

Facial biometrics system with YOLOv8-Deep Learning to improve the user experience in public transport: Case study in Metropolitan Lima, Peru-2024

Juber Yopan¹; Ruben Quispe²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Lima-Perú, N00215949@upn.pe, ruben.quispe@upn.pe

Abstract– Urban bus transport in Metropolitan Lima is a problem that the authorities have not been able to control, causing citizens to lose time, exposing them to danger and a terrible experience. Therefore, it is essential to develop a solution and design it to improve the service that companies offer to the user. The study seeks to design the solution through facial recognition in order to improve the user experience using YOLOv8-Deep Learning on public transport buses operating in Metropolitan Lima. For this purpose, the area, type of bus, the ideal way to reduce processing resources and to make it as interactive as possible for the drivers of the units were analysed. The detection area was defined and a pre-trained YOLOv8 model with counting was used to compare this value with the maximum capacity entered as the key to activate or deactivate the bus boarding and alighting access doors with other indicators. The test results were acceptable, obtaining, with optimal lighting, about 90% accuracy, managing to control and count the number of passengers in the bus passageway, however, there were limitations related mainly to the lighting that, if it exceeded 60% of absence of light, regardless of the resolution of the cameras, the accuracy had a drop to less than 20%. The project will improve the quality of service and avoid the bad driving tactics employed, which will reduce accidents, reduce hours of congestion and provide a continuous flow of traffic in a chaotic city like Metropolitan Lima.

Keywords– public transport, deep learning, YOLOv8, user experience, facial biometrics.

Sistema de biometría facial con YOLOv8-Deep Learning para mejorar la experiencia del usuario en el transporte público: Estudio de caso en Lima Metropolitana, Perú-2024

Juber Yopan¹; Ruben Quispe²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Lima-Perú, N00215949@upn.pe, ruben.quispe@upn.pe

Resumen— El Transporte es vital en el progreso de la sociedad, sin embargo, en Lima Metropolitana, el transporte urbano de buses es un problema, creciente cada año, que las autoridades no han podido controlar, ocasionando pérdida de horas de tiempo de los ciudadanos, exposición a peligro y una experiencia terrible. Por ende, es esencial desarrollar una solución a la problemática y diseñarla para mejorar el servicio que las empresas, de transporte urbano en buses, ofrecen al usuario. El estudio busca diseñar la solución a la problemática planteada mediante el reconocimiento de rostro con el fin de mejorar la experiencia de los usuarios usando YOLOv8-Deep Learning en los buses de transporte público que operan en Lima Metropolitana.

Para ello se analizó el área, tipo de bus, la forma idónea de reducir recursos de procesamiento y, por supuesto, lo más interactivo posible para los conductores de las unidades. Se definió el área de detección y se usó a un modelo preentrenado de Yolov8 para biometría facial con conteo siendo esta información comparada continuamente con el valor de aforo máximo ingresado, convirtiéndose, ésta, en la operación clave para activar o desactivar las puertas de acceso tanto de subida como de bajada del bus con demás indicadores.

Los resultados, en la fase de prueba individual, así como in situ del diseño fueron aceptables, obteniéndose, con una iluminación óptima cerca del 90% de precisión, analizado a través de la tabla de frecuencias, logrando el objetivo de controlar y contabilizar la cantidad de pasajeros presentes en el pasadizo de un bus de transporte, no obstante, se vieron limitaciones relacionadas principalmente a la iluminación, que si superaba el 60% de ausencia de luz, independientemente de la resolución de las cámaras empleadas, la precisión tenía un desplome hasta menos del 20%. El proyecto, mejorará la calidad de servicio que se ofrece y evitará, consecuentemente las malas tácticas de manejo empleadas en las calles, lo que permitirá reducir accidentes, horas de congestión vehicular y tener un flujo vehicular continuo en una ciudad caótica como Lima Metropolitana mejorando en general la experiencia brindada al usuario.

Palabras clave— transporte público, Deep learning, YOLOv8, experiencia del usuario, biometría facial.

I. INTRODUCCIÓN

El transporte como eje de desarrollo de la sociedad ha sido, es y será vital porque permite el crecimiento económico, brinda empleos y conecta a miles de personas con sus centros laborales y de estudios así como a los de salud [1]. Según la Agencia de Cooperación Internacional, el 69,1% del 66,4% de viajes obligatorios que se realizan en Lima a diario, se realiza en transporte público [2] aunque los reportes muestran que los

viajes en Lima y Callao crece a 3,3% anual [3]. Teniendo los datos en cuenta, se debería entender que el servicio de las empresas de transporte urbano hacia los usuarios mejora a la par siendo supervisado por el Estado, quien brinda las normas que buscan establecer un orden las calles por donde los buses recorren su ruta, no obstante, ello no es aplicable para el transporte público de Lima Metropolitana aun cuando así lo obliguen los estatutos establecidos de las Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías, que en su artículo 42, inciso 1.21 ordena solo transportar usuarios sentados [...] aunque por excepción en el servicio estándar de transporte de personas de ámbito provincial, se podrán transportar usuarios de pie en vehículos que así lo permitan [...] en el mismo deberá señalarse el número máximo de pasajeros sentados y de pie [4], esto debido a que la mayoría de conductores prefieren no obedecer por motivos adicionales que son beneficiosos para ellos [2], razón por la que la Autoridad de Transporte Urbano ha colocado más de 63000 papeletas en los últimos años [5]. Entre las causas más resaltantes para desobedecer las normas está el aspecto económico, puesto que a los conductores les importa subir a la mayor cantidad de pasajeros posible viéndolos como dinero más no como personas o vidas humanas, lo que se traduce en estrategias tales como “chantarse” y “corretear”, el primero entendido como estacionarse en un lugar con afluencia de público y no moverse hasta tener la unidad de transporte completamente saturada y el segundo como la acción de competir entre dos unidades a causa de haber perdido minutos por culpa del que se chantó [2]. “El Rápido nunca ha respetado a nadie, en ésta vía deberían ir a 35 Km/h, pero van a 90 Km/h y atrás viene otro bus haciéndole carrera” decía en entrevista un familiar del motociclista fallecido al ser arrollado por un bus de transporte público [6], el mismo desenlace tuvo una menor de tan solo 15 años, que fue arrollada mientras esperaba la movilidad de su colegio en la vereda, misma que el bus que iba a gran velocidad invadió [7] y no fue el único caso de los cientos que hay en el año, también un adolescente pereció cuando el conductor agilizó la marcha por apuro antes de que el occiso pudiera subir completamente a la unidad cayendo del bus y falleciendo posteriormente. La unidad tenía 38 papeletas en ese momento [8].

