo actual, se considerarán acciones indivisibles e irreversibles, es decir, es imposible volver al estado anterior en el tiempo

- 7) Opciones reales compuestas: Una opción compuesta se refiere a una opción cuya seguridad es otra opción. La composición de opciones reales se puede completar en el mismo proyecto o en otros proyectos que estén relacionados entre sí. En el primer caso, asumiendo una inversión inicial en el proyecto de R&D, esta inversión puede iniciar el proceso de investigación. Si el proyecto puede tener éxito en el futuro, la inversión en investigación se puede ampliar comprando más equipos, contratando más investigadores y obteniendo más y mejores bases de datos electrónicos. Esta es una opción compuesta y la decisión de ampliar el alcance de la investigación en el futuro depende de los resultados de la investigación inicial [42].

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El reconocimiento facial en los sistemas de pago de TransMilenio promete beneficios a largo plazo en el Sistema, como la posibilidad de mejorar la infraestructura tecnológica actual, aumentar el control y gestión de la información, y contribuir al desarrollo de ciudades inteligentes. Sin embargo, en el estudio de factibilidad se identifica que la falta de planeación, los problemas económicos, políticos, sociales-culturales de Bogotá establecidos en el diagnóstico, limitan la viabilidad del Proyecto. Además, el estudio de Mercado muestra que, aunque el 58.9% de los usuarios considera que los pagos con reconocimiento facial podrían mejorar el Sistema de recaudo de TransMilenio, varios usuarios no cuentan con los requisitos básicos para la aplicación de este Sistema, como lo es suministrar información a la entidad, un incremento en la tarifa del pasaje y una cuenta activa en el Sistema financiero. Finalmente, el estudio técnico permite hacer una aproximación de los costos requeridos para el Proyecto que frente a la crisis financiera evidenciada a lo largo de los años en Sistema masivo hace poco viable la aplicación de los pagos con reconocimiento facial en sistema de recaudo de TransMilenio.

A pesar de las limitaciones para la implantación del reconocimiento facial como sistema de pago para TransMilenio, la presente investigación plantea el mismo como una oportunidad para el aumento del nivel de innovación y un punto de partida en el desarrollo de ciudades inteligentes, sin embargo es necesario estudiar las integración de otras tecnologías como el internet de las cosas (IOT), la consolidación arquitectura de la información a través del Big Data, el blockchain, entre otros, que permitan la mejora de las actividades y operaciones del sistema masivo. Además, es importante plantear estrategias para solucionar los problemas identificados en cuanto a cultura ciudadana y adaptación de los

ciudadanos a las nuevas tecnologías disruptivas que con rapidez están cambiando nuestro entorno.

Teniendo en cuenta las precarias condiciones actuales de TransMilenio, en donde la situación de COVID-19 y el paro nacional han obstaculizado la recolección de datos a través de un estudio de campo, la investigación se fundamentó en los datos proporcionados por la organización, otros estudios realizados en torno al sistema y la información suministrada por el estudio de mercado a través de la encuesta virtual. Sin embargo, se recomienda para investigaciones futuras realizar un acercamiento directo tanto a los usuarios que regularmente hacen uso de este medio de Transporte, como a las personas involucradas en el sistema de recaudo en las taquillas y puntos de recaudo, además de la toma de tiempos de ingreso, en donde se establezca no solo el tiempo de validación del pasaje, sino los tiempos en las filas en taquillas y torniquetes que generalmente ocasionan demoras en los tiempos de viaje. Finalmente se propone seguir estudiando las posibilidades de insertar los múltiples avances tecnológicos en pro de mejorar el servicio prestado de transporte público a los ciudadanos, teniendo en cuenta la alta incidencia de este en la calidad de vida de las personas. No solamente en los sistemas de pagos, sino en otras áreas como seguridad e integración de la información.

