



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

APLICACIÓN DE LA IA EN LA
DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA EN
IMÁGENES PARA LA PREVENCIÓN DE
ACCIDENTES DE TRÁNSITO DE LOS
CONDUCTORES DE VEHÍCULOS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

RODOLFO FREDY ARPASI CHURA

LIMA – PERÚ

2025

ASESORA

MG. ISELLE LYNN SABASTIZAGAL VELA

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. GABRIEL ACURIO SALAZAR

PRESIDENTE

MG. ANGIE KIMBERLY BORJAS FELIX

VOCAL

MG. LENIN OVIDIO ROMANI CHANG

SECRETARIO

DEDICATORIA.

A mis padres Adolfo y Vilma por su aliento y entusiasmo por el estudio.

A mi esposa Danya por su comprensión y constante apoyo.

A mis hijos Ian, Raisa y Thiago por la esperanza que tengo en ellos.

AGRADECIMIENTOS.

A mi universidad UPCH que me cobijó en sus aulas, docentes y compañeros.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de investigación Autofinanciado

Similitud: 16% Marcas de alerta



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

APLICACIÓN DE LA IA EN LA
DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA EN
IMÁGENES PARA LA PREVENCIÓN DE
ACCIDENTES DE TRÁNSITO DE LOS
CONDUCTORES DE VEHÍCULOS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

RODOLFO FREDY ARPASI CHURA

Informe estándar
Informe en inglés no disponible

16% Similitud estándar
1 Etiqueta →

Fuentes
Mostrar las fuentes colapsadas

- 1 Internet
hdi.handle.net
14 palabras de texto 145 palabras extraídas
- 1 Internet
img.ipderecho.pe
8 palabras de texto 145 palabras e colapsador
- 1 Internet
www.gob.pe
8 palabras de texto 132 palabras e colapsador

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	DESARROLLO DE LOS TRABAJOS.....	1
	INTRODUCCIÓN	1
	1.1. CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DE LA SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES.	3
	1.2. CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO.	24
	1.3. CAPÍTULO 3: INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) APLICADA A LA SOMNOLENCIA. ..	44
II.	CONCLUSIONES	64
III.	RECOMENDACIONES	66
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMEN

Describe las aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) en la detección de somnolencia para la prevención de accidentes de tránsito, además de las características relacionadas a la somnolencia de los conductores y la identificación de las causas que originan los accidentes de tránsito. Parte de la solución yace en la identificación de la somnolencia en tiempo real con el uso de la IA y la activación de una alerta inmediata que alerte al conductor. Se hizo una revisión de bibliografía tanto en bases de datos científicos y repositorios de tesis de universidades peruanas y del extranjero. Se aplicó la metodología PRISMA. Según la literatura revisada, las causas principales de la somnolencia en conductores incluyen el sueño insuficiente, la fatiga, largas horas de trabajo, las cuales ralentizan la capacidad de respuesta del conductor y disminuyen la capacidad para realizar maniobras evasivas. Estas causas principales se manifiestan en características observables tales como pestañeos frecuentes, bostezos, tocamientos de la cara, movimiento irregular del volante. Las características de los accidentes de tránsito están relacionadas con las conductas infractoras o arriesgadas de los conductores que no perciben los riesgos de su comportamiento frente al volante, la infracción de reglamentos de tránsito puede ser penalizada y sancionada. Respecto de la arquitectura tecnológica utilizada para la implementación de la inteligencia artificial, emplearon Modelos de Aprendizaje Profundo, Redes Neuronales Profundas, Redes Neuronales Convolucionales que clasifican e identifican las expresiones faciales de los conductores con una precisión que supera el 95 %. El hardware utilizado presenta limitaciones con la capacidad de memoria debido a que la detección de la somnolencia se realiza en tiempo real con sistemas de cámaras calibradas para la captura de movimientos e imágenes.

PALABRAS CLAVES

SOMNOLENCIA, CONDUCTORES DE VEHÍCULOS, INTELIGENCIA
ARTIFICIAL, ACCIDENTES DE TRÁNSIT

ABSTRACT

This study describes the applications of Artificial Intelligence (AI) in the detection of driver drowsiness for the prevention of traffic accidents, including the indicators of that drowsiness and the identification of underlying causes of traffic accidents. Part of the solution lies in the real-time detection of drowsiness through AI and the immediate activation of an alert to warn the driver. A literature review was conducted using scientific databases and thesis repositories from both Peruvian and international universities. PRISMA methodology was applied. According to the reviewed literature, the main causes of driver drowsiness include sleep deprivation, fatigue, and prolonged working hours, all of which impair reaction times and reduce the ability of the driver to perform evasive maneuvers. Observable indicators of drowsiness involve frequent blinking, yawning, facial touching, and erratic steering patterns. These indicators are often linked to risky or non-compliant driving behavior, in which drivers fail to perceive the dangers of their actions. Violations of traffic regulations may result in legal sanctions. Regarding the technological architecture employed for AI implementation, Deep Learning Models, Deep Neural Networks, and Convolutional Neural Networks were utilized and demonstrated over 95% accuracy in classifying and recognizing drivers' facial expressions. The hardware used presents limitations on memory capacity, as drowsiness detection systems operate in real-time and require calibrated cameras for accurate motion and image capture.

KEYWORDS

DROWSINESS, VEHICLE DRIVERS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, TRAFFIC ACCIDENTS

I. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

INTRODUCCIÓN

En el Perú, en el 2025 se han presentado 271 personas fallecidos como consecuencia de accidentes de tránsito (SINADEF – Sistema de Información de Defunciones), los motivos que generaron estos accidentes fueron la imprudencia del conductor (50 %), negligencia del conductor (3 %), imprudencia del peatón (5 %), exceso de velocidad (4 %) y 899 casos que aún están por determinarse la causa (1). Por otro lado, se menciona que, hay presencia de Somnolencia Diurna con horas de sueño insuficientes, mostrando pestañeos, cabeceos, bostezos durante la hora de trabajo de los conductores. Por lo que se plantea la pregunta de investigación, que permita conocer, que aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) detectan la somnolencia en imágenes para la prevención de los accidentes de tránsito que se han desarrollado hasta la actualidad, se describen modelos de algoritmos utilizados en la IA para la detección de la somnolencia y los dataset utilizados en sus experimentos, también se describen las características de la somnolencia en conductores de vehículos, sus alteraciones, la fatiga, el sueño, la detección de la somnolencia, en conductores de vehículos de transporte pesado, transporte público, taxis. Causas y características de los accidentes de tránsito y la seguridad vial. Se revisó las arquitecturas tecnológicas que desarrollaron tecnología para la detección de la somnolencia en conductores, se puede apreciar que hay una variedad de tecnología, como arquitecturas de Redes Neuronales Convolucionales (CNN), *Transfer Learning, AlexNet, VGG16, InceptionV3, MobileNet, ResNet50V2, etc.*

La importancia de la detección de somnolencia a tiempo puede evitar o prevenir la ocurrencia de accidentes, aún más, puede optimizar el diseño de vehículos en

cuanto a su estabilidad y maniobrabilidad en carretera, la detección de la somnolencia de los conductores aún es un desafío en el campo de la IA, la dificultad en el desarrollo de la tecnología inteligente como algoritmos robustos que pueda detectar la somnolencia con alto nivel de precisión, menos invasivo y menos costoso.

1.1. **CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DE LA SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES.**

SUEÑO

El sueño es un estado transitorio indispensable para una vida saludable, caracterizado por un enlentecimiento global de las funciones fisiológicas, presenta una disminución de la frecuencia cardíaca y respiratoria, presión arterial y de la tonicidad muscular (2).

Estado de disminución de la conciencia y de la posibilidad de reaccionar frente a los estímulos que nos rodean. Es un estadio reversible, que lo diferencia de otras condiciones patológicas como el coma, y se presenta con una periodicidad cercana a las 24 horas, es imprescindible para la vida (3).

Estado fisiológico y conductual reversible que se evidencia como la disminución del estado de alerta y reacción a los estímulos externos. La estructura normal del sueño comprende 2 fases: sueño de movimientos oculares no rápidos (*NREM - Non-Rapid Eye Movement*) que comprende 75 % a 80 % del sueño y ocurre en cuatro etapas (I a IV), mientras el sueño con movimientos oculares rápidos (*REM, Rapid Eye Movement*) incluye 20 % a 25 % del sueño (4).

El sueño para que sea reparador debe haber iniciado, mantenido y organizado en forma fisiológica, lo que se torna necesario para el desarrollo sináptico y la maduración cerebral (5).

ETAPAS

Etapas I, de somnolencia, aquí tiene lugar el desvanecimiento del ritmo alfa electroencefalográfico, hay tono muscular y no hay movimientos oculares o son muy lentos.

Etapa II - III, de sueño ligero, se nota por una disminución aún mayor del ritmo electroencefalográfico, se muestra los típicos husos de sueño y los complejos K, características de los que son responsables el núcleo reticular del tálamo, sigue existiendo tono muscular y no hay movimientos oculares.

Etapa IV, de sueño profundo, presenta un ritmo electroencefalográfico menor, no hay movimientos oculares y el tono muscular se mantiene muy disminuido. Intervienen en esta fase del sueño, la corteza prefrontal y el núcleo dorsomedial del tálamo.

Las etapas I a IV se denominan en su conjunto sueño no REM (NREM) (6).

FUNCIONES

Se tienen dos teorías sobre función del sueño en el ser humano, de alguna forma opuestas, por un lado, se le atribuye una función fisiológica primordial y por otra, se le asigna una función más bien adaptativa (inactividad), no son excluyentes entre sí.

El sueño No-REM (*non-rapid eye movement*) se caracteriza por la conservación de la energía y en la recuperación del sistema nervioso.

El sueño REM se caracteriza en la activación cerebral periódica durante el sueño, en la consolidación de la memoria, en la regulación emocional, en procesos recuperativos localizados, en la regulación inmunológica, el proceso de reparación de ADN, entre otros (3).

El sueño tiene una función muy importante para el ciclo restaurativo del cuerpo y mente, tanto del sistema nervioso central, sistemas neuroendocrinológicos, ritmos internos de distintos órganos del cuerpo. Inclusive mejora la calidad de vida,

considerándose como un tratamiento obligatorio para pacientes con enfermedades cardiológicas, renales, hepáticos, entre otros (3).

RITMOS CIRCADIANOS

Son ritmos biológicos de aproximadamente 24 horas, donde ocurren diferentes tipos de funciones, desde los tipos bioquímicos al interior de la célula, hasta la regulación del metabolismo, temperatura corporal, mantenimiento del equilibrio homeostático del organismo. Para aquellos ciclos que ocurren en periodos inferiores a las 24 horas se denominan ciclos ultradianos y los mayores a 24 horas se denominan ciclos infradianos (7).

CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LOS DESÓRDENES DE SUEÑO

En 1990 fue aceptada la clasificación propuesta por la Asociación Americana de Desórdenes del Sueño, dividido en cuatro grupos:

- I) Disomnias o dificultades para iniciar o mantener el sueño y la somnolencia excesiva.

El insomnio es una situación clínica caracterizada por un sueño insatisfactorio, que ocurre a pesar de las condiciones para dormir. Generalmente lo usan como una queja relacionada con la cantidad o la calidad del sueño, también, podría considerarse como un síntoma parte de una enfermedad, en muchos casos también lo llaman como problema del sueño (8).

Hipersomnia Idiopática, se caracteriza por somnolencia diurna recurrente sin los demás síntomas de la narcolepsia. También, por un

sueño nocturno prolongado, las personas presentan dificultades al despertar, tienen confusión mental, o presentan agresividad, aparece generalmente entre los quince y los treinta años de edad de forma progresiva (9).

- II) Parasomnias, o fenómenos en los que no están comprometidos los mecanismos del sueño o vigilia, sin embargo, se presentan durante el sueño, como el sonambulismo, las pesadillas, movimientos de piernas. Son conductas anormales que ocurren al comienzo del sueño, puede darse durante el sueño o al despertar, puede tratarse con fármacos y psicoterapia, el diagnóstico es clínico (10).
- III) Desórdenes asociados a alteraciones médico - psiquiátricas. Asociadas a las alteraciones ligadas con el sistema respiratorio, digestivo, cardiovascular, enfermedades psiquiátricas, neurológicas.
- IV) Trastornos del sueño propuestos provisoriamente: asociados a los trastornos relacionados con la menstruación, el embarazo (11).

SOMNOLENCIA

La somnolencia es la predisposición de la persona a quedarse dormido, con sensación de sueño fuerte, con facilidad de transitar de la vigilia al sueño (12).

Se considera como una evolución entre vigilia y el sueño (13), es un estado de falta de atención del cerebro durante un corto período de tiempo, se puede observar durante la transición del estado de vigilia al estado de sueño. La somnolencia puede reducir el estado de alerta de una persona, lo que aumenta los riesgos de accidentes

cuando se involucra en sus actividades personales o profesionales, como conducir un vehículo, operar una grúa, un montacarga, etc., (14).

Afecta las capacidades sensoriales, cognitivas y psicomotoras de los conductores de vehículos, que son necesarias para una conducción segura. La detección de la somnolencia es fundamental para evitar accidentes de tránsito, (15).

La somnolencia de los conductores surge debido a la falta de sueño, la fatiga y otros factores de salud, pueden conducir a la mortalidad, por lo tanto, es necesario prevenir los accidentes causados por la somnolencia en los conductores (16). Consecuencia de las tendencias sociales modernas, como largas horas de trabajo, la gran dependencia de vehículos de transporte, falta de sueño, a pesar de los esfuerzos desplegados por los investigadores para desarrollar sistemas eficientes de detección de la somnolencia de los conductores, ninguno de ellos ha sido ampliamente adoptado hasta ahora, debido a su alto coste de implementación, su naturaleza intrusiva y su ineficacia en situaciones difíciles de la vida real, en los últimos años se han desarrollado varias arquitecturas de detección de somnolencia, basados en muchos factores, aún los sistemas de detección requieren de una mejora en términos de eficiencia, precisión, costo, velocidad, disponibilidad (17).

La somnolencia objetiva, se refiere a la predisposición de una persona a quedarse dormida, conocida también como la propensión del sueño (12).

La somnolencia subjetiva, está relacionado con el estado de transición entre la vigilia y el sueño, la persona tiene sensaciones y síntomas subjetivos observables como el bostezo, pérdida del tono de músculos extensores del cuello haciendo que

la cabeza se inclina hacia los lados o hacia adelante o atrás, presenta constricción pupilar, reducción de la atención, entre otros (12).

ALTERACIONES

El sueño insuficiente es quizá la causa más frecuente de somnolencia diurna, es muy común entre los trabajadores con cambio de turno, trabajadores con varios empleos y los de grupos socioeconómicos bajos. Las personas con insuficiencia crónica de sueño pueden estar distraídas, desmotivadas, deprimidas e irritadas que le dificulta concentrarse para conducir con normalidad. Los conductores con insomnio desarrollan comportamientos contraproducentes, muchas veces tienen un horario irregular de sueño y vigilia que altera los ritmos circadianos, consumen sustancias como la cafeína, el tabaco, energizantes, que favorece la vigilia (18).