La conducta de los choferes de las unidades de transporte ha hecho que cada día el transporte esté caracterizado por elevados periodos que toma ir de un paradero a otro, casi

inexistente comodidad y faltas a las normas de tránsito [9], a ello sumándole una inoperante regulación da por resultado en caos en las calles y accidentes, razón por las que los usuarios califican el servicio como mediocre [9], calificación reflejada estadísticamente en un 22% en 201 y un 42,2% en 2023 y en general siendo el 64,5% de los encuestados los cansados con este tema mal manejado, siendo el segundo problema que más afecta a los ciudadanos [10], aunque el 31,5% brinda como salida al problema un incremento de unidades de transporte [11], debido a que los buses van sobresaturados en horas punta. Un dato no menor es que en Lima Metropolitana por causa de la congestión vehicular, se demora 30 minutos por cada 10 kilómetros, traducido en una pérdida de S/. 2 mil millones sin contar con gastos en combustible extra y contaminación ambiental [12]. Estos factores dentro de los muchos que existen, ha influido negativamente en el ranking de tráfico a nivel global pasando Lima Metropolitana del puesto 8 en 2022 al puesto 5 en el 2023 [13].

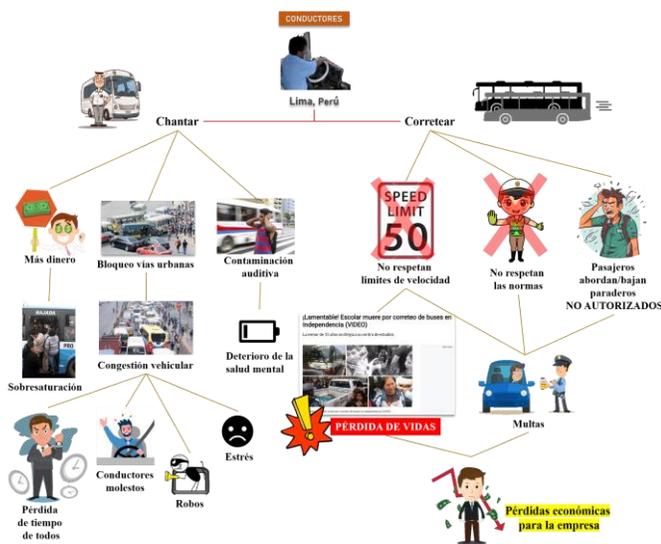


Fig. 1 Esquema de la realidad problemática

Los proyectos como tal implementados en el transporte para solucionar la problemática identificada no existen, no obstante, existen los que se podrían considerar similares, mismos que han empleado visión por computadora para solucionar su propia problemática. En Indonesia, se propuso un sistema de conteo de personas empleando YOLOv4, probándose en distintos escenarios habiendo variado el conteo por las condiciones del lugar, lo que permitió concluir que un factor esencial es la posición del cuerpo de pasajero [14], aunque, en plena pandemia por COVID-19 también surgió otro sistema automático de detección de mascarillas en autobuses para reducir el contagio empleando redes neuronales convolucionales, misma con la que se obtuvo excelentes resultados seguido del modelo preentrenado de YOLO, permitiendo realizar acciones que el auto creyó conveniente posterior a la identificación y detección [15]. Por otro lado, en distintos estudios se empleó YOLOv8 por

ejemplo para detectar, el estado de alerta del conductor dentro de la unidad vehicular en tiempo real así como la fatiga mediante la verificación de rasgos faciales, cierre de párpados, boca abierta [16], incluso empleando la cara específica del conductor en condiciones de cansancio o vigilia [17], reduciendo accidentes y concluyendo que YOLO junto a ideas creativas, puede resolver problemas de seguridad vial [18], en esa misma línea, se identificó un sistema de monitoreo de conductor que detectaba la somnolencia en choferes [19], distracción o problemas emocionales mediante patrones emocionales [20] así mismo, YOMO-ECA en otra investigación, es un sistema planteado de detección de la fatiga de los conductores en las unidades vehiculares [21], que junto a la solución planteada, previenen accidentes de tránsito. En concordancia con lo anteriormente descrito pero en un transporte diferente, se encontró un modelo de vigilancia en cabinas de aviones para ofrecer seguridad a los pasajeros del vuelo [22], además, demostrando la versatilidad que ofrece YOLOv8, se ha empleado en el reconocimiento de congestiones vehiculares en diversas condiciones climatológicas [23] y por último, se encontraron investigaciones respecto de la detección y vigilancia de pasajeros post-COVID-19 que permitía saber la cantidad de pasajeros y si los mismos llevaban mascarillas dentro de un automóvil, esto mediante la ubicación de una cámara en los puestos de control [24]. Un detalle no menor es que se ha empleado la inteligencia artificial para realizar asistencia de personas con discapacidad visual utilizando los procesos de clasificación de imágenes aunque no se lograron reunir las tecnologías suficientes para lograr una asistencia que cumpla con las características deseadas [25].

Si bien los avances en detección dentro del transporte público y las investigaciones como tal no han sido muchas, han significado un avance aceptable. Por la problemática descrita, resulta pues importante, generar un sistema que evite las estrategias mal extendidas entre los conductores como chantarse y corretear, sin importar la comodidad y sobre todo la seguridad de los usuarios, evitando que el daño de posibles accidentes sean mayores [26]. La investigación consistirá en diseñar un sistema para aplicarse en los buses de transporte público empleando YOLOv8-Deep Learning con la finalidad de identificar y contabilizar a las personas que van paradas a lo largo del pasadizo, esa información se comparará con el valor de aforo máximo permitido y de acuerdo a ello, se activarán o desactivarán salidas digitales que están relacionadas a las puertas de acceso al bus tanto de subida como de bajada, eso permitirá tener una mejor experiencia al pasajero. Este sistema se logrará usando uno de los modelos preentrenados de YOLOv8, así como Python como lenguaje de programación, además una Raspberry Pi con un Arduino que servirá de interfaz para controlar las salidas. Posteriormente, se validará el diseño en prueba individual como dentro del bus.

En consideración a que un proyecto con las características técnicas previstas y que trate de solucionar la problemática identificada no existe, siendo la misma muy recurrente en el

día a día en el transporte urbano, habiéndose generalizado ya en todas las rutas tanto en Lima Metropolitana como en el Callao [11], es crucial, controlando la cantidad de pasajeros en una unidad, hacer prevalecer las normas de tránsito ratificadas por las autoridades competentes, así como evitar las tácticas de manejo de chantar y corretear en los paraderos como en las rutas, respectivamente, ocasionando caos, congestión vehicular y haciendo que muchos ciudadanos pierdan más tiempo de lo que normalmente conlleva ir de un lugar hacia otro [27]. Es de importancia trascendental entonces manejar la capacidad usada por los buses para frenar accidentes o el impacto de los mismos mejorando la seguridad peatonal y vial en las calles urbanas, así como los disminuir el impacto de los métodos creados por los conductores para llevar más pasajeros en sus unidades.