#### VIII. REFERENCIAS

- [1] Y. P. Sánchez, Y. Higuera C, L. C. Flores. (2020, mayo, 15), “Los demonios de Transmilenio. ¿pasos a la salvación?”. [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/94578322/3-Actividad-Transmilenio-un-servicio-de-transportedocx/>
- [2] L. K. Jennypher M, C. C. Gutierrez T. “Medios de Transporte Sostenibles. Como Política Pública en el Plan De Desarrollo de la Ciudad de Bogotá Durante el Periodo 2020-2023” Especialización en Gestión Pública, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá, Colombia, abril 2021.
- [3] Bogotá como vamos. (2019, noviembre). “Encuesta de Percepción Ciudadana 2019”. [En línea]. Available: <https://bogotacomovamos.org/encuesta-de-percepcion-ciudadana-2019/>
- [4] TransMilenio S.A. (2013, septiembre, 17). “Sistema de recaudo”. [En línea]. Available: [https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146187/sistema\\_de\\_recaudo/?tema=0](https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146187/sistema_de_recaudo/?tema=0)
- [5] Á. M. Herrera P, L. D. Gómez R, M. F. García F. “¿Por qué TransMilenio en Bogotá está en crisis?”. Ciudades, Estados y Política, Vol. 4, pp 103-118, 2017.
- [6] Canal capital. (2020, septiembre, 11). “Acción popular contra “Tu Llave” de TransMilenio”. [En línea]. Available: <https://conexioncapital.co/accion-popular-contra-tu-llave-de-transmilenio/>
- [7] N.A. (Sin fecha). “5 tecnologías clave para mejorar la seguridad en las ciudades de América Latina”. [En línea]. Available: <https://www.siliconweek.com/cloud/5-tecnologias-clave-para-mejorar-la-seguridad-en-las-ciudades-de-america-latina-48767?print=print>
- [8] I. Rubio. (2019, mayo, 25). “Reconocimiento facial: la tecnología que lo sabe todo”. [El país, En línea]. Available: [https://elpais.com/tecnologia/2019/05/21/actualidad/1558455279\\_966010.html](https://elpais.com/tecnologia/2019/05/21/actualidad/1558455279_966010.html)
- [9] B. M. Ceron, D. C. Silva A. “Investigación mobile marketing en Colombia”, División de postgrados, Universidad EAN, Bogotá, Colombia, 2012.
- [10] BBVA. (2018, junio, 21). “BBVA lanza un sistema de pagos por reconocimiento facial”. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/bbva-lanza-sistema-pagos-reconocimiento-facial/>
- [11] CGTN, “Madrid será la primera ciudad europea en usar el reconocimiento facial como forma de pago” Consultado: Septiembre, 14, 2020. [Video en línea] Disponible: <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=tAtBuFJ2TFc&feature=youtu.be>
- [12] Ley 1151 de 2007. Secretaria senado, Plan nacional de desarrollo sección 5ª.
- [13] TransMilenio S.A. (2020, enero, 31). “Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETI)”. [En línea]. Available: [https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/150325/publicacionesplan\\_estrategico\\_de\\_tecnologias\\_de\\_la\\_informacion\\_y\\_las\\_comunicaciones\\_peti/](https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/150325/publicacionesplan_estrategico_de_tecnologias_de_la_informacion_y_las_comunicaciones_peti/)
- [14] D. Fred R. “Conceptos de administración estratégica”. Novena edición, Francis Marion University, pp368, 2003.
- [15] SITP. 2020, agosto, 12). “Disfrutan de los beneficios de la tarjeta tullaave personalizada” [En línea]. Available: <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/91101/disfrutan-de-los-beneficios-de-la-tarjeta-tullaave-personalizada/>
- [16] Recaudo Bogotá S.A.S. (2020, septiembre, 24). “TuLlave”. [En línea]. Available: <https://www.tullaaveplus.gov.co/inicio>
- [17] Masabi. (Sin fecha). “Acerca de Masabi”. [En línea]. Available: <https://www.masabi.com/es/sobre-masabi/>
- [18] TransMilenio S.A “8vo Congreso Internacional de Movilidad y Transporte”, Congreso y feria internacional de transporte de pasajeros, Bogotá, 2018
- [19] Ministro de defensa. “Ciberseguridad. retos y amenazas a la seguridad nacional en el ciberespacio”. Instituto español de estudios estratégicos instituto universitario «general Gutiérrez mellado», diciembre 2010.
- [20] F. Espinosa W. (2020, diciembre, 18). “TransMilenio cumple 20 años: el transporte público en Bogotá, "caballo de batalla" de intereses políticos”. [En línea]. Available: <https://www.dw.com/es/transmilenio-cumple-20-a%C3%B1os-el-transporte-p%C3%ABlico-en-bogot%C3%A1-caballo-de-batalla-de-intereses-pol%C3%ADticos/a-55983686>
- [21] L. Espitia, (2019, enero). ¿Por qué volvió a subir el pasaje en Transmilenio? Razón Pública.
- [22] L. Espitia, (2012, March). Transmilenio: Tragicomedia de las losas. Razón Pública.
- [23] L. D. Gómez R, Á. M. Herrera P, M. F. García F. (2017). ¿Por qué TransMilenio en Bogotá está en crisis? Revista Ciudades, Estados y Política, 4(3), 103–118.
- [24] L. Vita, (2021, April). “Está presupuestado que el Sitp provisional deje de funcionar en diciembre de este año.” La República
- [25] P. Doria, (2021, March). En la crisis financiera de TransMilenio, López prioriza a ciudadanos a pesar del costo. La Silla Vacía.
- [26] F. Rojas, (2015). Transmilenio al borde del abismo. Razón Pública.
- [27] Concejo de Bogotá. (2021, April). Déficit de más de 2 billones de pesos amenaza las finanzas del sistema de transporte masivo de Bogotá. Boletín Diario No. 76.
- [28] I. Chaparro. (2002, octubre). “Evaluación del impacto económico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio”. [El país, En línea]. Available: [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/6408/S0210717\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/6408/S0210717_es.pdf)
- [29] A. K. López, T. “El bogotano nace bueno y TransMilenio lo corrompe: representaciones del sistema de transporte masivo en Bogotá”. maestría en comunicación-educación comunicación, cultura urbana y educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, enero 2020.
- [30] C. Lugo, S. (2021, mayo, 19). “¿Desarrollar o importar ciencia y tecnología para las TIC?”. [En línea]. Available: <https://lasillavacia.com/silla-llena/red-de-ciencia-e-innovacion/desarrollar-o-importar-ciencia-y-tecnologia-las-tic-78306>
- [31] TransMilenio S.A. (2018, diciembre). “Estrategias de oferta y demanda del sistema integrado de transporte publico SITP”. Informe No. 55
- [32] C. Hernández. (2020, junio,12). “Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de pago” [En línea]. Available: <https://quaderno.io/es/blog/ventajas-y-desventajas-de-los-diferentes-metodos-de-pago/>
- [33] J. A. Restrepo B, M. A. Archila M “Metodología para la implementación de tarjetas de pago electrónico en el transporte público de Bucaramanga y su área metropolitana” chileno”, Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia, 2010.
- [34] D. Castro J. (Sin fecha). “Ventajas y desventajas de la biometría”. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/171225005/VENTAJAS-Y-DESVENTAJAS-DE-LA-BIOMETRIA>
- [35] J. Casa, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vilchez. (1999). “Análisis del riesgo en instalaciones industriales” [En línea]. Available:

- <https://books.google.com.co/books?id=U8PRs-nLWqQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [36] J. A. Figueroa S, R. F. Rodríguez A, C. C. Bone O, J. A. Saltos G. “La seguridad informática y la seguridad de la información”, Pol. Con. (Edición núm. 14), Vol. 2 No 12, pp 145-155, diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/420/pdf>
- [37] V. Espinosa D. (Sin fecha). «Evaluación de Sistemas de Reconocimiento Biométrico» [En línea]. Available: <http://www.jcee.upc.es/JCEE2001/PDFs%202000/13ESPINOSA.pdf>
- [38] J. J. Sánchez, G. “Biometría y la seguridad informática en los métodos de autenticación”. Especialización en seguridad informática, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Bogotá, Colombia, 2020.
- [39] X. Montaña R. () “Transmilenio, tensión entre cobertura y calidad” [En línea]. Available: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/entre-el-deseo-y-la-realidad-del-sistema-de-transporte-publico-de-bogota/>
- [40] F. A. Álvarez. (2015). “Implementación de nuevas tecnologías: valuación, variables, riesgos y escenarios tecnológicos”. UFG Editores, pp 308; 22 cm, 2015.
- [41] R. G. Hernandez, J. R. Morros R. “Estudio de técnicas de reconocimiento facial”. Departamento de Procesado de Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, mayo 2010.
- [42] D. L. Castaño S, J. D. Alfonso S. “Sistema de reconocimiento facial para control de acceso a viviendas” Trabajo de grado título ingeniero electrónico y de telecomunicaciones, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2019.
- [43] Alcaldía mayo de Bogotá. “Parámetros técnicos operacionales de la interacción de la primera línea de metro con el sistema TransMilenio”. Documento técnico, versión 1, Subgerencia técnica y de servicio, 2016.
- [44] N.A (2019. Agosto, 29) “Vida útil de los activos fijos o depreciables” [En línea]. Available: <https://www.gerencie.com/vida-util-de-los-activos-fijos.html>