TRASTORNOS DEL SUEÑO

La Clasificación Internacional de Trastornos del Sueño ICSD-2, Segunda Revisión, clasifica los trastornos del sueño, en las siguientes categorías (4):

1. Insomnio.

Dificultad para iniciar o mantener el sueño, puede incluir períodos prolongados de vigilia nocturna o cantidades insuficientes de sueño nocturno, se percibe como un sueño de mala calidad o no reparador (19).

2. Trastornos de la respiración relacionados con el sueño.

Los síndromes de apnea central, el esfuerzo respiratorio disminuye de forma intermitente o con pausas respiratorias como resultado de una alteración del sistema nervioso central (19).

3. Trastornos centrales de hipersomnolencia.

Son aquellos en los que la queja importante es la somnolencia diurna y la causa del síntoma principal no es el sueño nocturno alterado ni los ritmos circadianos desalineados.

La somnolencia diurna se define como la imposibilidad de permanecer alerta y despierto durante los principales episodios de vigilia del día, lo que resulta en lapsos involuntarios de sueño (19).

4. Trastornos del ritmo circadiano sueño vigilia.

La característica principal de estos trastornos es una desalineación persistente o recurrente entre el patrón de sueño del paciente y el ritmo deseado o considerado como la norma social (19).

5. Parasomnias.

Las parasomnias son eventos físicos o experienciales indeseables que acompañan al sueño, consisten en movimientos, comportamientos, emociones, funcionamiento anormal del sistema nervioso autónomo relacionados con el sueño, trastornos del despertar, el despertar parcial (19).

6. Trastornos del movimiento relacionado con el sueño.

Se determinan por movimientos relativamente simples, que perturban el sueño, como el movimiento periódico de las extremidades y el síndrome de piernas inquietas (19).

7. Síntomas aislados, variantes supuestamente normales y problemas no resueltos

Se encuentran en el límite entre el sueño normal y el anormal, como los trastornos debidos a la duración del sueño y los ronquidos.

Este diagnóstico se realiza cuando los ronquidos no están asociados ni con insomnio ni con somnolencia excesiva (19).

8. Y otros trastornos del sueño

Otros trastornos fisiológicos u orgánicos del sueño, alteración del sueño causada por un factor ambiental que interrumpe el sueño y provoca insomnio o somnolencia (19).

FATIGA

La fatiga es un estado común de la humanidad que se determina por una reducción del nivel de conciencia y alerta. Por lo tanto, el reconocimiento de la fatiga y la somnolencia se ha vuelto forzoso en muchas situaciones que dependen del estado de alerta de una persona, por ejemplo, al momento de conducir vehículos motorizados en vías públicas, monitorear a pacientes en la unidad de cuidados intensivos en un hospital, etc., (20).

Durante la conducción de un vehículo motorizado, afecta la coordinación mano-pie del conductor, siendo un factor a considerar en los accidentes de tránsito, se categoriza tres niveles de fatiga: alerta o fatiga leve, fatiga moderada y fatiga severa, el estudio demostró que la coordinación mano-pie del conductor presenta características de conectividad funcional cerebral distintas en diferentes estados de fatiga, evalúan el nivel de fatiga cada 6 minutos aplicando la Escala de Somnolencia de Karolinska (ESK) (21).

La detección de fatiga se puede realizar a través de la evaluación del estado de fatiga de los conductores, como el tiempo que toma en mantener los ojos cerrados, la frecuencia de parpadeo, frecuencia de bostezo, cabeceo, este proceso de

detección enfrenta varias restricciones como variedad de parámetros a analizar, baja precisión, detección continua que dificulta construir un modelo de detección de fatiga (22), (23).

DETECCIÓN DE LA SOMNOLENCIA

La detección de la somnolencia del conductor en tiempo real es un campo crítico de investigación dentro de la seguridad vial, siendo una tarea desafiante y un problema abierto, ya que requiere de un análisis basado en varios signos conductuales y fisiológicos como problemas de salud, estrés mental, agotamiento (24), hay muchos esfuerzos de investigación que han abordado el problema de detección del comportamiento anormal del conductor (25).

Hoy en día, el desafío es detectar la somnolencia mediante señales fisiológicas, a menudo requieren contacto directo con el conductor, esto puede distraer o resultar incómodo, hay tres enfoques de detección de distracciones: distracción manual, distracción visual y distracción cognitiva (26). Los métodos no intrusivos para detectar la somnolencia se basan en medidas de comportamiento, como la postura de la cabeza, la relación de cierre de los ojos, el parpadeo, los bostezos y las expresiones faciales para determinar qué tan cansado está el conductor (27).

Los conductores tienen diferentes estilos de conducción, experiencias y emociones, debido a ello, tienen distintos estilos, exhiben sus propios comportamientos y hábitos de conducción, como el comportamiento agresivo, este comportamiento anormal se ve afectado por factores como la inexperiencia, edad, género o enfermedad del conductor (25).

La somnolencia afecta el tiempo de reacción del conductor, la habilidad en la toma de decisiones y el estado de alerta general, disminuye su facultad de atención y concentración durante el manejo y pierde capacidad de respuesta, no tiene capacidad de hacer maniobras evasivas para evitar colisiones, o manejar situaciones difíciles que exigen reacciones inmediatas lo que aumenta significativamente el riesgo de colisiones cuando se circula por la carretera o por la ciudad, pestañear y bostezar durante la conducción, expresan un nivel de fatiga y sueño (24). Conducir en estado somnoliento, las consecuencias de los accidentes son de altísima siniestralidad con posibles pasajeros muertos, heridos y pérdidas materiales. La información existente señala que hasta un 30 % de los accidentes en carreteras son producidos por el cansancio o somnolencia (28)

Un accidente de tránsito no siempre es un delito si es que no hay mayores daños, en este caso se considerará como accidente vial, se convierte en delito cuando se vulnera una o más normas de tráfico, por ejemplo, cuando el chofer está ebrio o se quede dormido mientras conduce, o cuando no tiene licencia de conducir o esta caducado y al causar el accidente dañe a una o más personas hiriéndoles o causándoles la muerte, en el caso que el operador del vehículo respete las reglas de tráfico y que el peatón sea el imprudente ocasionando su propio accidente, entonces queda la posibilidad de liberar de responsabilidad y pena para el chofer. Si el accidente de tránsito se convierte en delito, puede sancionarse de dos maneras, como lesiones culposas agravadas, cuando hay heridos ocasionados por el vehículo motorizado. Homicidio culposo, cuando hay fallecidos ocasionado por el vehículo motorizado, la fiscalía toma conocimiento del accidente de tránsito y en

coordinación con la Policía Nacional del Perú (PNP), dirige la investigación para esclarecer los hechos (29).

La relación entre la calidad del sueño con la accidentalidad vial en los conductores de servicio de transporte público urbano son temas fundamentales para los escenarios de prevención de accidentes en las ciudades. Adicionalmente, en los países en vía de desarrollo se concentra cerca del 80% de los fallecimientos por accidentes de tráfico, lo que en parte obedece a políticas ineficientes en salud pública frente a la movilidad vehicular. La alta accidentalidad a la que tienden los transportistas significa un grave problema de salud ocupacional para las empresas de transporte público, en los siniestros vehiculares intervienen múltiples factores como la deficiente calidad de las redes viales, mal estado de los vehículos, exceso de velocidad y el estado de salud de los conductores. Se estima que 4 de cada 10 choferes no logra tener un sueño adecuado de manera natural y que este hecho representa el detrimento de la atención y vigilancia (30).

SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO, TAXIS Y TRANSPORTE PESADO.

En el servicio de transporte de Lima al año 2024, hay un total de 44 225 conductores habilitados, de los cuales 43 938 son varones y 287 son damas siendo un 0.6 %. En el caso del servicio de transporte especial taxi, transporte de estudiantes, turístico y de trabajadores, hay 66 215 conductores habilitados, de los cuales 1 962 son damas equivalente a un 2.9 % (31).

El Ministerio de Salud recomienda dormir por lo menos 6 horas a conductores para evitar accidentes de tráfico. Los accidentes provocados por somnolencia ocurren generalmente entre las 02:00 - 06:00 horas y las 13:00 - 15:00 horas (32).

No hay forma de precisar el momento exacto en que el sueño se apodera del cuerpo, mientras uno conduce es perjudicial quedarse dormido, estar somnoliento afectará la capacidad de reacción para operar un vehículo de forma segura, tendrá limitaciones para reaccionar a tiempo, incapacidad para mantener atención al volante, el hecho de conducir un vehículo con somnolencia es preocupante sobre todo cuando resulta en un accidente porque la responsabilidad del hecho en la mayoría de los casos se reduce a la responsabilidad del conductor. Por ejemplo, si un informe policial revela que el vehículo invadió el carril contrario, puede significar que el conductor no estuvo atento, no usó los frenos a tiempo para evitar la colisión, además, si usó medicamentos para inducir el sueño, un jurado puede inferir que el conductor estaba dormido al volante en el momento del accidente. El caso puede juzgarse penal o civilmente, si el caso fuese penal, el Estado establece ciertos hechos más allá de una duda razonable, lo cual es un estándar muy alto, y si fuese un caso civil, será necesario probar los hechos relevantes, un estándar desafiante pero mucho menos exigente. Si alguien muere en la colisión, el operador del vehículo que se quedó dormido, puede ser procesado por conducción imprudente u homicidio negligente, en algunos países las leyes obligan a la fiscalía demostrar culpabilidad para probar el homicidio negligente por haber conducido con sintomatología de fatiga (33).

En un trabajo de investigación realizada en la Universidad de Monash – Australia, los operadores de vehículos tienden a negar que se quedaron dormidos al

volante por diversos motivos, por ejemplo, vergüenza, pérdida del seguro. En el estudio participaron 16 conductores jóvenes de 21 a 33 años y 17 choferes de 50 a 65 años, hicieron 2 recorridos en pista de 2 horas en el horario de la tarde, bajo la supervisión de un instructor de conducción autorizado en dos aspectos: bien descansados (8 h de sueño) y privados de sueño (0 h de sueño), los choferes que participaron en la investigación estuvieron mental y físicamente sanos, duermen habitualmente bien, no tienen licencia suspendida, tiempo de conducción mayor a 3 años, no tomaban medicaciones, no eran fumadores ni trabajadores por turnos. Los resultados en el caso de los conductores jóvenes se presentaron todos los síntomas de somnolencia, excepto la divagación mental, se predijo un deterioro de la conducción, cuasi-accidentes de 0.78 – 1.00, desvíos de carril de 0.78 a 0.94. En el caso de los conductores mayores de edad, el deterioro grave se reflejó con precisión en las valoraciones posteriores a la conducción, cuasi-accidentes de 0.86 a 0.94. Sugieren que cuando se realizan entrevistas posteriores a los accidentes de tránsito, se deberían formular preguntas sobre la somnolencia subjetiva y los síntomas asociados. Para determinar la causalidad y la culpabilidad de los operadores de vehículos en los accidentes por quedarse dormido requiere un examen forense exhaustivo, y las entrevistas con los sobrevivientes posteriores al accidente forman una parte importante del proceso. Para la investigación hicieron uso de los cuestionarios que evalúan la somnolencia (Escala de Somnolencia de Karolinska) y los síntomas de somnolencia (Cuestionario de Síntomas de Somnolencia), por otro lado, sostienen que hay evidencia de la conciencia de la somnolencia de los conductores antes de quedarse dormidos (34).

La somnolencia en los conductores de autobús es común, pero generalmente no se reporta en el sector. En la investigación participaron 16 operadores de autobuses de Londres y completaron dos recorridos por su ruta que habitualmente circulan, uno durante el turno de madrugada y otro durante el turno diurno, se redactó un autoinforme sobre el sueño y el estrés, datos fisiológicos de los participantes y registro del vehículo. Finalmente, los hallazgos son que los conductores de autobús presentan somnolencia al completar sus turnos cotidianos, con mayores niveles de somnolencia durante el viaje matutino, mayor nivel de estrés durante el viaje diurno, los choferes mencionaron mayor somnolencia durante el viaje diurno, seguramente por el estrés y fatiga. Las causas de la somnolencia son una combinación de diversos factores laborales y personales, como el horario de trabajo, los turnos, el tráfico y los compromisos personales fuera del trabajo. No se trata de responsabilizarlos por la somnolencia a los conductores, se debería facilitar a los conductores opten medidas para reducir la somnolencia, educarlos, promover la cultura de apertura, como el sueño reparador, reportarlos sin temor a alguna sanción o cambiar de horario para reducir el estrés al volante. La mayoría de los conductores no dormían lo suficiente antes de los turnos de madrugada. Se ha demostrado que la somnolencia es un problema global para los conductores de autobús (35).

En China, los operadores vehículos pesados (camiones), debido a las largas jornadas al volante con periodos de descanso irregulares y la falta de sueño provocan fatiga y reducen el tiempo de reacción, lo que incrementa de forma importante la probabilidad de accidentes. La alta tasa de accidentes y muertes relacionadas con camiones está relacionada con aspectos personales de los

conductores y las estrategias de gestión de las empresas. Diseñaron un cuestionario con el fin de recolectar información de características individuales, entorno laboral y los hábitos de conducción de los conductores de camiones. Entre los hallazgos, se puede mencionar que los conductores tienen malas condiciones laborales, bajos salarios, conductas de conducción arriesgadas, alta exigencia laboral en el cumplimiento de sus obligaciones y el clima de seguridad son los principales factores que afectan la conducción, sobre las características individuales identificaron al estado fisiológico, estado psicológico, estos indicadores son esenciales en el rendimiento, sobre los atributos demográficos se puede mencionar la edad, género, experiencia al volante. En estos trabajadores, la calidad del sueño es crucial ya que conducen largas jornadas, el sueño afecta el estado psicológico del conductor y su estado emocional, estos contribuyen o estarían relacionados con los accidentes de tránsito. Por otro lado, el clima de seguridad que imparta las empresas, afecta positivamente el entusiasmo y las actitudes de los conductores con respecto a la conducción segura (36).

La somnolencia del conductor afecta en por lo menos el 20 % de los accidentes graves de vehículos motorizados, en la investigación participaron 15 estudiantes universitarios (5 damas y 10 varones) físicamente sanos con 25.5 años en promedio, antigüedad de la licencia de conducción de 5.6 años en promedio. La fatiga se identifica como un proceso gradual y acumulativo vinculado al esfuerzo gastado produciendo el cansancio, en cuanto a la somnolencia, es la proclividad a quedarse dormido, varios factores causan la somnolencia en los conductores, entre ellos los aspectos psicofisiológicos, físicos, ambientales, turnos de trabajo, cantidad y calidad del sueño y vibración vehicular, los factores psicofisiológicos influyen

sustancialmente sobre la vigilancia y la atención, la ansiedad, la depresión, muchos conductores hacen el uso de chicles, café o siestas para contrarrestar la somnolencia. Los resultados de la investigación son coherentes con otros trabajos de investigación como en los aspectos temporales del trabajo, horarios de trabajo irregulares, duraciones prolongadas de conducción, duración y calidad del sueño tienen un impacto sustancial en la somnolencia del conductor, la influencia de la vibración vehicular aumenta el riesgo de somnolencia los que incrementan la probabilidad de accidentes automovilísticos. Ninguno de los participantes mencionó tener dolor de cuello, trastornos musculoesqueléticos o problemas cardiovasculares. Se les solicitó a los participantes de la investigación que se abstuvieran de cualquier tipo de bebida alcohólica, medicación sedante durante las 24 h anteriores, horarios de sueño de 7 horas durante tres noches consecutivas se entregó a los participantes una tarjeta de regalo de 60 dólares, el protocolo experimental fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad RMIT HREC EC00237 (37).