A. Formulación del problema

¿Cómo se debe diseñar e implementar un sistema de biometría facial empleando visión por computadora para detectar y contabilizar personas paradas dentro del bus en tiempo real que, a la par, active y desactive las puertas de acceso y brinde señales lumínicas de su estado para mejorar la comodidad de los usuarios en el transporte público de Lima Metropolitana, Perú-2024?

B. Objetivo principal

Diseñar e implementar un sistema de biometría facial empleando visión por computadora idóneo para detectar y contabilizar usuarios dentro de la unidad de transporte que sea capaz de controlar las puertas del bus además de brindar señales lumínicas de su estado con el fin de mejorar la experiencia del usuario en el transporte público de Lima Metropolitana, Perú-2025.

II. METODOLOGÍA

El enfoque elegido para esta investigación teniendo en cuenta que es secuencial y probatoria, con una idea delimitada a partir de la cual surgen hipótesis que se someten a pruebas y que se corroboran con los resultados, según su definición sería el cuantitativo[28]. El enfoque cuantitativo es el ideal ya que, en su postura filosófica define las características que se busca [29], debido a que se busca medir la efectividad de detección de un sistema de visión por computadora en tiempo real con detecciones precisas activando salidas de acuerdo al estado, por ese motivo, también califica como una investigación pura, de tipo aplicada-experimental [29] misma que es muy empleada en áreas de medicina e ingeniería [30]. El nivel es el explicativo – descriptivo puesto que se describirá todo el proceso, se documentará el diseño y desarrollo de la solución además de detallar la propuesta y entender mostrando los factores que afectan o mejoran el rendimiento del prototipo [28]. En la misma línea, el alcance planificado en cuanto a la funcionalidad del sistema es la detección, reconocimiento y contabilización de la detección en tiempo real y el encargado

de ello será la Raspberry Pi que contará con una cámara como sensor además de un modelo preentrenado específicamente para la detección, mismo que se comunicará con un Arduino como interfaz para controlar las salidas digitales. El diseño será una aplicación de prueba y demostración en un entorno controlado y con ello brindar una prueba de concepto que permita evidenciar que es posible implementar a mayor escala con componentes de bajo costo y accesible en el mercado. En la parte estadística de los datos recolectados, se trabajará los datos a fin de obtener una tabla de frecuencias que nos permita observar mucho mejor la detección, la media, la mediana, la desviación y rangos que existen entre los datos, lo que nos brindará una mejor comprensión del comportamiento del sistema en general, analizando el impacto de las variables externas, principalmente de la iluminación del área de detección. Los resultados deben sentar las bases para posteriores investigaciones y/o propuestas para la solución de la misma problemática planteada y justificada.

A. Materiales e Instrumentos

1) *Materiales:* Los materiales empleados incluyeron tanto hardware como software para efectos de realizar las pruebas de manera individual y de campo para observar su comportamiento en un entorno real.

TABLA I
HARDWARE REQUERIDO PARA EL SISTEMA

N°	HARDWARE	
1	Cámara web SunPlusIT	Resolución 640x480 píxeles.
2	Cámara Huawei Y7 Lite	Resolución 3120x 4160 píxeles.
3	Cámara Canon	Resolución 6000x4000 píxeles
4	Raspberry Pi 3 Model B	Sistema Operativo Raspbian OS y 1GB de RAM
5	Arduino UNO	-
6	Diodo Led Rojo, Verde y Amarillo	-
7	Fuente de Alimentación	5V a 2,5A modelo ZEQUI ZE-25
8	Protoboard y cables	-

2) *Software:* Los programas y librerías empleadas fueron las siguientes:

TABLA II
SOFTWARE EMPLEADO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA

N°	SOFTWARE
1	Visual Studio Code
2	Python versión 3.11.4
3	Arduino IDE versión 2.3.3
4	IBM SPSS Statistics v25
5	Microsoft Project Professional 2019
6	Microsoft Office Professional 2019
N°	LIBRERIAS
1	Numpy
2	YOLOv8
3	Cv2

4	Cvzone
5	Math
6	Torch
7	Serial
8	Time
9	SoftwareSerial.h

B. Instrumentos

Los instrumentos mediante los que se analizará, monitoreará, validará y medirá la programación diseñada y construida son:

TABLA III
INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Nº	INSTRUMENTOS	
1	Laptop Lenovo Legion 5 i7 12700H con Windows 11 Pro	Hardware
2	Multímetro Digital SANWA RD-700	Hardware
3	Jupyter Notebook	Software
4	Proteus Professional v8.13	Software
5	IBM SPSS Statistics v25	Software

C. Método

1) *Cronograma de actividades*: Permitió tener un orden y claridad en las etapas del proyecto desde la planificación hasta su ejecución.

TABLA IV
ROADMAP DEL PROYECTO

EDT	Nombre de tarea	Días
01	Planificación y requisitos	14
01.01	Definición de alcances	3
01.02	Requerimientos	4
01.03	Elección de software idóneo y librerías	3
01.04	Diseño inicial (boceto) del sistema de biometría facial	4
02	Hardware y Software	6
02.01	Adquisición de hardware	2
02.02	Interconexión de los dispositivos electrónicos a emplearse	2
02.03	Pruebas de funcionamiento individual de los componentes	1
02.04	Instalación de software	3
02.05	Descarga de librerías y licencias	2
02.06	Pruebas de software	1
03	Desarrollo de la solución / Programación	28
03.01	Desarrollo de la programación considerando los requerimientos aplicados a imágenes estáticas	16
03.02	Adaptación de la programación para detección en video en tiempo real	5
03.03	Inclusión del control de salidas digitales en la programación y simulación	4
03.04	Integración del sistema con el Arduino UNO como interfaz para las salidas digitales	3
04	Pruebas	15
04.01	Pruebas del sistema de manera individual	2
04.02	Análisis del comportamiento del sistema en la fase individual de pruebas	1
04.03	Pruebas del sistema de biometría facial in situ	5
04.04	Análisis de los resultados en esta fase in situ	2
04.05	Verificación de variables externas que perjudiquen el comportamiento idóneo del sistema	3
04.06	Pruebas mejorando la sintonía de parámetros del sistema para superar las variables externas que la afectan	2
05	Documentación	7

05.01	Documentación de todo el procedimiento de desarrollo del prototipo del sistema de biometría facial	7
-------	--	---

2) *Diseño del sistema*: El sistema fue diseñado teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales:

Sistema de visión por computadora: Encargado de realizar el procesamiento de imágenes del video recolectado por la cámara empleando el modelo yolov8n-face.pt, es el que enviará las señales de activación de salidas al Arduino y mostrará una ventana de conteo correspondiente.

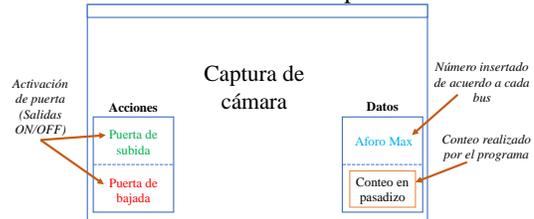


Fig. 2 Modelo de ventana requerida según el diseño

Sistema para el control de salidas: Con la misión de recibir las señales que envía la Raspberry Pi 3 para activar las salidas programadas de acuerdo a la cantidad de detección.

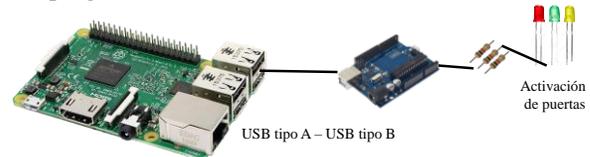


Fig. 3 Sistema para el control de salidas

Recolección de la data: Para ello se empleó la cámara de la laptop en la fase de prueba individual y la cámara del celular, así como de la cámara profesional en la etapa de prueba in situ. Se definió previamente el tipo de bus público I de 9 metros de longitud o ya sea tipo II con 12,5 metros de longitud con una configuración de asientos tipo A y B o D y E [31] y la zona en la que se realizará las pruebas.

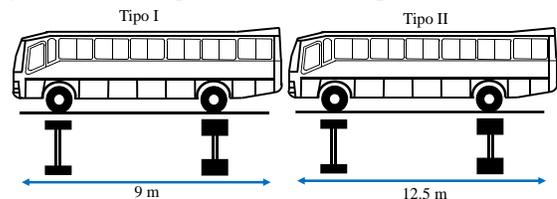


Fig. 4 Bus tipo I y II

Para el caso del bus con disposición de asientos tipo D (distancia entre asientos de 92 cm medidos a 85 cm de alto del piso) y E (85cm), esta cuenta en cada fila con un total de 3 asientos, lo que brinda un mayor espacio en el pasadizo.

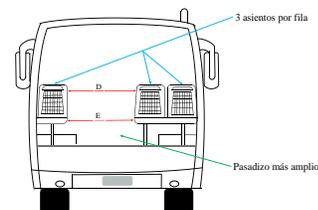


Fig. 5 Configuración tipo D y E

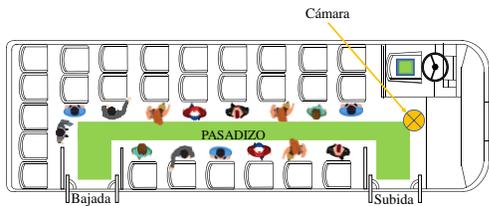


Fig. 6 Ubicación de usuarios en el pasadizo

Para la fase de prueba se tendrá la siguiente conexión de equipos, empleando en el segundo una comunicación UART entre la Raspberry y el Arduino:



Fig. 7 Conexión en prueba individual

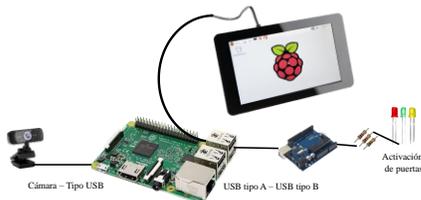


Fig. 8 Conexión general del sistema para las pruebas in situ

La lógica de programación y el diagrama de flujo que explica el funcionamiento del sistema que se pretende diseñar y probar es la siguiente:

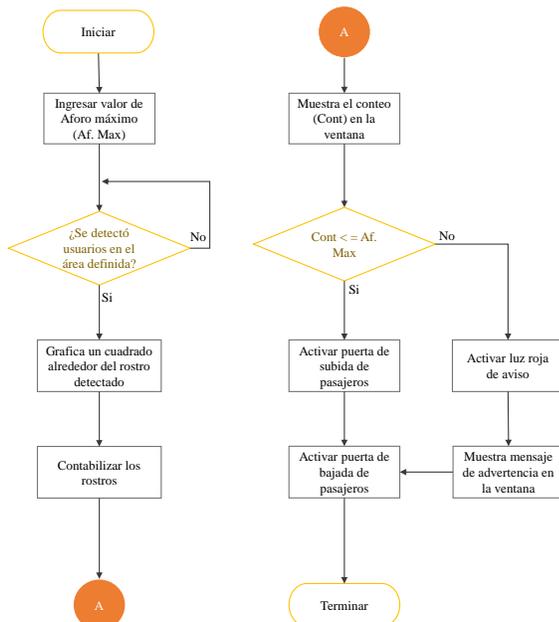


Fig. 9 Diagrama de flujo del funcionamiento general

III. RESULTADOS

Se probó el desempeño del sistema en dos fases, individual y en ambiente real con la ventana de visualización ya creada a través de la programación en Python, parte importante que aportará la visualización de los datos obtenidos en tiempo real capturados y analizados por el sistema implementado.

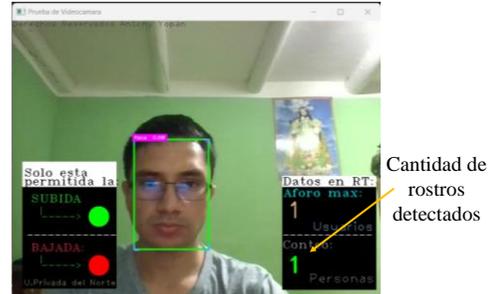


Fig. 10 Ventana de visualización en tiempo real. La ventana está con las características que el modelo del diseño requería, mostrando los datos más importantes.

A. Desempeño fase individual

En esta fase el área de detección tomó la forma de la máscara agregada por programación, rostro que se encuentre dentro de los límites de la máscara, rostro que será contabilizado.

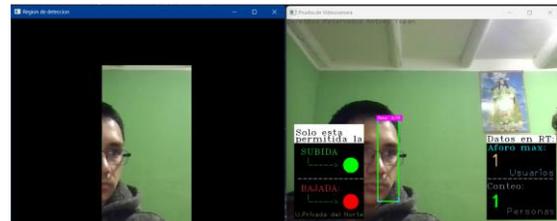


Fig. 11 Rostro detectado dentro de la máscara

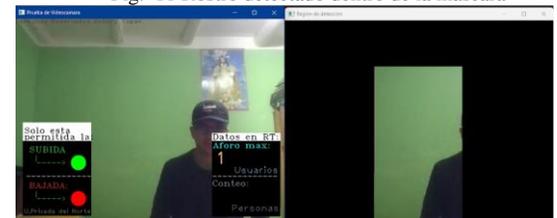


Fig. 12 Rostro no detectado fuera de la máscara



Fig. 13 Rostro detectado en distintas posiciones

Como se muestra en la Fig. 13, se detectó los rostros dentro del área de detección generada por la máscara y en posiciones usuales de los pasajeros mientras viajan a su destino, ello a una distancia de 2,5 metros.