En la investigación, indican que los conductores más jóvenes fueron más susceptibles a la somnolencia, mientras que los conductores de mayor edad tuvieron menor rendimiento en la toma de control, mayor tasa de colisión. Los conductores fatigados tienen un procesamiento periférico reducido, una atención selectiva disminuida, procesamiento de la información visual más lento, consecuentemente menor rendimiento al volante, tiempo de reacción al frenado más lento, mayor desviación del carril y mayor variabilidad de la dirección. Las medidas de somnolencia de los conductores se dividieron en dos categorías: subjetivas y objetivas, subjetivas se subdividieron en autoevaluación y evaluación del

observador. La evaluación del observador implica una evaluación de los indicadores faciales y conductuales del conductor con fatiga o en estado de somnolencia por parte de observadores capacitados. Las objetivas, implican el monitoreo de indicadores fisiológicos y conductuales, siendo las medidas relacionadas con el movimiento ocular, incluye la frecuencia y duración del parpadeo, los movimientos sacádicos (movimiento involuntario, rápido y brusco de los ojos) (38).

En Lima – Perú, se realizó una investigación con participación de 83 conductores de vehículos de buses interprovinciales, utilizaron el cuestionario de *Pittsburgh* para la calidad del sueño y *Epworth* para la somnolencia, pudiendo determinar que los choferes no presentaron problemas de sueño con un aproximado del 57.8 % del total de encuestados considerándose como buen dormidor, y el 42.2 % presentan problemas de sueño, nominándoles como mal dormidor. Respecto de la somnolencia diurna el 81.9 % de los conductores lo manifiestan, y somnolencia diurna excesiva el 18.1 %, los denominados malos durmientes oscilan entre los grupos de 31- 40 años y 51- 60 años, no encontraron relación significativa entre la edad y el grado de somnolencia (39).

En un trabajo de investigación, participaron 440 conductores de transporte público de Lima Metropolitana de los cuales 78 choferes presentaron somnolencia siendo un 17.7 %, se recabó la información utilizando la Escala de Somnolencia de *Epworth* – Versión Peruana, posiblemente los resultados reflejados obedece al sistema de rotación 2 x 1 que tienen los conductores y a las horas reducidas de sueño con un aproximado a 6 horas diarias, es decir de cada 5 conductores 1 presentó somnolencia diurna. Por otro lado, el Índice de Masa Corporal (IMC) no fue un

factor asociado a la somnolencia. Recomendándose capacitaciones con la higiene, calidad de sueño para los conductores y directivos de las empresas de transporte público de Lima, resaltando la importancia de la estandarización de los descansos, de los sistemas de rotación y el cumplimiento de las horas de sueño para los operadores de vehículos, la edad promedio de los choferes fue de 38 años aproximadamente y un 99.3 % de las personas al volante son varones, los conductores presentaron sobrepeso el 43 % del total de encuestados y poseen entre 15 a 30 años de experiencia como conductores de vehículos en el transporte público de Lima (40).

En otro estudio de investigación, de una muestra de 30 taxistas del distrito de Santiago de Surco - Lima Metropolitana del año 2016, presentaron somnolencia diurna normal el 43.8 % con una edad promedio de entre 27 a 39 años de edad, 47.5 % de 40 a 59 años y 84.6 % de 60 años a más, para el acopio de información se aplicaron los cuestionarios de Somnolencia *Epworth* y Calidad de sueño de *Pittsburg*. La Calidad de sueño se observa que un 60.8 % de taxistas presentaron moderada dificultad para dormir y un 25 % presentó una baja dificultad para dormir (41).

En el trabajo de investigación realizada con choferes de transporte interprovincial tipo cama baja del año 2017, se consideró una muestra de 402 conductores, aplicaron el cuestionario de calidad de sueño de *Pittsburgh*, la escala de ira de conductores (EIC) y el cuestionario de personalidad de *Zukerman* y *Kuhlman – III*, respecto de la evaluación de la calidad de sueño, el 67.4 % presentaron una calidad normal, el 17.7 % presentó una calidad de sueño disminuida sin medicación y 1.5 % presentó calidad de sueño deteriorada que

requiere atención de equipo multidisciplinario y medicación. En relación a los niveles de ira de los operadores de vehículos de transporte interprovincial prevaleció el nivel de ira leve con el 73.2 % y un 1.5 % presentó nivel de ira grave, esta emoción no positiva de los choferes estaría asociado a los accidentes de tránsito (42).

En el trabajo de investigación realizada en choferes del Transporte Público de Tacna de 2023 con una muestra de 384 conductores, para el recojo de información utilizaron un cuestionario con la Escala de somnolencia de *Epworth*, el 54.4 % de los conductores presentan somnolencia diurna negativa, y el 45.6 % presentan indicios de somnolencia diurna positiva, de acuerdo a los datos sociodemográficos de los operadores de vehículos con somnolencia diurna positiva, la edad de entre 41 a 50 años corresponde al 51.4 % de operadores de vehículos de la muestra, seguido de un 20.0 % de entre 31 a 40 años. En cuanto a las horas de conducción, el 44.6 % de los operadores de vehículos conducen entre 13 a 14 horas/día, seguido por el 40.6 % que conducen entre 11 a 12 horas/día. En relación a los años de experiencia como choferes, un 37.1 % tienen entre 11 a 20 años de servicio y un 26.9 % con 21 a 30 años de servicio (43).

En el trabajo de investigación sobre prevalencia de somnolencia diurna y síndrome de apnea obstructiva del sueño en los conductores de empresas de transporte terrestre del Terrapuerto Wari - Ayacucho 2023 se identificó una muestra de 182 conductores, aplicaron cuestionario de *Epworth*. Determinaron que el 64.8 % de los conductores del Terrapuerto no presentan somnolencia diurna excesiva, en cambio el 35.2 % de los operadores presentan somnolencia diurna excesiva, la totalidad de los conductores son varones, con una edad menor o igual a 50 años de

edad, con secundaria completa, los operadores de vehículos presentan somnolencia diurna excesiva y riesgo de SAOS (Síndrome de Apnea Obstructiva del Sueño), trastorno en el que la respiración se detiene e interrumpe el sueño profundo y reparador, el 52.7 % de los choferes presentan riesgo moderado a alto de presentar SAOS (44).

CASO JUDICIALIZADO

Sentencia de Vista, Proceso N° 00419-2009-0-1018-JM-CI-02, demandados Empresa de Transportes Turismo A. S.R.L. y el señor E.P.H., materia Indemnización de daños y perjuicios, Segundo Juzgado Mixto de Santiago, Cusco, 07 de marzo de 2018, la demanda interpuesta contra la empresa de transportes Turismo A. S.R.L. y otro, sobre indemnización por daños y perjuicios, el demandado dio su manifiesto indicando que: de retorno al Cusco, se encontraba resfriado y con fiebre y optó por colocarse un inyectable y tomó pastillas a las 21:00 horas en una botica ubicado al frente al terminal Terrestre de Quillabamba, luego prosiguió con el viaje, lo último que recuerda fue haber pasado el grifo PRIMAX del distrito de Poroy, despertó cuando el bus impactó en la cuneta, chocando con un poste de cemento. Mencionan que estuvo conduciendo por varias horas continuas agravando su malestar, el cansancio y el sueño hizo que perdiera el control del vehículo, causando el accidente con los fallecidos y heridos que se ha ocasionado, incurriendo en el delito contra la vida, el cuerpo y la salud, en su modalidad de homicidio culposo en accidente de tránsito y lesiones de diferente naturaleza, causados al actor Sr. J.D.A.A. Identificándose como único responsable el conductor del vehículo E.P.H. y, que el accidente obedeció a una causa

imprevisible. Se confirmó la sentencia contenida en la Resolución N° 64, de 1 de septiembre de 2017 (fojas 724), se declaró fundada la demanda en contra E.P.H. y la empresa de transportes Turismo A. S.R.L. sobre indemnización por daños y perjuicios, se determinó el pago solidario de los demandados por daño emergente S/ 5 000.00, daño moral S/. 10 000.00, lucro cesante S/. 2 000.00 y el pago de costas y costos (45).

1.2. CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO.

ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Se denomina a todo accidente de tránsito que se produzca en la vía pública, ya sea que comience, termine o implique a un vehículo que se encuentre en la vía. Por tanto, este tipo de accidente incluye las colisiones entre automóviles y animales, automóviles y personas, automóviles y obstáculos inmóviles o automóviles y otros automóviles (46), (47).

Estos accidentes pueden provocar daños a la propiedad, a la infraestructura, costos de tratamiento de lesiones y pérdida de productividad de personas con lesiones permanentes, muertes y daños masivos a la propiedad pública y privada, que afectan a las víctimas (incluidos sus amigos y familiares), empleadores, compañías de seguros y organizaciones gubernamentales interesadas (47), (48). También, contribuyen a las pérdidas ambientales, ya que contribuyen a la congestión del tránsito, el desperdicio de combustible y el aumento de las emisiones de monóxido de carbono (49).

En Japón, más de la mitad de los accidentes de tránsito se producen en las intersecciones de calles o avenidas, o cerca de ellas, y muchos en intersecciones pequeñas, donde hay restaurantes, supermercados, tiendas. Mencionan que es menos probable que se produzcan los accidentes en las intersecciones donde hay parques, un aspecto a considerar es la visibilidad. Para reducir el número de accidentes, es importante comprender las relaciones y las causas de los accidentes, la influencia socio demografía, en particular la edad, así como los impactos de la infraestructura vial, como el diseño de la carretera, las señales de tránsito y las

instalaciones para peatones, comprender las interacciones cognitivas de los automovilistas, considerar los campos de visibilidad y los obstáculos para ambos tipos de usuarios de la carretera, no es solo el volumen de tránsito que pasa y la infraestructura vial lo que determina los accidentes, sino también la interacción de vehículos y peatones en la intersección, que a su vez depende de las instalaciones alrededor de la intersección que tienen un impacto en la ocurrencia del accidente (50).

Los accidentes mortales están relacionados con la ubicación de la actividad industrial, educativa, negocios o salud, justamente porque en estos establecimientos hay mayor concentración de personas, que hace posible el incremento del número de lesiones leves o graves. El uso de suelo orientado a zonas industriales y comerciales evidenciaron mayor probabilidad de incidentes y accidentes mortales, otro tipo de infracciones de tránsito, como el estacionamiento ilegal que a veces empuja a peatones y ciclistas a condiciones peligrosas de la carretera, podría incrementar la correspondencia entre la gravedad de las lesiones y el comportamiento al volante (51).

La identificación de problemas de seguridad o de tránsito en las intersecciones de las avenidas, calles, puede ser más sencilla a través de cámaras de seguridad y requiere menos recursos. La geolocalización mejora la confiabilidad de la información, los sistemas inteligentes de transporte obtienen resultados eficientes en la seguridad vial, y en la gestión de transporte, ya que reportan información rápida y precisa a los usuarios. El uso de herramientas tecnológicas orientadas al transporte es importante, ya que permite predecir, vigilar o alterar el comportamiento de los peatones, lo cual tiene consecuencias en la mejoría de la

seguridad vial y más aún cuando se mantienen almacenadas las grabaciones para posibles indagaciones e investigaciones sobre la detección de hechos delictivos, exceso de velocidad, pase de luces rojas de un semáforo, en fin, se puede desarrollar proyectos de infraestructura. Ahora es posible detectar problemas de seguridad vial a través de la percepción de los peatones, por los incidentes y accidentes de tránsito sucedidos en el pasado, y las estadísticas de seguridad pertenecientes a una zona en particular puede modificar o mejorar el comportamiento de los peatones (52).

La intención de llevar a cabo un comportamiento dado y su realización están estrechamente relacionados, la intención se convierte en el pilar esencial para explicar el comportamiento. Los propósitos de realizar comportamientos de diferentes tipos se pueden pronosticar a partir de las actitudes hacia el comportamiento, las normas subjetivas y el control conductual percibido (53), (54).

Desde esta teoría se puede explorar el comportamiento infractor de normas de tránsito en peatones ya que es un actor importante y que puede provocar accidentes de tránsito, estudiar la actuación del peatón en su forma de transitar por la ciudad, su conducta de riesgo y de infracción a las normas reguladoras de su comportamiento como usuario de vías públicas o cuán frecuente infringen normas de tránsito, cometen errores y tienen lapsus al usar las vías, siendo los peatones jóvenes quienes cometen más transgresiones, errores y lapsus al transitar de los adultos (55).

Para los conductores de vehículos comerciales, el control conductual percibido se relaciona con la percepción que tiene un individuo de sus facultades para participar o abstenerse de participar en conductas de conducción riesgosas, el control conductual percibido puede ser medido con la escala de Ajzen (56).

Las conductas de conducción temeraria, contribuyen a las muertes y lesiones graves en accidentes de tránsito en todo el mundo, por ello, es fundamental examinar las causas principales de la participación en el incumplimiento de las normas de tránsito, para desarrollar contramedidas eficaces, uno de los factores asociados es el uso del teléfono móvil mientras se conduce y el exceso de velocidad, estas son conductas de alto riesgo, a pesar de los diversos intentos que se han hecho para prevenir la participación en estas conductas, concluyeron que el tipo de regulación, interna o externa, depende del contexto. Los diferentes procesos de regulación, internos, externos y no regulados, pueden influir en las opciones de conducción segura de un individuo dependiendo del entorno percibido por el chofer (57).

CONDUCTORES DE VEHÍCULOS

En China, se ha experimentado un crecimiento espectacular en cuanto a entregas de cargas, consecuentemente se ha reducido los tiempo de entrega, los mensajeros pueden cometer infracciones de tránsito durante la entrega, lo que resulta en una situación de seguridad vial poco alentador, los resultados indican que la aglomeración urbana tienen mayor frecuencia en accidentes de tránsito, la conducción distraída y el uso del carril incorrecto se encuentran entre los tres principales comportamientos riesgosos, en regiones como Beijing-Tianjin (58).