B. Desempeño al interior del bus

Las pruebas se realizaron en el pasadizo del bus del tipo y configuración de asientos explicados en la sección de Metodología, para verificar y analizar las implicancias que esta detección conlleva. Para este caso, considerando la forma del pasadizo, varió las dimensiones y forma de la máscara también.



Fig. 14 Máscara para las pruebas in situ



Fig. 15 Usuarios detectados y contabilizados

En la Fig. 15 el sistema detectó a los usuarios parados en el pasadizo y al ser este valor (3) menor o igual al aforo máximo (4), en la parte izquierda el sistema especifica que las puertas de acceso de subida y de bajada, están activadas para que el conductor pueda abrirlas o cerrarlas a gusto. Además se observa que hay variación en la posición de rostros, no obstante, el sistema diseñado es capaz de detectarlo. El usuario más lejano estaba a 6,5 metros de la cámara.

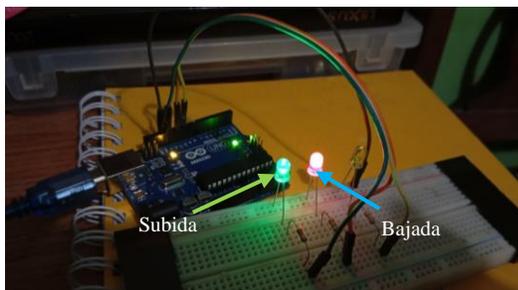


Fig. 16 Puerta de subida y bajada activadas

Acorde a la Fig. 15, las salidas digitales para energizar las puertas de acceso tanto de subida como de bajada, son activadas.

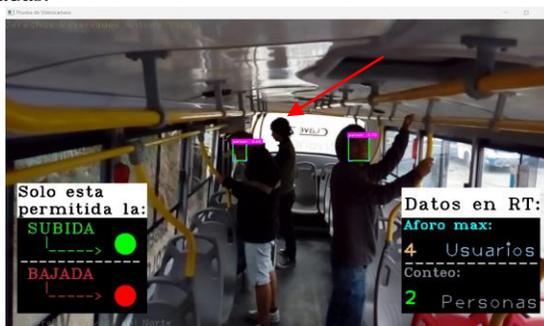


Fig. 17 Iluminación un factor esencial

Una variable importante para que el sistema pueda brindar sus mejores prestaciones, es la iluminación, que se verificó en la Fig. 17, donde, se observa que un usuario, cerca a la puerta de bajada y que se encuentra en el pasadizo no es detectado.



Fig. 18 Conteo preciso de usuarios en el pasadizo

En la Fig. 18, se aprecia que solo las personas en el pasadizo son contabilizadas, mas no el pasajero que se encuentra sentado en uno de los asientos. Además se cambió el valor del aforo máximo permitido a efectos de comprobar el funcionamiento del sistema en este proceso donde el conteo real excede al aforo máximo, por lo que se verificó que aparece un anuncio de “Capacidad Excedida” en la pantalla así como solo se activa la puerta de bajada y la de subida se mantiene desactivada.

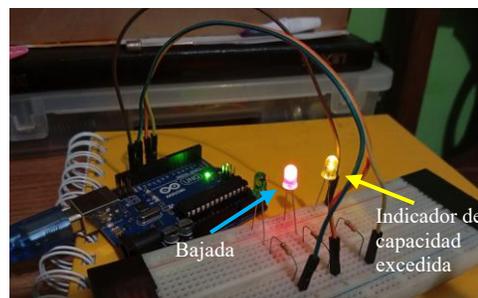


Fig. 19 Activación solo de puerta de bajada

La Fig. 19 muestra que para el caso de la Fig. 18 solo se energiza la puerta de bajada y la de subida o acceso al bus, se queda desactivada.

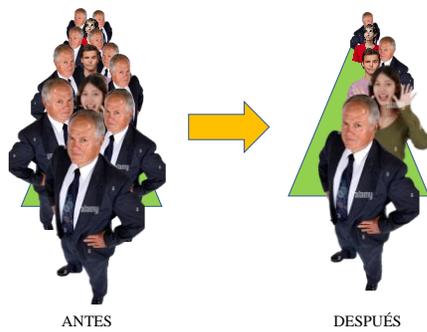


Fig. 20 Antes y después de la implementación del sistema

C. Análisis estadístico

La iluminación es un factor vital para que el sistema logre brindar resultados más eficientes, por ello se sometió el diseño a diferentes niveles de iluminación para verificar el comportamiento que tiene el mismo empleando las diferentes cámaras mencionadas con una cantidad de 22 pasajeros.

TABLA V
CÁMARA WEB

Resolución	% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
640 x 480	0,0	22	22	100
	11,8	22	22	100
	23,5	22	22	100
	29,4	22	22	100
	35,3	22	21	95,5
	41,2	22	21	95,5
	47,1	22	19	86,4
	52,9	22	19	86,4
	58,8	22	18	81,8
	64,7	22	16	72,7
	70,6	22	1	4,5
	82,4	22	0	0
	100	22	0	0

TABLA VI
ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE CÁMARA WEB

		% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
N	Válido	18	18	18	18
	Perdidos	0	0	0	0
Media		50	22	13,72	62,37
Mediana		50	22	19	86,36
Desviación		31,4	0	9,9	45,45
Rango		100	0	22	100
Mínimo		0	22	0	0
Máximo		100	22	22	100

Se observa que la mediana, en el sistema usando la cámara web, viene a ser 19 rostros detectados, que si se tiene en cuenta la Tabla V, es casi cuando la iluminación está al 50%, por lo que reacciona bien ante la ausencia de iluminación media, sin embargo, la media de rostros detectados llega a ser 13,72 que, teniendo en cuenta la misma Tabla V, se precisa que se debe al impacto que tienen los rostros casi no detectados (1) a partir del 70% de ausencia de iluminación, lo que impacta en gran medida la detección y el rendimiento del sistema.

TABLA VII
CÁMARA HUAWEI Y7 LITE

Resolución	% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
4160 x 3120	0,0	22	22	100
	11,8	22	22	100
	23,5	22	22	100
	29,4	22	22	100
	35,3	22	21	95,5
	41,2	22	21	95,5
	47,1	22	21	95,5
	52,9	22	20	90,9
	58,8	22	20	90,9
	64,7	22	17	77,3
	70,6	22	3	13,6
	82,4	22	0	0
	100	22	0	0

TABLA VIII
ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE CÁMARA HUAWEI Y7 LITE

		% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
N	Válido	18	18	18	18
	Perdidos	0	0	0	0
Media		50	22	14,17	64,39
Mediana		50	22	20,5	93,18
Desviación		31,4	0	10,03	45,62
Rango		100	0	22	100
Mínimo		0	22	0	0
Máximo		100	22	22	100

Se observa que la mediana, para el caso correspondiente al sistema usando la cámara del móvil Huawei Y7 Lite, viene a ser 21 rostros detectados, que si se tiene en cuenta la Tabla VI, se da cuando la iluminación está al 50%, se verifica también que el valor detectado en éste nivel de ausencia de iluminación es cercano al valor total de rostros, por lo que, se observa que el sistema reacciona bien ante la ausencia de iluminación media, no obstante, la media de rostros detectados llega a ser 14,17 debido al impacto de los rostros casi no detectados (3) a partir del 70% de ausencia de iluminación, lo que, como en el caso anterior usando la cámara web, impacta en gran medida la detección y, por tanto, el rendimiento del sistema.

TABLA IX
CÁMARA CANON

Resolución	% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
6000x4000	0,0	22	22	100
	11,8	22	22	100
	23,5	22	22	100
	29,4	22	22	100
	35,3	22	21	95,5
	41,2	22	21	95,5
	47,1	22	21	95,5
	52,9	22	21	95,5
	58,8	22	20	90,9
	64,7	22	18	81,8
	70,6	22	6	27,3
	82,4	22	0	0
	100	22	0	0

TABLA X
ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE CÁMARA CANON

		% Oscuridad	Rostros totales	Rostros detectados	% Detección
N	Válido	20	20	20	20
	Perdidos	0	0	0	0
Media		45,29	22	15,20	69,09
Mediana		44,11	22	21	95,45
Desviación		33,06	0	9,66	43,93
Rango		100	0	22	100
Mínimo		0	22	0	0
Máximo		100	22	22	100

La mediana de rostros detectados conforme aumenta la ausencia de luz es 21 y se da cuando la ausencia de luz está al 50%, esto observando la Tabla IX, aunque, la media de rostros detectados llega a ser 15,20, también debido al impacto de los rostros casi no detectados (6) a partir del 70% de ausencia de iluminación.

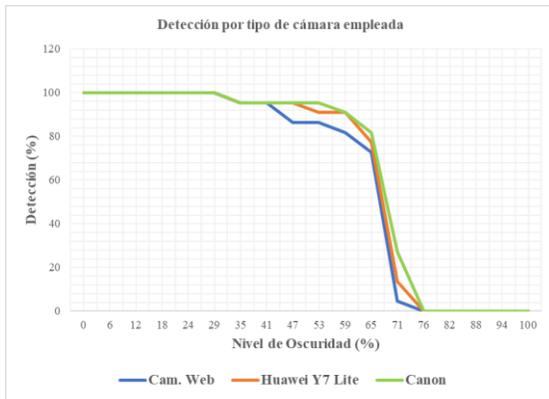


Fig. 21 Relación gráfica de la detección en función de la ausencia de luz

Al observar gráficamente la comparativa del comportamiento de las tres cámaras empleadas para las pruebas en ausencia gradual de iluminación, se detecta que entre el 35% y el 65%, el porcentaje de detección de rostros, con respecto al total habido, decrece considerablemente pasando de un 90% a un 77%.

IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

A. Discusiones

Los resultados obtenidos, verifican que el sistema propuesto tiene una precisión de más del 90% en la detección y conteo en condiciones de iluminación con hasta un 60% de ausencia de luz, sin embargo, si se supera ese 60%, la precisión tiene una caída considerable hasta por debajo del 25%, lo que revela la necesidad de disponer de una adecuada iluminación a efectos de obtener las mejores cualidades del diseño planteado. Además, el alcance de la detección varía proporcionalmente a la resolución de la cámara, por lo que es sistema si puede ser aplicado a unidades de mayores dimensiones.

El desarrollo del sistema es una solución aceptable conforme al objetivo principal definido en el transporte

público en Lima Metropolitana. El algoritmo es capaz de activar y desactivar salidas digitales teniendo en cuenta la cantidad de usuarios detectados de manera precisa, viéndose afectado por la resolución en menor medida y principalmente por la iluminación. La comunicación entre Raspberry y Arduino no requiere ser robusta ya que solo se controlará 3 salidas digitales.

En la Fig. 17, el sistema no logra detectar al tercer usuario, esto debido a la exigua iluminación, ya que la imagen, al pasar por las capas de la red neuronal, va reduciendo su tamaño, tratando de encontrar patrones que lleven a identificar a un rostro, por lo que al estar casi oscuro el rostro, dificulta esta operación esencial en el sistema. Esto se corrobora en la Fig. 21, donde, independientemente de la resolución de la cámara y el valor mínimo de detección, gráficamente se ve como merma la precisión del sistema conforme la ausencia de luz se hace más notoria.

La construcción del algoritmo de detección manifiesta una flexibilidad en cuanto a la forma del pasadizo, independientemente de la distribución de asientos al interior del bus. Un detalle no menos importante es que la detección del perfil no le cuesta al sistema, así mismo, no se realizaron pruebas con usuarios mirando hacia la parte posterior de la unidad puesto que cuando viajan, van siempre mirando hacia delante a fin de ubicar el paradero en dónde deberán bajar.

Las acciones primordiales que el sistema realiza están basadas en la constante comparación del aforo máximo permitido de personas paradas con el conteo real de usuarios parados dentro del pasadizo, si la primera variable es mayor o igual a la segunda, se permitirá tanto la bajada como la subida, sin embargo, si es viceversa, solo se permitirá la bajada. El control será sobre el sistema que acciona las puertas del bus, de modo que si el conductor intenta dejar de lado el sistema implementado no podrá porque dependerá del conteo que se realice, de manera que se asegurará la seguridad y la calidad del servicio.