El comportamiento de los conductores de vehículos pesados como camiones, están muy dispersos y apenas se exploran, lo que obstaculiza la posibilidad de resultados de seguridad vial. La experiencia en la conducción de vehículos motorizados tiene un mayor impacto en el comportamiento de los conductores, ya

que cuanto más experimentado es un chofer, menos propenso es a conducir de forma imprudente. Los choferes con menos de 3 años de experiencia en la conducción de camiones tienen más probabilidades de estar involucrados en algún accidente que aquellos con más de 15 años de experiencia en la conducción (59). Aunque los conductores tengan suficiente experiencia al volante, es posible que aún mantengan un comportamiento errático e inmoral en su actitud y es ahí donde entran en juego los rasgos de personalidad. Por lo tanto, es necesario incorporar los rasgos de personalidad de los operadores de camiones al evaluar el nivel de riesgo de diferentes comportamientos al volante en relación con la experiencia.

Existen investigaciones que incorporan variables como el nivel educativo, estado civil y el nivel de ingresos para evaluar el comportamiento de los operadores de camiones, y los resultados son la ocurrencia de accidentes y las infracciones de tránsito, estas investigaciones han demostrado que el bajo nivel educativo está relacionado de manera determinante con accidentes de tránsito incluido el comportamiento del conductor (60).

CAUSAS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

- LA SOMNOLENCIA DEL CONDUCTOR

Es una causa importante de accidentes de tránsito grave y mortal producidos en automóviles y motocicletas (61), junto a la ebriedad, el agotamiento o fatiga, con graves consecuencias para la seguridad vial (62). Por lo que es evidente la necesidad de reconocer automáticamente la fatiga del conductor y alertarlo. Se han desarrollado varios enfoques que exploran factores fisiológicos y físicos (basado en señales de comportamiento de los ojos, la

boca, la cabeza) para clasificar la fatiga del conductor, la velocidad de reconocimiento, la distracción en el proceso de conducción (61), se podrían evitar más accidentes mortales si se avisara a los conductores fatigados con antelación con dispositivos instalados en la cabina del vehículo (63).

La somnolencia en los conductores contribuyó al 22 % de los choques automovilísticos o riesgos cercanos, uno de los cuatro accidentes mortales de tránsito ha sido causado por conductores en este estado (64).

En Estados Unidos y en todo el mundo, conducir cansado o con sueño es un problema muy prevalente, las estimaciones sugieren que los accidentes de vehículos motorizados relacionados con conductores en este estado representan aproximadamente el 20 % de todos los accidentes, y está implicada en el 21 % de todos los accidentes de vehículos motorizados que resultan en una muerte y el 13 % de los accidentes resultaron en hospitalizaciones (65).

La literatura confirma que existe prevalencia de conducción con fatiga en los conductores de camiones provocando sueño, los mismos que influyen en el desempeño de la conducción de vehículos (66).

- **EXCESO DE VELOCIDAD**

El exceso de velocidad está vinculado a las lesiones graves. Se identificó como el problema más común y grave entre los conductores de camiones, exceder el límite de velocidad no solo causa accidentes y lesiones, sino que también incrementa el nivel de gravedad (66).

- **CONDUCIR BAJO EFECTOS DEL ALCOHOL**

El consumo de alcohol en los choferes es un factor importante a estudiar. Alrededor del 9.1 % de los conductores sostienen que a veces conducen luego de haber bebido alcohol y un 15.5 % afirman que casi nunca conducen luego de haber consumido una bebida alcohólica, haciendo un total de 24.6 % de los entrevistados han conducido un vehículo bajo los efectos del alcohol con mayor o menor frecuencia y un 8.4 % mencionan que no conducen después de beber alcohol debido a que son conscientes de una posible sanción económica (67).

Los errores de conducción aumentan el riesgo de accidentes bajo la influencia de drogas, la prevalencia del consumo de estimulantes en los choferes, para mejorar la seguridad vial sugieren reducir el consumo de estimulantes, especialmente entre los conductores más jóvenes y menos experimentados, y en operadores vehiculares de camiones de larga distancia que consumen estimulantes (68).

- **INCUMPLIMIENTO DE LA DISTANCIA DE SEGURIDAD**

Uno de los elementos vinculados directamente con los accidentes de tránsito es no mantener el espacio de seguridad adecuada entre vehículos, siendo uno de los aspectos principales que influyeron a los choques entre vehículos (69), identificaron que el 18.4 % de los conductores conducían sin mantener la distancia prudente de seguridad entre vehículos, el 76 % afirma que siempre o casi siempre mantiene el espacio prudente de seguridad, no mantener el margen de seguridad debería amonestarse con un grado de

severidad por la autoridad pertinente. El 11.4 % de los choferes justifica que la prisa que lleva es lo que le motiva acortar la distancia, sin embargo, casi el 70 % de quienes conducen mantienen el espacio de frenado adecuado para evitar algún un accidente de tránsito, y el 19.2 % lo hace para evitar los potenciales e inesperados frenazos (67).

El seguimiento continuo o persecución vehicular, es otra característica grave en conductores agresivos que tienden a seguir al vehículo que va delante con intervalos cortos. Los resultados mostraron que los choques relacionados con el seguimiento continuo de vehículos deportivos (SUV) o vehículos pesados fueron aproximadamente 1.7 veces más altos que los buses de pasajeros (66).

- **EL ESTRÉS AL VOLANTE**

Se define como un estado de tensión psicológica que desafía la capacidad del conductor, reduce su control percibido o amenaza su salud física y mental (70). El estrés en los conductores de vehículos es un factor crítico que conduce a accidentes de tránsito (71). Depende principalmente del estado emocional y psicológico durante la conducción, y está relacionado de manera más amplia con varios factores estresantes que los conductores pueden encontrar como una carga cognitiva alta, entorno externo, factores sociales.

Cuando se incrementa el estrés al conducir, se pueden observar las siguientes características de desempeño: disminución de velocidad,

desviación máxima del carril lateral, menor presión del pedal del acelerador, mayor presión del frenado (71).

- LA DELINCUENCIA EN LA VÍA PÚBLICA

Las personas que cometen ciertas infracciones de tránsito tienen probabilidades de tener también antecedentes penales. Conducir bajo la influencia del alcohol, conducir sin licencia y los excesos de velocidad están asociadas como una forma de conducta delictiva en la vía pública, aunque suele considerarse separado de otros tipos de delitos, sugieren realizar investigaciones que incluyan factores sociales, contextuales, fundamentadas con teorías psicosociales, que amplíe al conocimiento del comportamiento criminal (72).

ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LIMA Y PROVINCIAS

En Lima Metropolitana, se produce la mayor cantidad de accidentes de tránsito ocasionados por la imprudencia o ebriedad del conductor en un 35.9 % (3 582) y 27.4 % (2 733) por exceso de velocidad. Mientras que, en Huancavelica, aproximadamente 8 de cada 10 accidentes de tránsito son causados por señalización defectuosa, exceso de carga, factores ambientales, desacato a la señal de tránsito, vehículos mal estacionados por parte del chofer, y en Tacna y Tumbes ocurrieron aproximadamente 6 de cada 10 por estos mismos motivos (73).

Los días que ocurren los accidentes fatales con mayor frecuencia en Lima Metropolitana el año 2023 fueron los sábados y domingos, seguidos por los días lunes y martes. El rango de hora de la mayor cantidad de accidentes fue de entre las

18:00 horas hasta las 24:00 horas registrándose 211 casos, seguido del intervalo de 00:00 hasta las 6:00 horas con 180 casos, finalmente, se encuentra el periodo desde las 6:00 hasta las 12:00 horas del día, con un total de 161. Los lugares donde ocurrieron los accidentes con consecuencias fatales fueron principalmente las destinadas al comercio como mercados, galerías, centros comerciales por la mayor circulación de peatones y la congestión vehicular, siendo la vía expresa y avenidas con la mayor tasa de accidentes y muertes, luego carreteras donde los vehículos transitan con mayor velocidad (74). De acuerdo a la PNP, las vías con mayor número de accidentes son las carreteras, principalmente, la carretera Panamericana Sur y Panamericana Norte, seguido de la Avenida Tupac Amaru y Vía Evitamiento (75). Los vehículos que tienen mayor presencia en accidentes fatales son generalmente los de uso particular, seguido de vehículos de carga pesada y de transporte público (76).

SEGURIDAD VIAL

INFRACCIONES DE TRÁNSITO

Las infracciones de tránsito se pueden dividir en dos categorías: infracciones que se originan antes de conducir (infracciones fijas) e infracciones que ocurren mientras se conduce (infracciones transitorias) (77). Por ejemplo, las infracciones fijas incluyen manejar bajo los efectos del alcohol o las drogas, no usar el cinturón de seguridad, conducir sin licencia y conducir un vehículo no registrado o defectuoso. Por el contrario, las infracciones transitorias incluyen infracciones como el exceso de velocidad ocasional, la conducción errática o peligrosa o saltarse un semáforo en rojo. Las infracciones transitorias generalmente ocurren "en el

momento" y son una reacción a un contexto vial particular o al estado de ánimo del conductor (78).

Los accidentes de tránsito provocados por diversos factores como la superficie de la carretera mojada, inadecuado alumbrado público, accidentes debidos a la falta de atención del conductor, antigüedad del vehículo menor de 10 años y la edad del conductor menor de 18 años han influido principalmente en la ocurrencia de accidentes fatales. Las probabilidades de que ocurran accidentes mortales en una calzada mojada son 1.19 veces mayores que en una calzada seca. Durante la noche las probabilidades de que sucedan accidentes mortales por una inadecuada iluminación pública fue de 1.51 veces mayores que durante el día (79).

La percepción del riesgo se refiere a la evaluación subjetiva que hace un individuo de la probabilidad y la gravedad de las posibles consecuencias negativas asociadas a una determinada conducta o situación. En el caso de los operadores de vehículos de carga o comerciales, la percepción del riesgo se relaciona con la percepción que tiene un individuo de los riesgos asociados a conductas de conducción imprudentes. Investigaciones recientes han proporcionado información valiosa sobre la compleja interacción de factores que influyen en la propensión de los choferes a sufrir accidentes, como patrones demográficos, rasgos de personalidad, la percepción del riesgo y las creencias personales (56).

La seguridad vial y accidentes de tránsito, es un problema complejo para la mayoría de los países, hay muchas razones que ocasionan los accidentes de tránsito entre ellos las condiciones ambientales meteorológicas, estado de las carreteras, condición del vehículo y el factor humano que juega un papel importante, este factor incluye el comportamiento de los conductores como conducir con exceso de

velocidad, en estado etílico, conducir bajo los efectos de drogas, manejar de forma imprudente, conductas de conducción distraídas, fatiga del conductor, pasar semáforos en rojo y no usar el cinturón de seguridad. En el Perú, la Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN), impuso un total de 89 594 infracciones a vehículos que sobrepasaron los umbrales máximos de velocidad en la Red Vial Nacional de enero y diciembre de 2024, del total de infracciones encontradas, el 92.28 % corresponde a automóviles y pick up, el 4.7 % a vehículos de carga, el 3 % a microbuses y menos del 1 % a buses y otras unidades (80).

No respetar el límite máximo o mínimo de velocidad establecido en el Reglamento Nacional de Tránsito corresponde la falta M20a – M20d con una multa desde S/. 963.00 hasta S/. 2675.00 y una penalidad al conductor desde 50 a 70 puntos (81). En este caso las normas están dadas, inclusive las amonestaciones económicas, el problema pasa por identificar, mejorar los procedimientos de las entidades supervisoras del cumplimiento de las normas en las carreteras, calles y avenidas del país.

En el primer trimestre de 2024 se han impuesto 168 866 multas de tránsito, más del doble de 2023, la cantidad de choferes detenidos por intentar coimear a policías se ha incrementado, por ejemplo, el año 2022 hubo un total de 274 conductores que intentaron coimear a policías, 262 el año 2023 (82).

En América Latina y el Caribe, unas 110 000 personas fallecieron por accidente de tránsito y más de 5 millones resultan heridas cada año, siendo la principal causa del deceso en niños de entre 5 y 14 años y la segunda causa en adultos jóvenes en la región, los países pierden a muchos ciudadanos en sus años más productivos,

todo esto significa un costo entre un 2 % a 6 % del Producto Bruto Interno según el Banco Mundial, la tasa de mortalidad por cada 100 000 habitantes fue de El Salvador 22.2 %, Honduras 16.7 %, Brasil 19.7 %, Paraguay 22.7 % (83).

África tiene la tasa anual más alta de muertes por accidentes de tránsito, 27 por cada 100 000 personas. Etiopía, una de las naciones africanas, está experimentando un grave problema en seguridad vial, similar a muchas otras naciones africanas. Las Autoridades de Seguridad Vial y a los responsables de las políticas que implementen inspecciones regulares de los vehículos para garantizar las condiciones mecánicas, eléctricas, frenos, en general la seguridad del vehículo, así como también, para hacer cumplir límites de velocidad más estrictos e implementar medidas de ingeniería como reductores de velocidad o dispositivos para calmar el tránsito, mejoramiento de la infraestructura vial, incluyendo señalizaciones horizontales, verticales adecuadas, iluminación y condiciones del pavimento e implementar requisitos de licencia más estrictos, capacitación obligatoria, exámenes de carretera y verificaciones y registro de antecedentes, ayudarían a controlar y reducir los accidentes (46).

Los choques de tránsito le costaron a Estados Unidos \$340 mil millones de dólares en 2019, según anunció la Administración Nacional de Seguridad del Tránsito en las Carreteras (NHTSA), durante el cual fallecieron 36 500 personas, se lesionaron 4.5 millones y se dañaron 23 millones de vehículos (84).

Con el afán de establecer ciudades de todo el mundo con entornos urbanos más sostenibles y sistemas de transporte más seguros y ecológicos con el fin de minimizar los accidentes de tránsito, reducir la congestión y la contaminación atmosférica y acústica y consecuentemente mejorar la salud pública y la

habitabilidad en general, las estrategias para ampliar y mejorar las instalaciones de ciclovías con sus señalizaciones, y garantizar la reducción de las lesiones por accidentes de tránsito en estos usuarios vulnerables (51). Incentivar el uso masivo de las ciclovías los días feriados y domingos por ejemplo podría traer buenos resultados.

Estos accidentes ocurridos en las carreteras por su frecuencia y los costes generados se han convertido en un problema de salud pública, desde hace varios años, los países están en la obligación de aportar a la reducción y control de estos sucesos negativos, lo que implica una sobrecarga importante en los sistemas de atención médica y una pérdida irreparable de vidas humanas, representan un desafío global (85). En el caso de conductores de taxi, se evidencia que las condiciones laborales presenta un exceso de horas de trabajo, falta de garantía en condiciones mínimas, falta de un seguro médico (86).

República Dominicana ocupa la primera posición con 64.6 muertes al año por cada 100 000 habitantes, de las cuales un 87 %, concierne a personas del sexo masculino, mientras un 13 % de las víctimas son féminas, de acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) actualizados a 2020-2021, son cinco países de África y Latinoamérica que se encuentran en el ranking de la mayor cantidad de accidentes fatales ocurridos en las carreteras, autopistas, calles, Tabla 1.

Tabla 1 Muertes por cada 100 000 habitantes

País	Muertes por cada 100 000 habitantes
República Dominicana	64.6
Zimbabue	41
Venezuela	39
Liberia	38.9
Eritrea	37.9

Fuente: Listin Diario, (87).

Más de la mitad de estos decesos a nivel internacional corresponden a peatones, ciclistas y motociclistas, los llamados “usuarios vulnerables de la vía pública”, mencionada por la OMS. En República Dominicana, los fallecidos anuales por accidentes de tránsito rondan las 3 000 personas (87).

En el Perú, en el año 2023 en su primer semestre registraron 42 783 siniestros de tránsito a nivel nacional, el año 2024 en el mismo periodo ocurrieron 42 790 siniestros, de los cuales fallecieron 1 525 personas y resultaron lesionadas 28 338 ciudadanos, según los datos de la Policía Nacional del Perú (88).

Tabla 2 Siniestros de tránsito, primer semestre 2024.

Región	Siniestros	Fallecidos
Lima	21 644	50.6 %
Arequipa	2 792	6.5 %
La Libertad	1 939	4.5 %
Cusco	1 781	4.2 %
Lambayeque	1 716	4.0 %
Callao	1 622	3.8 %
Puno	682	1.6 %
Tacna	607	1.4 %
Huancavelica	86	0.2 %

Fuente: DIVEST/DIRTIC-PNP

Adaptado de la Dirección de Seguridad Vial – MTC, (88).

Se ha identificado que la mayor incidencia de siniestros de tránsito durante el primer semestre ocurrió en Lima y la menor cantidad de siniestros ocurrió en Huancavelica. Respecto de la mayor cantidad de personas fallecidas sucedieron en Lima. Del total de fallecidos 1 525 personas a consecuencia de siniestros de tránsito, 1 170 (76.7 %) varones y 355 (23.3 %) mujeres, la tendencia de fallecidos varones es a nivel nacional.

La concientización en seguridad vial en Lima Metropolitana y Callao, necesita ser enfatizada e interiorizada tanto para los peatones y conductores de vehículos, el 92.7 % de los encuestados indican tener un nivel medio de concientización sobre seguridad vial y consecuentemente un comportamiento susceptible de ser mejorado a través de charlas informativas en instituciones educativas, campañas de seguridad vial, entre otros. De otra parte, según los encuestados, el factor vehicular tiene que ver con la seguridad vial en un 95.8 %, muy influyente en los accidentes de tránsito en Lima Metropolitana y Callao, por lo que la prevención en cuanto al mantenimiento de los vehículos en los sistemas de frenado, mantenimiento de los neumáticos se tornan de vital importancia. El factor vial, también es importante, sobre todo en el mantenimiento de las carreteras, calzadas, cunetas, entre otros, que influyen en la seguridad vial en un 99.5 % según los choferes de vehículos encuestados. Finalmente, el factor humano también es importante destacar, debido a la responsabilidad que tienen con sus ocupantes del vehículo, por el respeto a las normas de tránsito que muchas veces son violentadas por los operadores de vehículos incrementándose los índices de accidentabilidad, lesividad y letalidad, provocando los accidentes en un 56.8 % según opinión de los conductores encuestados, (89).

En Colombia, la inseguridad vial es un tema de interés para la sociedad, por su influencia en el costo social, económico y en la salud pública, los conductores de camionetas y taxis con limitados estudios, mostraron niveles altos de conductas de riesgo y de conducir con velocidad excesiva. Sobre la seguridad vial, es propio de

los comportamientos y actitudes que toman los peatones, operadores de vehículos, al asumir su responsabilidad, protegiéndose de los riesgos, minimizando las probabilidades de sufrir un siniestro vial (con autocontrol, respeto, solidaridad, asertividad) o incrementándolos comprometiendo la integridad y seguridad de quienes le rodean, siendo los varones quienes presentan mayores conductas de riesgo que las mujeres, incluyendo el exceso de velocidad. Los choferes de 40 años o más mostraron menores hábitos y prácticas preventivas de seguridad (90).

En Huacho – Perú, se menciona en la investigación, que existe una significativa relación entre la infracción vehicular y la negligencia de los conductores, los que estarían vinculados con la ocurrencia de daños físicos, psicológicos, que afectan a los involucrados del accidente de tránsito. La negligencia de conductores que originan las infracciones vehiculares, no es consecuencia de la falta de señalización en las vías, por el contrario, está relacionado con la conducta negligente de los choferes. Tampoco, se puede responsabilizar a la escasa fomentación de la educación vial por las instituciones del gobierno para los conductores de vehículos, ya que es un requisito tener las competencias y el conocimiento de las normas, reglamentos, para la obtención de la licencia de conducir o para su recategorización o revalidación, inclusive son evaluados y deben alcanzar una calificación óptima (91).

Hay estudios que indican que cuando los conductores creen que existe mayor probabilidad de ser atrapados, consideran que es mejor cumplir con las normas de tránsito antes de ser atrapados, lo que reduce las infracciones y los accidentes de tránsito, las multas no sólo se determinan por el exceso de velocidad del infractor

(92), por otro lado, considerando estrategias de sensibilización pública puede mejorar la seguridad vial (67).

Conducir bajo los efectos del alcohol es una conducta peligrosa que tiene graves consecuencias para la seguridad vial. A pesar de décadas de iniciativas de disuasión, la conducción bajo los efectos del alcohol sigue siendo relativamente frecuente, lo que sugiere que puede haber limitaciones en las teorías actuales utilizadas para explicar el proceso de disuasión. El castigo personal pareció tener un impacto insignificante, posiblemente debido a la actitud del infractor hacia las sanciones o la baja probabilidad de ocurrencia, variables relacionadas con la teoría de la disuasión (basado en las percepciones de riesgo y las experiencias con la delincuencia) es bastante limitado (93).

Por ejemplo, en Ghana se emplea la aplicación de las normas de tráfico de forma tradicional, que implican a agentes de policía visibles que hacen cumplir las normas y reglamentos de tránsito en las carreteras. Si embargo, los operadores del volante, utilizaron tácticas generalizadas en las carreteras para burlar a los agentes de la policía de tránsito, como la extorsión policial, el soborno, corrupción en el tráfico vial, evasión de sanciones, etc. Estas conductas socavan la disuasión y niegan la seriedad y el efecto disuasorio general esperado de la presencia policial en las carreteras y la aplicación de las normas. Los choferes se dan cuenta de la presencia de la policía en la carretera principalmente a través de señales con el dedo índice y advertencias que reciben de otros conductores con el destello de las luces, estas señales son casi comunes, advirtiendo la presencia de la policía, están seguros que sus colegas conductores siempre les avisarán si la policía aparece inesperadamente en la carretera, algunos disminuyen la velocidad a medida que acercan a los puestos

policiales y otros se preparan a medida que se acercan a la policía, está claro que los operadores del volante adaptan su comportamiento cuando se les advierte de la presencia de controles policiales (94).

En casos similares en el Perú en la ruta PE-34D, el Gobierno Regional de Arequipa, a través de la Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones (GRTC), realizaron 1 214 intervenciones a vehículos de transporte de pasajeros, con destino de Arequipa hacia las zonas costeras de la región, identificando 30 empresas informales, detectaron 30 minivans (categoría M2) que operaban sin autorización en la ruta Arequipa-Mollendo (95). Similares casos ocurren entre la región Puno y Arequipa, con la presencia de asociaciones informales que prestan el servicio de transporte entre estas regiones. Los conductores de vehículos informales evaden a la SUTRAN (Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías) y Policía de Tránsito, se comunican a través de la aplicación de mensajería instantánea *WhatsApp*, señales con la mano y luces, comunicando si hay pase libre o hay patrullas de SUTRAN, si se puede evadir a las autoridades a través de trochas, lo harán, la seguridad de los pasajeros no es prioridad, tampoco cuentan con seguro contra accidentes.

En Owo - Nigeria, se estudió el cumplimiento de las leyes de seguridad vial y los factores que influyen en motociclistas comerciales en pueblos semiurbanos, el cumplimiento de las normas de protección vial fue deficiente entre los motociclistas, se evidenció el incumplimiento de las normas de prevención de accidentes viales entre los motociclistas comerciales, sugieren desarrollar programas para mejorar la educación en temas de seguridad, mayor vigilancia policial con estrategias eficaces para hacer cumplir las normas y el castigo a

motociclistas que no acaten las normas, con la finalidad de mejorar la seguridad vial y la mitigación de los accidentes en la población estudiada (96).

1.3. CAPÍTULO 3: INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) APLICADA A LA SOMNOLENCIA.

RED NEURONAL CONVOLUCIONAL (CNN)

Es una arquitectura de red neuronal especializada, la cual incluye conocimiento sobre la invarianza de formas bidimensionales utilizando patrones de conexión local y con restricciones en los pesos. Presentan una arquitectura multicapa, donde cada capa está constituida por un número determinado de convoluciones con su respectiva función de activación no lineal, que puede utilizar la función de activación de la red ReLU (97) (*Rectified Linear Unit*) es una función de activación, su fórmula es simple es:

$$f(x) = \max(0, x)$$

ReLU toma una entrada x y devuelve:

- 0 si x es negativo.
- x si x es positivo.

CONVOLUCIÓN

Una convolución es un operador matemático que se utiliza para combinar dos funciones (f y g) y determinar cómo una afecta a otra función o como se transforma en una tercera (97).

$$f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t - \tau)d\tau$$

El intervalo de integración depende del dominio sobre el cual están definidas las funciones.

Donde:

- $f(\tau)$ es la señal de entrada

- $g(t - \tau)$ es la función de respuesta al impulso
- τ es la variable de integración
- el resultado $(f * g) * (t)$ es la señal filtrada

Mousavikia y otros (2022), implementaron una Red Neuronal Convolutiva (CNN) en un procesador RiscV para la detección de la somnolencia, la CNN está entrenada para clasificar cuatro expresiones principales del conductor, que incluyen expresión normal, distraído, sueño y bostezo. La precisión de la CNN entrenada es del 81.07 % en los datos de validación, debido a las limitaciones de memoria de la *Field Programmable Gate Array – (FPGA)*, se implementó software y hardware para el sistema, tuvieron limitaciones con la falta de memoria de hardware, considerando que el sistema de detección de somnolencia del conductor debe ser en tiempo real. El tamaño de la imagen de entrada es de 100×100 píxeles, y las imágenes para entrenamiento y prueba están en escala de grises, el tamaño de entrada de la imagen y la cantidad de filtros en la primera capa convolutiva tienen un efecto significativo en el hardware. Por lo tanto, el uso de memoria se administra para utilizar la cantidad mínima debido a la falta de memoria en FPGAs de bajo costo (98). Estos aplicativos desarrollados dan una alternativa de solución para la prevención de seguridad y salud en el trabajo de los conductores de vehículos, especialmente en la identificación de la somnolencia.

Wang y Yao (2024), consiguieron características mediante Redes Neuronales Convolutivas (CNN) para el análisis del comportamiento del conductor y para la falta de percepción en tiempo real durante la conducción el modelo Bi-LSTM (*Bidirectional Long Short-Term Memory*), con un mecanismo de atención basado

en Redes Neuronales Convolucionales Dilatadas - (*Dilated Convolutional Neural Networks, Dilated CNNs*). Emplearon el modelo de convolución dilatada para extraer características de manera eficiente con menos parámetros. El conjunto de datos de *State Farm Distracted Driver Detection* se divide en 10 clases. c0: Conducción segura (manos en el volante), c1: Usando el celular con la mano derecha, c2: Usando el celular con la mano izquierda, c3: Ajustando la radio, c4: Bebiendo, c5: Alcanzando algo detrás, c6: Hablando con el pasajero, c7: Viendo hacia atrás, c8: Peinándose o maquillándose, c9: Mirando el celular en el regazo. Obtuvieron un 97.89 % de precisión en el conjunto de datos multimodal *Drive&Act-Distracted* que tiene las siguientes características: Duración y secuencias, Sistema de cámaras calibradas, Modalidades de vídeo, Captura de movimiento sin marcadores, entre otros. El conjunto de entrenamiento consta de aproximadamente 30 840 fotos, mientras que el conjunto de prueba consta de unas 7 720 imágenes. La distribución de fotos entre los conjuntos de entrenamiento y de prueba se mantiene constante, en la fase de lectura de datos, utilizaron imágenes de entrada de 64×64 pixel. Esto indica que la incorporación de mecanismos de atención y convolución dilatada fortalece el aprendizaje de datos de secuencia y la ponderación de características dentro del modelo de red propuesto, lo que resulta en una precisión significativamente mejorada para el reconocimiento de la conducta al conducir (99).

Nguyen y otros (2022), obtuvieron características a partir del módulo *stem*, conexiones adaptativas (AC) y un CBAM (*Convolutional Block Attention Module*) para extraer los mapas de características o destacar las regiones importantes de las imágenes, mejora las características de una CNN mediante dos tipos de atención:

Canal (aprende que canales o filtros son importantes) y Espacial (aprende que partes de la imagen son relevantes). El módulo clasificador aplica una función *GAP* (*Global Average Pooling*) y una función *softmax* para calcular la probabilidad de comportamientos del conductor. El módulo de extracción de características, utiliza las ventajas de las capas de convolución estándar, separables en profundidad, las capas de agrupación de promedios y las conexiones adaptativas propuestas para extraer los mapas de características. El beneficio del módulo de atención del bloque de convolución se implementa en el módulo de extracción de características que guía a la red en el aprendizaje de las características salientes. El módulo clasificador se compone de una agrupación de promedios globales y una capa *softmax* para calcular la probabilidad de cada clase. El diseño general optimiza los parámetros de la red y mantiene la precisión de clasificación. Toda la red se entrenó y evaluó en tres conjuntos de datos de referencia: *State Farm Distracted Driver Detection*, *American University in Cairo version 1* y *version 2*, (100).

Jebraeily y otros (2024), utilizaron algoritmos de optimización genética mejorar la Red Neuronal Convolucional es ideal para el procesamiento de imágenes, ya que captura patrones espaciales como texturas, bordes, formas faciales para la clasificación de emociones de los conductores como bostezos, ojos cerrados, ojos semiabiertos, el algoritmo genético como método de optimización evolutiva, tiene la capacidad de mejorar la arquitectura de las redes neuronales profundas. Las redes de aprendizaje por transferencia, como ResNet, GoogleNet, AlexNet, se consideran importantes en redes neuronales profundas para la clasificación de imágenes. Usaron el dataset FER-2013 (*Facial Expression Recognition 2013*) de 35 887 imágenes categorizados, de los cuales usaron 7 342 muestras relacionadas con la

somnolencia del conductor, para la fase de entrenamiento usaron 5 125 muestras (70 % de los datos), 1 483 muestras (20 %) para probar los modelos y 734 muestras (10 %) se utilizan para la validación, el método supera a otros enfoques en exactitud y precisión, logrando una tasa de precisión de aproximadamente el 99.8 % (22).