Las investigaciones consideradas como antecedentes como tal no plantean soluciones a la problemática identificada, pero emplean YOLO para biometría facial, por ejemplo, en un proyecto se detectaron personas sentadas y también sin importar su posición dentro de un avión. A los pasajeros que llevaban gorros, máscaras y algunas posiciones del cuerpo no pudo detectar [14]. Otro proyecto, trabajó en un modelo propio para identificar personas con y sin mascarillas, controlando la apertura de la puerta del bus junto a un sonido de alarma ayudando a detener la propagación del COVID-19 [15], además, se encontraron proyectos que mediante biometría facial, detectó el estado de alerta del conductor, verificando la posición de la cabeza con respecto a la carretera en el momento en que conduce avisando mediante un sonido de alarma, concluyendo que YOLO, junto a ideas creativas, logra resolver dificultades de seguridad vial [18]. Se debe mencionar también que otro proyecto con un avance notable en la vía de la solución planteada para esta problemática, fue un sistema con una cámara externa en puestos de control para detectar a las personas que van en los distintos vehículos y si

las mismas tienen mascarillas, con una precisión de más del 90% [24]. Al respecto, nuestra propuesta simplifica muchos procesos puesto que emplea el modelo yolov8n-face.pt con una cámara en la parte superior para superar el problema que tuvo Hadi et al. en su investigación y que V & John trabajó de manera específica, aunque no todo se quedó en software, sino que al igual que Kumar et al. se controlan salidas, en este caso puertas y señales lumínicas, aunque Kundu & Maulik obtuvieron una mejor performance detectando mascarillas en los rostros de los pasajeros en una imagen borrosa. Las limitaciones en esta propuesta vendrían a ser la iluminación, por lo que, superando esta parte instalando luminarias en la parte superior del pasadizo, así como en las partes laterales, se fortalecerá al sistema y se ayudará a la solución propuesta a cumplir eficientemente su labor. Otra limitación evidente es la resolución de la cámara, variable importante para detectar con mayor precisión y a mayor distancia, elevando, por tanto, el parámetro de confianza.

Una limitación adicional en el sistema podría ser la comunicación, es decir, al ser este proceso muy sensible, por efectos de vibración, golpes o desliz, podría desconectarse y por tanto el diseño no podría operar como ha sido planteado y diseñado, sin embargo, asegurando físicamente esta conexión entre la Raspberry y el Arduino, la limitación será superada.

La propuesta no será la única, sin embargo, una de las principales contribuciones además del diseño, es la estrategia abordada, misma que puede sentar las bases para obtener mejores resultados a futuro empleando otras herramientas o complementando la propuesta desde otro enfoque. Este proceso, brindaría también, si se cree conveniente, una alternativa para el control de aforo de grandes tiendas de centro comerciales, restaurantes, bares y otros negocios donde por norma se tiene un límite establecido.

Los hallazgos en esta investigación, refrendan que el acoplamiento de la inteligencia artificial, la visión por computadora y el control físico es una solución viable, económica y accesible para mitigar la problemática que lleva años y que con el pasar del tiempo se agrava aún más acarreado otros problemas secundarios que cada vez se hace más presente en las calles.

Posibles aplicaciones a futuro a fin de salvaguardar la vida de los usuarios, con calidad y eficiencia, además de seguridad, podría ser controlar la velocidad del bus, teniendo en cuenta la cantidad de pasajeros que lleva y la vía por la que la unidad se encuentra circulando, lo que evitaría que los conductores realicen competencias ilegales, poniendo en riesgos la vida de los peatones y de sus propios usuarios, además de integrar otro sistema donde el conductor no pueda poner en marcha la unidad mientras los usuarios abordan el bus de transporte. Por otro lado, es posible también integrar la misma lógica en la industria en el aspecto de seguridad y salud en el trabajo, de buenas prácticas laborales, colocando este sistema en zonas críticas con máquinas peligrosas, donde si se detecta la presencia de un colaborador en una zona definida, en primera instancia, se encienda una alarma y como acción

para salvaguardar la vida y no ponerla en riesgo, apagar de golpe la máquina.

La implementación a escala teniendo en cuenta lo propuesto impactaría, seguramente, a nivel económico, puesto que se evitarán multas de tránsito por malas prácticas y conductas de los choferes, además, se reducirían los tiempos de congestión vehicular, bajarían los robos en pleno tráfico en las avenidas y, en suma, habría un orden y flujo vehicular acorde a lo que Lima Metropolitana necesita para mejorar.

B. Conclusiones

Se diseñó e implementó el sistema de biometría facial empleando inteligencia artificial y modelo preentrenado para detectar y contabilizar usuarios dentro del pasadizo del bus de transporte público, mismo que fue capaz de activar salidas digitales mediante un Arduino Uno teniendo en cuenta la forma idónea de abordar la problemática descrita sobre la experiencia del usuario.

Se emplearon redes neuronales convolucionales mediante el uso de Yolov8 lo que permitió el reconocimiento y conteo de rostros dentro de la unidad de transporte, aunque se observó que la precisión del sistema se vio afectado en mayor medida por la iluminación, así como por la resolución, en menor medida, no obstante, el sistema fue capaz de detectar independiente de la posición de los rostros.

Se logró la comunicación entre la Raspberry Pi y el Arduino, que trabajó como una interfaz para activar y desactivar las salidas digitales que controlan las puertas de acceso y señal lumínica, todo mediante comunicación UART o Serial.

La variable que más afectó al sistema fue la iluminación, puesto que entre el 53% y el 76% de ausencia de luz, independientemente de la resolución de la cámara, la precisión se redujo agresivamente a 0%. Si este problema no es superado con una adecuada iluminación dentro del bus, el sistema no operará como ha sido diseñado.

Mediante el desarrollo del proyecto, se verificó que la efectividad del sistema con respecto a la comodidad, indirectamente, es la capacidad de detección que tiene el sistema, por lo que, si el sistema realiza su trabajo, para el que fue diseñado, correctamente, significará que la cantidad de usuarios dentro del pasadizo del bus estará controlada, entendiendo que todos los usuarios, parados y sentados irán cómodamente, evitando tácticas de manejo de los conductores como corretear y chantar.

El presente proyecto abre ventanas de investigación y proyectos para mejorar la calidad del servicio de transporte público en Lima Metropolitana, incluso, abriendo la posibilidad de controlar la velocidad máxima a la que puede ir el bus teniendo en cuenta la cantidad de pasajeros, reduciendo el impacto de accidentes y evitándolos, sobre todo.

REFERENCIAS

- [1] Banco Mundial, «Transporte: Panorama general», World Bank. Accedido: 29 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview>