Kakkar (2025), diseñó un sistema neuromórfico, como infraestructura informática innovadora y eficaz inspirado en la anatomía y la fisiología del cerebro humano, busca replicar la notable eficiencia energética del cerebro mediante diseños de hardware y algoritmos especializados que optimizan la computación y minimizan el movimiento de datos para reducir el consumo de energía (101). Los sistemas de visión neuromórficos, basados en la tecnología de cámaras de eventos, proporcionan una detección avanzada en tareas de análisis del movimiento, en este caso el comportamiento de los ojos de los conductores para la detección de la somnolencia y la distracción. Mediante la Red Neuronal Convolucional (CNN), entrenaron, validaron un conjunto de datos obtenidos a partir de vídeos como la observación de los bostezos, uso de cinturón de seguridad, con aplicación de un dataset *YawDD (Yawning Detection Dataset)* para entrenar modelos de aprendizaje profundo para la detección de fatiga en conductores, monitoreo de somnolencia en tiempo real y la integración con algoritmos neuromórficos inspirado en la estructura del cerebro humano que usa principios de neurociencia computacional. Detecta imágenes de personas bostezando y sin bostezar de diferentes edades, géneros y de diferentes ángulos de la cara. Desarrollaron métodos de prueba para la detección de bostezos y del estado del cinturón de seguridad con cámaras de eventos mediante modelos ligeros de aprendizaje profundo. El algoritmo desarrollado para detección de bostezos ofrece un rendimiento superior a los métodos tradicionales basados en

puntos clave, al tener en cuenta los movimientos asociados de la parte superior del cuerpo y gestionar los frecuentes casos en los que la boca se ocluye con una mano. Las cámaras de eventos se emplean para registrar los tiempos de respuesta y capacidades de análisis de movimiento, la cámara de infrarrojo cercano (*Near-Infrared -NIR*) graba a sujetos abrochándose o desabrochándose los cinturones de seguridad, se etiquetan con las siguientes clases: El cinturón de seguridad del sujeto está abrochado o desabrochado, el sujeto se está abrochando el cinturón de seguridad o se está desabrochando el cinturón de seguridad. La precisión de detección de bostezos, F1 fue del 95.3 % del conjunto de datos *YawDD*. En cuanto a la detección de la rapidez del uso de cinturón de seguridad, se alcanzó una precisión del 100 % en conjuntos de pruebas reales y simuladas. Estos resultados demuestran la viabilidad de añadir componentes de detección de bostezos y de cinturones de seguridad al DMS neuromórfico (*Driver Monitoring System - Sistema de Monitoreo del Conductor*), sistema basado en hardware y software inspirados en el funcionamiento del cerebro humano, para analizar el estado del conductor (fatiga, distracción, etc.), (102).

Alguindigue y otros (2024), emplearon tres algoritmos de aprendizaje profundo: Red Neuronal Secuencial (SNN) para HRV (*Heart Rate Variability*, Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca), Red Neuronal Convolutiva Unidimensional - 1D (1D-CNN) para EDA (*Electrodermal Activity*, Actividad Electrodérmica) y Red Neuronal Recurrente Convolutiva (CRNN) para seguimiento ocular. El modelo basado en HRV y EDA mostraron un sólido desempeño en la clasificación de la somnolencia, con el modelo HRV logrando precisión, recuperación y puntaje F1 del 98.28 %, 98 % y 98 %, respectivamente, y el modelo EDA logrando 96.32 %,

96 % y 96 % para las mismas métricas, el modelo destaca alta precisión en los modelos HRV y EDA, lo que confirma su eficiencia en la detección de la somnolencia del conductor.

Sin embargo, el modelo basado en los ojos enfrentó dificultades para identificar instancias de somnolencia, potencialmente atribuibles a desequilibrios en los conjuntos de datos y a la subrepresentación de estados de fatiga, a pesar de los desafíos, pudieron contribuir en mejorar la seguridad vial al sentar las bases para sistemas neuroadaptativos efectivos en tiempo real para la detección y mitigación de la somnolencia, (103).

Esteves y otros (2021), presentaron avances de monitorización de la somnolencia de los conductores, AUTOMOTIVE desarrolló simuladores de conducción. Los algoritmos biométricos son métodos computacionales que utilizan las señales del electrocardiograma (ECG) para identificar o autenticar a una persona de manera única y segura y el rostro permite el aprendizaje continuo de modelos de somnolencia específicos del sujeto para una monitorización más eficiente, esto generó nuevos conocimientos hacia algoritmos biométricos de ECG más robustos y precisos, explora la interpretabilidad y explicabilidad de las señales 1D abre nuevas puertas para comprender qué información es realmente útil para el monitoreo de la somnolencia, dónde se encuentra las señales fisiológicas y cómo capturarla mejor, (104).

Ma y otros (2024), propone como método de detección a YOLOv8 (*You Only Look Once*), algoritmo basado en redes neuronales profundas que detecta objetos en una sola pasada (*one shot*) a través de la imagen, sintetizaron un mecanismo de atención llamado MHSA (*Multi-Head Self-Attention*, Autoatención Multi-Cabeza)

y un módulo CNN para garantizar un rendimiento mejorado en términos de precisión y convergencia, donde MHSA utiliza para detectar el comportamiento de conducción distraída y CNN se utiliza para detectar la emoción del conductor. El conjunto de datos FER2013 (*Facial Expression Recognition 2013 Dataset*) y el conjunto de datos recopilados se utilizan para entrenar el YOLOv8 mejorado, demuestran que el método YOLOv8 produce mejores resultados en tiempo real y en precisión (105).

Xu y otros (2024), para la detección de la fatiga, proponen el método que combina YOLOv5s (*You Only Look Once v5*), con *DeepSort*, ambas son tecnologías de Visión por Computadora (*Computer Vision Technologies*). Para optimizar la pérdida de información facial del conductor, se utiliza el algoritmo de seguimiento de rasgos faciales *DeepSort*, los resultados de la detección de rasgos faciales se combinan con el número de fotogramas consecutivos con ojos cerrados, bostezos y la puntuación PERCLOS (Porcentaje de Cierre de Párpados sobre la Pupila a lo Largo del Tiempo) para construir un modelo de detección de fatiga al conducir. La tecnología YOLOv5s, se utilizan para detección de objetos en imágenes y vídeos en tiempo real, la tasa final de reconocimiento de la conducción con y sin fatiga fue de hasta el 97.4% (106).

Li y otros (2020), la red neuronal convolucional YOLOv3-tiny captura las regiones faciales, reduce la inexactitud, la propuesta del algoritmo de detección de fatiga al conducir basado en la fusión de múltiples características faciales que combina las características del conductor, la red neuronal *YOLOv3-tiny* detecta imágenes en Pascal Titan X, la velocidad de detección puede alcanzar los 220 FPS (*Frames Per Second*, cuadros por segundo), tiene algunas ventajas como velocidad

de detección, comprensión de la imagen en su integridad, y la tasa de error fue menor al algoritmo Fast R-CNN, las afecciones causadas por la extracción de características artificiales, sobre la base del kit de herramientas *Dlib* (biblioteca de aprendizaje automático), presentaron el vector de características oculares - *Eye Feature Vector (EFV)* y el vector de características bucales - *Mouth Feature Vector (MFV)*, que son los parámetros de evaluación del estado ocular y bucal del conductor. La información sobre la identidad del conductor se construye mediante entrenamiento fuera de línea, que incluyó información caracterizado del estado ocular, estado bucal y los datos biométricos del conductor, la fluidez aceptable para monitoreo en tiempo real con una precisión del 95.10 % (107).

Madni y otros (2024), detectan la somnolencia del conductor a través de imágenes del movimiento ocular, utilizaron un conjunto de datos de imágenes oculares. El enfoque VGLG (VGG16-LGBM) (*Visual Geometry Group 16* es una red neuronal convolucional profunda, *LightGBM - Light Gradient Boosting Machine*) es un modelo de boosting basado en árboles de decisión, extrae características espaciales de la imagen ocular de entrada y luego genera características de transferencia salientes utilizando LGBM. Las evaluaciones experimentales revelan que el clasificador de k vecinos superó al enfoque de última generación con una precisión de alto rendimiento del 99 %. El análisis de complejidad computacional muestra que el enfoque propuesto detecta la somnolencia del conductor en 0,00829 segundos, mejoraron el rendimiento mediante el ajuste de hiperparámetros y validaciones utilizando la validación de *k-fold - técnica de validación cruzada para evaluar el rendimiento de un modelo de*

aprendizaje automático, esta investigación tiene el potencial de revolucionar la detección de la somnolencia del conductor, (24).

Zhang y otros (2022), aplican un protocolo de preservación de la privacidad basado en *CKKS Algorithm (Cheon-Kim-Kim-Song)*, permite realizar cálculos directamente sobre datos cifrados sin necesidad de descifrarlos, con la finalidad de preservar información de los conductores mediante el cifrado de los parámetros intercambiados. Los resultados experimentales muestran que el método (*PFTL - DDD*) es superior en términos de precisión y eficiencia en comparación con el aprendizaje convencional en los conjuntos de datos *NTHU-DDD* y *YAWDD (National Tsing Hua University - Drowsy Driver Detection and Yawning Detection Dataset)*. El método *Federated Transfer Learning - Driver Drowsiness Detection (PFTL - DDD)* combina dos enfoques clave en el aprendizaje automático: *Federated Learning (FL)*, *Transfer Learning (TL)*, entrena modelos de IA sin compartir datos entre múltiples dispositivos o entidades, mejorando la privacidad y el Aprendizaje por Transferencia, usa modelos previamente entrenados en una tarea similar para mejorar el rendimiento en una nueva tarea con pocos datos.

El análisis teórico demuestra que el método de aprendizaje por transferencia propuesto puede reducir el costo de comunicación del sistema y el protocolo de seguridad basado en *CKKS* (es un esquema de cifrado homomórfico) puede proteger la privacidad personal, el método *PFTL-DDD* logra un mejor rendimiento de clasificación que el método de aprendizaje centralizado, reduce el costo de comunicación, proporciona un marco de seguridad basado en el protocolo *CKKS*, para la detección de la somnolencia (15).

Zhuang y otros (2020), desarrollaron un método eficaz de detección de la fatiga está basado en el estado ocular mediante la segmentación de pupila e iris, la fatiga al conducir se ha convertido en una de las causas más comunes de accidentes de tráfico. La red de segmentación utiliza la estructura U-Net ligera, realiza una clasificación a nivel de píxel en las imágenes oculares, lo que permite extraer con precisión las características de la pupila y el iris de las imágenes de vídeo. U-Net ligera, es una versión optimizada que reduce la cantidad de parámetros y el consumo de memoria sin perder precisión, tiene menos capas convolucionales y el NTHU-DDD (*National Tsing Hua University - Driver Drowsiness Detection*) es un dataset diseñado para la detección de somnolencia en conductores, contiene imágenes y videos de rostros en diferentes estados de fatiga y alerta de conductores, la precisión de la detección de la fatiga alcanza el 96,72 %. Los resultados experimentales demuestran que el método propuesto puede detectar con precisión la fatiga del conductor a tiempo y posee una precisión superior a las técnicas más avanzadas, se adoptó el algoritmo de detección de puntos clave faciales Dlib para obtener la imagen ocular como datos experimentales, Dlib es un modelo basado en redes neuronales que permite detectar 68 puntos clave (*landmarks*) en un rostro, reconocimiento facial, análisis de expresiones de rostros. Los experimentos demostraron la eficacia de la arquitectura, que alcanza un rendimiento eficiente en la detección de fatiga, (108).

Vijaypriya y Uma (2023), para el reconocimiento de la somnolencia se implementó la Red Neuronal Convolutiva Multiescala para la clasificación de la somnolencia, utilizaron conjunto de datos YAWDD y el conjunto de datos NTHU-DDD se utilizan para adquirir secuencias de vídeo sobre la conducción. El vídeo se

convierte en fotogramas para la extracción y selección de fotogramas clave, los puntos característicos se optimizan con el (*Flamingo Search Algorithm - FSA*) - Algoritmo de búsqueda Flamingo integrado con el modelo de aprendizaje profundo Red Neuronal Convolutiva Multiescala (MCNN). Con el método propuesto, se clasifica la extracción de características del modelo FSA basado en MCNN somnoliento y no somnoliento. Los resultados de la simulación propuesta ilustraron que el modelo MCNN con FSA alcanza un valor de precisión de alrededor del 98.38 % para el conjunto de datos YAWDD y el modelo NTHU-DDD exhibe un valor de precisión del 98.26 %. El rendimiento del modelo MCNN propuesto exhibe aproximadamente un 6 % más de precisión que los métodos convencionales de última generación, (16).

Alharbey y otros (2022), para la detección de la fatiga y la somnolencia, el enfoque de aprendizaje automático se utiliza para procesar señales de EEG, mientras que el enfoque de aprendizaje profundo se utiliza para procesar transmisiones de vídeo. El principal problema de los algoritmos desarrollados es su precisión de detección, así como el tiempo necesario para detectar el estado de fatiga y alertar al conductor, utilizaron varios conjuntos de datos *DROZY*, *YawDD*, *NTHU-DDD*, para desarrollar técnicas de detección de fatiga o somnolencia.

Estos datos se recogen a partir de las señales del electroencefalograma (EEG) cerebral del conductor o de grabaciones de vídeo del comportamiento del conductor. Desarrollan dos enfoques distintos, el primero se basa en el uso de clasificadores de aprendizaje automático utilizados para procesar señales de EEG y el segundo depende del uso de modelos de aprendizaje profundo para producir un modelo de alto rendimiento para procesar secuencias de vídeo.

En los clasificadores de aprendizaje automático, la Máquina de Vectores de Soporte (SVM) proporciona hasta un 98 % de precisión de detección, que es la mayor precisión entre las otras máquinas desplegadas, entre los demás clasificadores utilizados. En los modelos de aprendizaje profundo, la Red Neuronal Convolutiva (CNN) proporciona hasta un 99 % de precisión de detección, que es la mayor precisión entre los otros dos modelos desplegados.

Los resultados experimentales demuestran que los dos algoritmos propuestos proporcionan la mayor precisión de detección con el menor tiempo de prueba (TT) en comparación con todos los demás algoritmos de detección de fatiga recientes y eficientes (109).

Karuppusamy y Kang (2020), los sistemas de detección de somnolencia, mencionan que hay menos investigación sobre sistemas híbridos que detectan la somnolencia de los conductores, para el caso proponen un sistema multimodal híbrido basado en Redes Neuronales Profundas (*DNN*), que detecta la fatiga del conductor utilizando datos de electroencefalografía (*EEG*). El sistema consiste en series temporales de datos multimodales que se adquieren a partir de EEG (datos fisiológicos del conductor en estado de vigilia y somnolencia), giroscopio (signos de somnolencia del conductor, cabeceo, cambios frecuentes) y sistemas de procesamiento de imágenes de la plataforma del simulador de conducción.

La influencia de entornos como el ruido, la temperatura y otras distracciones proporcionan un grado de estrés, estos datos son recopilados por EEG, esto es importante porque así funciona el mundo real. EL modelo *DNN* (*Deep Neural Network*) es una Red Neuronal Profunda con múltiples capas ocultas, que puede predecir el estado de somnolencia del conductor utilizando datos etiquetados por

CWT (Continuous Wavelet Transform) Transformada Wavelet Continua, utilizado en procesamiento de imágenes, sus resultados de datos etiquetados por *CWT* mostraron un mejor rendimiento que el conjunto de datos etiquetados por *FFT convencional (Fast Fourier Transform)*, se usa para representar características espectrales en datos de audio, imágenes o señales.

El rendimiento del sistema híbrido propuesto, tuvo una precisión del 93.91 %, en la identificación del estado de somnolencia del conductor (110).

Soman y otros (2023), para monitorizar la somnolencia del conductor según la relación de aspecto ocular (*EAR- Eye Aspect Ratio*), si *EAR* desciende por debajo de 0.2, se genera un error de advertencia mediante un convertidor de texto a voz, el conductor recibe una alerta mediante vibradores en el cinturón de seguridad, si continúa durmiendo o presenta fatiga durante más de 2 s luego de la activación de la advertencia, implicaría reducir la aceleración del vehículo para prevenir el accidente, la técnica sugerida ha detectado el agotamiento del conductor, ha aumentado la concienciación y ha prevenido la tasa de accidentes, (62).

Jiang y otros (2021), desarrollaron un modelo de regresión multivista online con alta interpretabilidad, con un sistema difuso *TSK (Takagi-Sugeno-Kang)* de primer orden como componente básico de la regresión, proponen un sistema difuso *TSK multivista online*, es un modelo de lógica difusa utilizado para modelado de sistemas complejos, control, predicción, estimación de la somnolencia del conductor. En este modelo, las características tanto del dominio fuente como del dominio destino se representan desde perspectivas multivista, lo que permite utilizar más información de patrones durante el entrenamiento del modelo. Los resultados de un experimento sobre un dataset de conducción demostraron que el

sistema difuso propuesto tiene errores mínimos de estimación de somnolencia y una mayor interpretabilidad que los modelos de evaluación comparativa. El sistema propuesto contiene dos sistemas difusos *TSK* para dos vistas, es decir, las potencias de banda theta y los dB, respectivamente. Aquí, tomaron la banda theta como ejemplo y analizaron la interpretabilidad de O-MV. Entendiendo como interpretabilidad en los sistemas difusos, como la capacidad de tomar decisiones por el modelo. Un sistema *Online Multi-View & Transfer Fuzzy System - O-MV-T-TSK-FS* debe encontrar un equilibrio entre precisión y explicabilidad que evalúa: Número de reglas difusas, Forma de las funciones de pertenencia, contribución de las características con FS, se eliminan variables irrelevantes, haciendo el modelo más comprensible, (111).

Ramzan y otros (2024), sobre la detección de somnolencia del conductor utilizando un Modelo de Aprendizaje Profundo personalizado (*D3-CDLM*), este enfoque contiene cuatro etapas diferentes: 1) extracción y selección de características; 2) aprendizaje automático 3) aprendizaje profundo, 4) combinación de los dos. La primera operación calcula el (*Histogram of Oriented Gradients - HOG*), que es invariante a la rotación y la iluminación, luego, aplican el (*Principal Component Analysis – PCA*) para obtener las mejores características de HOG que se utilizan como entradas para el aprendizaje automático y los módulos basados en métodos de conjunto. Para las características faciales difíciles de aprender, también se lleva a cabo el aprendizaje por transferencia y se propone una nueva estructura de CNN (*Convolutional Neural Network*) de 30 capas llamada CDLM - *Cascaded Deep Learning Model*. Finalmente, se investigan las principales características del módulo híbrido utilizando el control PCA de la arquitectura en coordinación con el

CDLM propuesto para detectar la somnolencia, los resultados revelaron que los módulos híbridos y de aprendizaje profundo desarrollados y diseñados adquieren una mejor precisión que el módulo basado en aprendizaje automático, el enfoque híbrido toma menos tiempo en comparación con la detección de somnolencia basada en aprendizaje profundo, el modelo híbrido aplicó 206 segundos respecto del enfoque de aprendizaje profundo que usó un promedio de 603 segundos, (27).

Wu y otros (2024), mencionan que entre la conectividad interregional en el cerebro entre las regiones cognitiva y motora en las regiones frontocentral y frontoparietal disminuía a medida que la fatiga del conductor aumentaba a *MF* (*Mental Fatigue* - Máxima Fatiga). Simultáneamente, la conectividad intrarregional dentro de la región central disminuía, lo que perjudicaba la conectividad intramotora, estos factores redujeron la capacidad de coordinación del conductor. Los resultados de los análisis de IA explicable (*eXplainable Artificial Intelligence* - *XAI*), indicaron que el conjunto de datos de la red de conexión funcional cerebral de banda beta logró la mayor precisión (0.941) en el modelo *Resnet18* y reveló diferencias de fatiga en las regiones cognitiva y motora del conjunto de datos (21).

Altameem y otros (2021), implementaron un método de detección de emociones basado en Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) utilizando expresiones faciales. El algoritmo se probó en condiciones de luminancia variable y superó la investigación actual en términos de precisión, lograron un 83.25 % de detección del cambio de expresión facial, se segmentó imágenes en tiempo real y la somnolencia utilizando metodologías de aprendizaje automático, métodos de agrupamiento de procesamiento de imágenes, máquinas de vectores de soporte para clasificaciones en tiempo real y análisis de vídeo, sin embargo, la precisión del algoritmo

disminuyó con la disminución de la iluminación y el aumento de la distancia de la cámara (63).

Jarndal y otros (2025), para la detección de la somnolencia del conductor, en tiempo real, no intrusivo y rentable que aprovecha los transformadores de visión (*ViT- Vision Transformers*). Un ViT es un modelo que procesa imágenes sin necesidad de convoluciones, a diferencia de las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), en su lugar, usa mecanismos de autoatención para capturar relaciones globales dentro de la imagen. El modelo fue entrenado y evaluado en dos conjuntos de datos de detección de somnolencia de uso público, logrando precisiones de clasificación del 98.89 % en el conjunto de datos *NTHU-DDD* y del 99.4 % en el conjunto de datos *UTA-RLDD*. Implementaron con éxito en una microcomputadora Raspberry Pi, integrada con una cámara infrarroja, un módulo *GSM/GPS* y un timbre para alertar al conductor e informar la condición de somnolencia al propietario del vehículo. La prueba del prototipo generó resultados muy prometedores, y el sólido rendimiento del sistema se atribuyó al sistema *ViT-DDD*. Los prometedores resultados de la prueba sugieren el potencial de este sistema para reducir significativamente los accidentes causados por la conducción con sueño, y el trabajo futuro apunta a expandir sus capacidades e integrarlo en sistemas vehiculares más amplios (17).

Sharara y otros (2024), implementaron un dispositivo completo de seguridad y confort que integre el Sistema de Monitorización del Conductor (*DMS - Driver Monitoring System*) es una tecnología que utiliza cámaras y sensores para analizar el comportamiento del conductor en tiempo real, detecta signos de fatiga, distracción, somnolencia, estados de intoxicación, funciona con cámaras infrarrojas

y algoritmos de visión por computadora e IA para monitorear Movimiento de los ojos y parpadeo (para detectar fatiga o distracción), Orientación de la cabeza (para ver si el conductor está atento a la carretera), Expresiones faciales (para detectar señales de somnolencia o emociones extremas), manipulación de otros dispositivos como el teléfono y la Unidad de Control Electrónico del Asiento (*SECU - Seat Electronic Control Unit*) es un sistema integrado en los vehículos modernos que gestiona las funciones eléctricas del asiento del conductor y pasajeros, recibe señales de entrada de varios sensores y botones de control, procesa esta información y envía comandos a actuadores eléctricos para ajustar la posición del asiento como adelante/atrás, altura e inclinación, regulación del respaldo y del soporte lumbar, memoriza las posiciones para diferentes conductores. Los dos sistemas se integraron en un solo dispositivo compacto que incluye una cámara de visión nocturna montada en la columna de dirección para registrar datos sin obstruir la visión del conductor. Utiliza un modelo híbrido del *HPE 3D - Head Pose Estimation*, es un sistema que estima la orientación de la cabeza en un espacio tridimensional a partir de imágenes o videos, el sistema de HPE calcula tres ángulos de rotación de la cabeza en el espacio 3D: *Yaw* (Desviación lateral) - Rotación hacia la izquierda o derecha, *Pitch* (Cabeceo) - Inclinación hacia arriba o abajo, *Roll* (Alabeo) Inclinación lateral (como cuando se ladea la cabeza). El sistema tiene una alta precisión a una tasa de detección máxima de 45 cuadros por segundo (FPS) en tiempo real. Además, el sistema es robusto en condiciones de conducción reales sin verse afectado por la hora del día, las expresiones faciales o las oclusiones oculares, (112).

Zhao y otros (2020), indican que el método propuesto realiza la extracción de características inicial utilizando *InceptionV3* es una arquitectura de Red Neuronal Convolutiva (CNN) avanzada utilizada principalmente para tareas de clasificación de imágenes, desarrollada por Google, después de lo cual la segunda decisión es tomada por una red (*LSTM - Long Short-Term Memory*) es un tipo de red neuronal recurrente (*RNN*) diseñada para manejar secuencias de datos de vídeo para el reconocimiento. La *LSTM* proporciona un reconocimiento de secuencia coherente y preciso que evita distorsiones estáticas. Luego, la decisión final se toma mediante el método (*PBV - Pulse Blood Volume*) o Volumen de Pulso Sanguíneo es una técnica basada en la fotopleitismografía (*PPG*). Seleccionaron cuatro métodos para realizar las pruebas de comparación y utilizaron los mismos vídeos para entrenar las redes. En comparación con los métodos de última generación, el método en su totalidad logró un aumento promedio del 5 % tanto en términos de precisión como de estabilidad (20).

Mou y otros (2023), para detectar estados de somnolencia del conductor, se requiere representar la somnolencia a través de imágenes o vídeos de los parpadeos lentos, bostezos y cabeceos, para estos casos es posible aplicar técnicas de visión artificial que han demostrado potencial y con avance significativo. El procedimiento consiste en preentrenar los codificadores de imágenes hasta afinarse e integrarse en el modelo, luego se incorporan en la capa recursiva para mejorar la precisión de la detección, manejan estrategias para: Pérdidas de contraste utiliza el modelo *MoCo (Momentum Contrast)* que aprenden representaciones diferenciando pares positivos de pares negativos, para la normalización y regularización utiliza la

normalización de vectores en el espacio para una representación uniforme y para la decorrelación de características pueden utilizar el método Barlow Twins, (113).

II. CONCLUSIONES

Primera. Las tecnologías más idóneas y rápidas para la identificación a tiempo de la somnolencia en los conductores o su prevención, son los sistemas inteligentes, basados en redes neuronales artificiales y sus variedades como aprendizaje profundo, lógica difusa, algoritmos genéticos, entre otros, así mismo, se pudo identificar los dataset o conjunto de datos especializados que existen en el mundo como FER-2013, YawDD, *NTHU-DDD* que están disponibles, la dificultad recaería en la capacidad computacional de los equipos de hardware en nuestro medio.

Segunda. Las causas principales de la somnolencia en conductores son básicamente el sueño insuficiente, fatiga, consumo de alcohol, sistema de horarios, largas horas de trabajo, tiene efecto en la capacidad de respuesta del conductor de vehículos, retardando las coordinaciones mano – pie, disminuyendo la capacidad de tomar decisiones, capacidad para realizar maniobras evasivas y la alerta en general.

Tercera. Las características de los accidentes de tránsito están relacionadas con la somnolencia de los conductores, exceso de velocidad, conducir bajo efectos del alcohol, mantenimiento de una distancia de seguridad prudente, el estrés, conductas infractoras o arriesgadas de los conductores que no perciben los riesgos de su comportamiento frente al volante, los que traen consecuencias serias como fallecimientos, accidentes graves, destrucción de bienes, infracción de reglamentos, los mismos que pueden tener consecuencias con carácter de delito e irremediablemente pasibles a sanciones con privación de la libertad, multas que afectan al conductor y al empleador si es trabajador dependiente.

Cuarta. Los investigadores que desarrollaron tecnología inteligente para identificar la somnolencia, así como desarrollar artefactos para su oportuna prevención, tanto como identificar si está usando o no cinturón de seguridad, o que el sistema detecte conductas arriesgadas, están orientadas fundamentalmente en el desarrollo de algoritmos inteligentes que se fusionan con las redes neuronales convolucionales, aprendizaje profundo, algoritmos genéticos, lógica difusa, y para las fases de entrenamiento, validación utilizan dataset especializados como FER-2013, YawDD, *NTHU-DDD*, así como métodos YOLOv8, YOLOv5, YOLOv3 que brindaron excelente tasa de precisión en reconocimiento de fatiga de los conductores.

III. RECOMENDACIONES

Primera. Propiciar en las universidades la creación de líneas de investigación en seguridad vial y transporte inteligente, de modo que puedan desarrollar algoritmos inteligentes que puedan detectar expresiones faciales de fatiga y lograr prevenir accidentes alertando al conductor en tiempo real.

Segunda. A los empleadores de transporte de cargas pesadas, transporte público, taxistas en lo posible mejorar los sistemas de horarios, reporte de horas de descanso, capacitarlos en temas de reconocimiento de fatiga, somnolencia, consumo de fármacos, comportamiento proactivo que le permita gestionar la ira, el estrés. Diseñar procedimientos de actuación en caso de presentarse estos episodios, reportar a la administración con fines de prevención y mejora de las condiciones de trabajo e inclusive habilitación económica para consumo de alimentos o medicamentos que no ocasionen somnolencia en el trabajo.

Tercera. A las autoridades, propiciar algún de tipo de seguro médico especializado en psicología, para desarrollar competencias, conocimientos y gestión de buenos hábitos en temas de detección de somnolencia, fatigas, estrés y su tratamiento, inclusive puede ser considerado como requisito la certificación con unas horas de estudio para renovar o recategorizar los brevets.