- [2] C. Biélich, «La guerra del centavo. Una mirada actual al transporte público en Lima Metropolitana». Biblioteca Nacional del Perú, 2009.
- [3] Fundación TRANSITEMOS, «TRANSPORTE URBANO LIMA Y CALLAO - 2018», Lima, Informe de Observancia, 2018.
- [4] SUTRAN, *Reglamento Nacional de Administración de Transporte - Decreto Supremo N° 017-2009-MTC*. Lima, 2020.
- [5] La República, «COVID-19: ¿cuántas personas pueden viajar de pie en el transporte público? | contagio de coronavirus Perú | ATU | Respuestas | La República». Accedido: 30 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://larepublica.pe/datos-lr/respuestas/2022/01/11/covid-19-cuantas-personas-pueden-viajar-de-pie-en-el-transporte-publico-contagio-de-coronavirus-peru-atu-atmp>
- [6] C. Giraldo, «Impactante muerte de motociclista al ser arrollado por bus en Carabayllo el mismo día de su cumpleaños», Infobae. Accedido: 5 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/peru/2023/07/26/carabayllo-impactante-muerte-de-motociclista-al-ser-arrollado-por-bus-el-mismo-dia-de-su-cumpleaños/>
- [7] N. Tafur, «¡Lamentable! Escolar muere por correteo de buses en Independencia (VIDEO)», Ojo. Accedido: 5 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ojo.pe/policial/independencia-escolar-murio-por-imprudencia-de-bus-de-transporte-publico-video-231490-noticia/>
- [8] K. Rocca, «Adolescente muere al caer de un bus manejado por conductor que tiene 38 papeletas», Ojo. Accedido: 5 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ojo.pe/policial/adolescente-muere-al-caer-de-un-bus-manejado-por-conductor-que-tiene-38-papeletas-317050-noticia/>
- [9] J. Barbero, «Transporte Urbano», en *PERÚ La oportunidad de un país diferente. Próspero, equitativo y gobernable*, Primera Edición., Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2006, pp. 273-288.
- [10] F. Raffo, «El transporte público era el quinto problema que más afecta a ciudadanos: ahora es el segundo», *El Comercio*, Lima, 9 de noviembre de 2022. Accedido: 29 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/lima/el-transporte-publico-paso-a-ser-el-segundo-problema-que-mas-afecta-a-ciudadanos-lima-como-vamos-noticia/>
- [11] P. Alata, H. Quispe, y M. Alegre, *LIMA Y CALLAO SEGÚN SUS HABITANTES. Reporte Urbano de Percepción Ciudadana 2023*, Primera Edición. Lima-Perú: Sistema Urbano, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.limacomovamos.org/reportespercepcion/>
- [12] N. Guerrero, «¿Cuánto se pierde en Lima Metropolitana por el tráfico?», Instituto Peruano de Economía. Accedido: 6 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ipe.org.pe/portal/cuanto-se-pierde-en-lima-metropolitana-por-el-trafico/>
- [13] Gerencia de Estudios Económicos y Estadística, «Lima es la ciudad con mayor congestión vehicular en América Latina. Ranking de Congestión 2023», Asociación Automotriz del Perú, Lima-Perú, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aap.org.pe/observatorio-aap/ranking-de-congestion-vehicular-enero2024/ranking-de-congestion-vehicular-enero2024.pdf>
- [14] T. Hadi, K. Usman, y S. Saidah, «PEOPLE COUNTING FOR PUBLIC TRANSPORTATIONS USING YOU ONLY LOOK ONCE METHOD», *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, vol. 2, n.º 1, pp. 57-66, 2021.
- [15] T. Kumar, R. Rajmohan, M. Pavithra, S. Ajagbe, R. Hodhod, y T. Gaber, «Automatic Face Mask Detection System in Public Transportation in Smart Cities Using IoT and Deep Learning», *Electronics*, vol. 11, n.º 904, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/electronics11060904>
- [16] S. Xie, J. H. Chuah, y G. M. Ting Chai, «Revolutionizing Road Safety: YOLOv8-Powered Driver Fatigue Detection», presentado en 2023 International Conference on Sustainable Technology and Engineering, i-COSTE 2023, Nadi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, dic. 2023. doi: 10.1109/i-COSTE60462.2023.10500771.
- [17] M. R. Alaziz, D. Pribadi, D. Puspitasari, R. A. Saputra, Lisnawanty, y R. Nugraha, «Smart Driver Safety: Detección de fatiga mediante YOLOv8 y puntos de referencia faciales», presentado en 2024 International Conference on Advanced Information Scientific Development, ICAISD 2024, Jawa Barat: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, nov. 2024, pp. 74-79. doi: 10.1109/ICAISD63055.2024.10895705.
- [18] S. V y R. John, «Smart Driver Monitoring System using Deep Learning», *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARST)*, vol. 4, n.º 7, pp. 480-497, 2024.
- [19] S. Essahraoui *et al.*, «Real-Time Driver Drowsiness Detection Using Facial Analysis and Machine Learning Techniques», *Sensors*, vol. 25, n.º 3, p. 812, ene. 2025, doi: 10.3390/s25030812.
- [20] M. Ibrahim, G. Tamm, y R. Creutzburg, «Driver Monitoring System Using Deep Learning Techniques», *Electron. Imaging*, vol. 36, n.º 3, pp. 314-1-314-10, ene. 2024, doi: 10.2352/EI.2024.36.3.MOBMU-314.
- [21] R. Zhao, J. Shen, H. Xu, Y. Huang, y J. Xu, «YOMO-ECA: Un método ligero de detección de fatiga por fatiga en múltiples rostros», presentado en 6th International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications, ICAICA 2024, Dalian: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, nov. 2024, pp. 397-402. doi: 10.1109/ICAICA63239.2024.10823044.
- [22] B. Kim, B. Noh, y K. Song, «Method on Efficient Operation of Multiple Models for Vision-Based In-Flight Risky Behavior Recognition in UAM Safety and Security», *J. Adv. Transp.*, vol. 2024, n.º 1, p. 7113084, 2024, doi: 10.1155/2024/7113084.
- [23] C. Wang, Q. Shang, K. Liu, y W. Zhang, «Traffic congestion recognition based on convolutional neural networks in different scenarios», *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 148, p. 110372, may 2025, doi: 10.1016/j.engappai.2025.110372.
- [24] S. Kundu y U. Maulik, «Passenger Surveillance Using Deep Learning in Post-COVID-19 Intelligent Transportation Systems», *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*, vol. 7, pp. 927-941, 2022.
- [25] A. Cardona y R. Vasquez, «Dispositivos de asistencia para la movilidad en personas con discapacidad visual: una revisión bibliográfica», *Rev. Política*, vol. 15, n.º 28, 2019.
- [26] Latina Noticias, *Accidente de bus en Chorrillos: Treinta heridos tras choque de dos buses de la misma empresa*, (18 de junio de 2024). Accedido: 5 de noviembre de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=iVv77UOVjr4>
- [27] N. GESTIÓN, «¿Cuánto tiempo pasan los limeños viajando en transporte público? | Transporte público | Tráfico vehicular | PERU», Gestión. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://gestion.pe/peru/cuanto-tiempo-pasan-los-limeños-viajando-en-transporte-publico-transporte-publico-trafico-vehicular-noticia/>
- [28] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 6ta Edición. México: McGraw Hill España, 2014. Accedido: 8 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- [29] J. Castro, L. Gómez, y E. Camargo, «La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI», *Tecnura*, vol. 27, n.º 75, pp. 140-174, ene. 2023, doi: 10.14483/22487638.19171.
- [30] J. Arias, *Diseño y Metodología de la Investigación*, Primera. Lima: Biblioteca Nacional del Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- [31] Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao, *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MOTRIZ DEL BUS PATRÓN ELÉCTRICO*. Lima, 2021.