Cuarta: implementar un sistema de monitorización para la detección del sueño en las carreteras en zonas de alta siniestralidad, peajes, garitas, etc., controladas por el Ministerio de Transportes y crear áreas de descanso a una distancia aproximada de 150 km, con señalizaciones e iluminación nocturna, implementadas con botones de emergencia, bancas, servicios higienicos y otros.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Torres Tutiven C. N. 2025. Accidentes de tránsito: 271 peruanos fallecidos, según Sinadef. Available from: <https://canaln.pe/actualidad/sinadef-registra-271-muertes-accidentes-transito-2025-n480568>
2. Trzepizur W, Bequignon E. Síndrome de apnea-hipopnea del sueño del adulto. EMC - Otorrinolaringol. 2024 May;53(2):1–10.
3. Fabres L, Moya P. Sueño: conceptos generales y su relación con la calidad de vida. Rev Médica Clínica Las Condes. 2021 Sep;32(5):527–34.
4. Gouveia CJ, Welch KC, Goldberg AN. Trastornos del sueño. In: Lalwani AK, editor. Diagnóstico y tratamiento en otorrinolaringología Cirugía de cabeza y cuello, 4e [Internet]. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2021. Available from: <http://accessmedicina.bibliotecaupn.elogim.com/content.aspx?aid=1184895573>
5. Álvarez C. Alteraciones del sueño en trastornos del neurodesarrollo. Rev Médica Clínica Las Condes. 2022 Sep;33(5):490–501.
6. Velayos JL, Moleres FJ, Irujo AM, Yllanes D, Paternain B. Bases anatómicas del sueño [Internet]. Vol. 30, Anales del Sistema Sanitario de Navarra. scieloes; 2007. p. 7–17. Available from: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272007000200002
7. Talero C, Durán F, Pérez I. Sueño: características generales. Patrones fisiológicos y fisiopatológicos en la adolescencia. Rev Cienc Salud [Internet]. 2013;11(3):333–48. Available from:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-72732013000300008

8. Cañellas Dols F, García-Portilla González P. Programa Formativo de Psiquiatría para Residentes. Editorial Médica Panamericana; 2023.
9. Chica Urzola HL, Escobar Córdoba F, Echeverry Chabur J. Evaluación clínica del hipersomnio . Vol. 33, Revista Colombiana de Psiquiatría . scieloco ; 2004. p. 45–63.
10. Schwab RJ. Manual MSD Versión para profesionales. 2024. Parasomnias. Available from: <https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos-neurológicos/trastornos-del-sueño-y-la-vigilia/parasomnias?ruleredirectid=758>
11. Shliapochnik J. Sueño y vigilia: condiciones de la conciencia [Internet]. Available from: http://www.psi.uba.ar/academica/carrerasdegrado/psicologia/sitios_catedras/electivas/616_psicofarmacologia/material/sueno.pdf
12. Rosales Mayor, Edmundo Rey De Castro Mujica J. Somnolencia: Qué es, qué la causa y cómo se mide. Acta Médica Peru [Internet]. 2010;27(2):137–43. Available from: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000200010
13. Perrotte G, Bougard C, Portron A, Vercher JL. Monitoring driver drowsiness in partially automated vehicles: Added value from combining postural and physiological indicators. Transp Res Part F Traffic Psychol Behav. 2024 Jan;100:458–74.

14. Balam VP, Chinara S. Statistical Channel Selection Method for Detecting Drowsiness Through Single-Channel EEG-Based BCI System. *IEEE Trans Instrum Meas.* 2021;70:1–9.
15. Zhang L, Saito H, Yang L, Wu J. Privacy-Preserving Federated Transfer Learning for Driver Drowsiness Detection. *IEEE Access.* 2022;10:80565–74.
16. Vijaypriya V, Uma M. Facial Feature-Based Drowsiness Detection With Multi-Scale Convolutional Neural Network. *IEEE Access.* 2023;11:63417–29.
17. Jarndal A, Tawfik H, Siam AI, Alsyouf I, Cheaitou A. A Real-Time Vision Transformers-Based System for Enhanced Driver Drowsiness Detection and Vehicle Safety. *IEEE Access.* 2025;13:1790–803.
18. Scammell TE, Saper CB, Czeisler CA. Trastornos del sueño. In: Loscalzo J, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Longo D, Jameson JL, editors. *Harrison Principios de Medicina Interna, 21e* [Internet]. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2022. Available from: <http://accessmedicina.bibliotecaupn.elogim.com/content.aspx?aid=1206130717>
19. Thorpy MJ. Classification of Sleep Disorders. *Neurotherapeutics.* 2012 Oct;9(4):687–701.
20. Zhao Y, Xie K, Zou Z, He JB. Intelligent Recognition of Fatigue and Sleepiness Based on InceptionV3-LSTM via Multi-Feature Fusion. *IEEE Access.* 2020;8:144205–17.
21. Wu Y, Li W, Zhang J, Tang B, Xiang J, Li S, et al. Driver's Hand-Foot

- Coordination and Global-Regional Brain Functional Connectivity Under Fatigue: Via Graph Theory and Explainable Artificial Intelligence. *IEEE Trans Intell Veh.* 2024 Feb;9(2):3493–508.
22. Jebraeily Y, Sharafi Y, Teshnehlab M. Driver Drowsiness Detection Based on Convolutional Neural Network Architecture Optimization Using Genetic Algorithm. *IEEE Access.* 2024;12:45709–26.
 23. Maheswari VU, Aluvalu R, Kantipudi MP, Chennam KK, Kotecha K, Saini JR. Driver Drowsiness Prediction Based on Multiple Aspects Using Image Processing Techniques. *IEEE Access.* 2022;10:54980–90.
 24. Madni HA, Raza A, Sehar R, Thalji N, Abualigah L. Novel Transfer Learning Approach for Driver Drowsiness Detection Using Eye Movement Behavior. *IEEE Access.* 2024;12:64765–78.
 25. Alkinani MH, Khan WZ, Arshad Q. Detecting Human Driver Inattentive and Aggressive Driving Behavior Using Deep Learning: Recent Advances, Requirements and Open Challenges. *IEEE Access.* 2020;8:105008–30.
 26. Kashevnik A, Shchedrin R, Kaiser C, Stocker A. Driver Distraction Detection Methods: A Literature Review and Framework. *IEEE Access.* 2021;9:60063–76.
 27. Ramzan M, Abid A, Fayyaz M, Alahmadi TJ, Nobanee H, Rehman A. A Novel Hybrid Approach for Driver Drowsiness Detection Using a Custom Deep Learning Model. *IEEE Access.* 2024;12:126866–84.
 28. Rey de Castro Mujica J, Rosales Mayor E, Egoavil Rojas M. Somnolencia y cansancio durante la conducción: accidentes de tránsito en las carreteras del Perú. *Acta Médica Peru [Internet].* 2009;26(1):48–54. Available from:

https://www.researchgate.net/publication/235220459_Somnolencia_y_cansancio_durante_la_conduccion_accidentes_de_transito_en_las_carreteras_d_el_Peru

29. MPFN MPF de la N. Accidentes de tránsito [Internet]. 2024. Available from: <https://www.gob.pe/26075-accidentes-de-transito-en-que-casos-se-considera-un-delito>
30. Gómez Montoya JE, Cuartas-Arias M. Accidentalidad vial: efectos de la calidad del sueño en el funcionamiento ejecutivo de conductores de transporte público urbano. *Rev Investig e Innovación en Ciencias la Salud*. 2020 Oct 12;2(1):41–55.
31. Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao. Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 014-2024-ATU/PE [Internet]. Lima; 2024 p. 20. Available from: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5789013/5139550-rpe-014-2024-atu-pe.pdf>
32. Ministerio de Salud. Minsa recomienda dormir por lo menos 6 horas a conductores para evitar accidentes de tránsito [Internet]. 2016. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/14841-minsa-recomienda-dormir-por-lo-menos-6-horas-a-conductores-para-evitar-accidentes-de-transito>
33. Zinda J. Zinda Law Group. 2024. ¿Qué causa la conducción con sueño? Available from: <https://www.zdfirm.com/es/blog/dormirse-al-volante-ley/>
34. Cai AWT, Manousakis JE, Singh B, Francis-Pester E, Rajaratnam SMW, Lenné MG, et al. “Did you fall asleep?” – Younger and older drivers’

- recollection of prior sleepiness while driving. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2024 Jan;100:231–42.
35. Miller KA, Filtness AJ, Anund A, Pilkington-Cheney F, Maynard S, Sjörs Dahlman A. Exploring sleepiness and stress among London bus drivers: An on-road observational study. *Accid Anal Prev.* 2024 Nov;207:107744.
36. Zhang J, Zhao X, Yao Y, Ou J, Xiang Y. The influence of individual characteristics and working environment on driving performance of truck drivers. *Saf Sci.* 2025 May;185:106809.
37. Zhang N, Fard M, Xu J, Davy JL, Robinson SR. Road safety: The influence of vibration frequency on driver drowsiness, reaction time, and driving performance. *Appl Ergon.* 2024 Jan;114:104148.
38. Pan H, Logan DB, Stephens AN, Payre W, Wang Y, Peng Z, et al. Exploring the effect of driver drowsiness on takeover performance during automated driving: An updated literature review. *Accid Anal Prev.* 2025 Jun;216:108023.
39. Chavez Bautista RA. Calidad de sueño y somnolencia en conductores de buses interprovinciales de una agencia de transporte en la Victoria, Lima. [Internet]. Universidad Norbert Wiener; 2023. Available from: <https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstreams/8eea2ba0-3a31-46e4-898b-58013652e611/download>
40. Peña Prado K. Somnolencia en conductores de transporte público regular de pasajeros de Lima Metropolitana - Perú. 2016 [Internet]. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2017. Available from: <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/850>

41. Guevara Ipushima KG, Torres Jara ET. Calidad de sueño y somnolencia diurna en conductores de Taxi de una empresa privada en Lima Metropolitana - Santiago de Surco, 2016 [Internet]. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2016. Available from: <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/647>
42. Salvatierra Layten GA. Calidad de sueño y niveles de ira en conductores de transporte interprovincial tipo cama baja Lima 2017 [Internet]. Universidad San Martín de Porres; 2019. Available from: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6558>
43. Gutiérrez Chura SE. Nivel de somnolencia de acuerdo a la escala EPWORTH aplicado en choferes de tránsito público, Tacna 2022 [Internet]. Universidad Privada de Tacna; 2023. Available from: <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2788/Gutierrez-Chura-Sonia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
44. Quispe Carpio PI, Barrios Arones MI. Somnolencia diurna y riesgo de síndrome de APNEA obstructiva del sueño en conductores del terrapuerto Wari Ayacucho 2023 [Internet]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2023. Available from: <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/0fa2edcb-5775-428d-9e78-8bdd916cd1ed>
45. Corte Superior de Justicia de Cusco. Indemnización de daños y perjuicios. Cusco; 2018 p. 6.
46. Belete MD, Alitasb GK, Nibretu S, Dessie ME. Road traffic accident determinant factor identification in case of East Gojjam, Ethiopia using

- wrapper feature selection algorithm. *African Transp Stud.* 2025;3:100018.
47. Chua R, Ng YY, Ho AFW, Aik J. Association between climate variability and injury-causing road traffic accidents in Singapore – A time-stratified case-crossover study. *Urban Clim.* 2025 Feb;59:102257.
 48. Abdulrahman R, Almoshaogeh M, Haider H, Alharbi F, Jamal A. Development and application of a risk analysis methodology for road traffic accidents. *Alexandria Eng J.* 2025 Jan;111:293–305.
 49. Liao X, Wu G, Yang L, Barth MJ. A Real-World Data-Driven approach for estimating environmental impacts of traffic accidents. *Transp Res Part D Transp Environ.* 2023 Apr;117:103664.
 50. Nakao S, Sawada K, Keler A, Schmöcker JD. Analysis of land-use and POIs contributing to traffic accidents around intersections. *IATSS Res.* 2025 Apr;49(1):42–8.
 51. Attard M, Bergantino AS, Intini M. Effects of local urban characteristics and driving behaviour on injuries among pedestrians and cyclists in Malta. *Transp Res Procedia.* 2025;82:81–92.
 52. Paucar Navarrete DE, Rosas Cabrera S. Uso de herramientas participativas para el análisis y mejoramiento de la seguridad vial a través de la percepción de seguridad vial [Internet]. Pontificia Universidad Católica del Perú; 2024. Available from: <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/93d369ae-fcf7-4276-8440-10e11d8d2eba>
 53. Cabrera CA, Rodríguez YC. Teoría del Comportamiento Planificado e Intención de Emprendimiento en Estudiantes: Un Análisis de Ruta. Universidad Católica Andres Bellos; 2018.

54. Ajzen I. The theory of planned behavior. *Organ Behav Hum Decis Process*. 1991 Dec;50(2):179–211.
55. Moyano Díaz E. Teoría del comportamiento planificado e intención de infringir normas de transito en peatones [Internet]. Vol. 2, *Estudos de Psicologia (Natal)*. scielopepsic; 1997. p. 335–48. Available from: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-294X1997000200008
56. Damadi M, Haghighi F. Multidimensional influences on risky driving and crash risk among commercial drivers in developing countries: Structural equation model approaches. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*. 2025 Feb;109:809–39.
57. Watson-Brown N, Truelove V, Senserrick T. Self-Regulating compliance to enhance safe driving behaviours. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*. 2024 Aug;105:437–53.
58. He Y, Sun C, Chang F. The road safety and risky behavior analysis of delivery vehicle drivers in China. *Accid Anal Prev*. 2023 May;184:107013.
59. Wang Y, Zhang H, Shi N. Factors Contributing to the Severity of Heavy Truck Crashes: A Comparative Study of Jiangxi and Shaanxi, China. *Jordan J Civ Eng* [Internet]. 2021;15(1):11. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Yonggang-Wang-16/publication/348500969_Factors_Contributing_to_the_Severity_of_Heavy_Truck_Crashes_A_Comparative_Study_of_Jiangxi_and_Shaanxi_China/links/6001720645851553a0456f53/Factors-Contributing-to-the-Severity-of
60. Naderi H, Nassiri H, Zahedieh F. Predicting the Collisions of Heavy Vehicle

- Drivers in Iran by Investigating the Effective Human Factors. *J Adv Transp*. 2021 Oct 6;2021:1–12.
61. Kassem HA, Chowdhury M, Abawajy JH. Drivers Fatigue Level Prediction Using Facial, and Head Behavior Information. *IEEE Access*. 2021;9:121686–97.
 62. Soman SP, Senthil Kumar G, K M A. Internet-of-Things-Assisted Artificial Intelligence-Enabled Drowsiness Detection Framework. *IEEE Sensors Lett*. 2023 Jul;7(7):1–4.
 63. Altameem A, Kumar A, Poonia RC, Kumar S, Saudagar AKJ. Early Identification and Detection of Driver Drowsiness by Hybrid Machine Learning. *IEEE Access*. 2021;9:162805–19.
 64. Arefnezhad S, Samiee S, Eichberger A, Frühwirth M, Kaufmann C, Klotz E. Applying deep neural networks for multi-level classification of driver drowsiness using Vehicle-based measures. *Expert Syst Appl*. 2020 Dec;162:113778.
 65. Dzierzewski JM, Nielson SA. Drowsy driving prevalence and beliefs among a nationally representative US sample: A report from the National Sleep Foundation. *Sleep Heal*. 2024 Nov;
 66. Shandhana Rashmi B, Marisamynathan S. Factors affecting truck driver behavior on a road safety context: A critical systematic review of the evidence. *J Traffic Transp Eng (English Ed)*. 2023 Oct;10(5):835–65.
 67. Alonso F, Faus M, Esteban C, Useche SA. Cumplimiento y aplicación de la seguridad vial: información sobre las percepciones de los usuarios en España y la República Dominicana. *evista Científica Del Cent Univ La Guard Civ*

- [Internet]. 2025;4:361–380. Available from:
<https://revistacugc.es/article/view/7406>
68. Zaharaddeen Sb, Olorukooba A, Lawal A, Abdullahi I, Belgore S, Jibril B. Prevalence and pattern of stimulants use among long-distance truck drivers in a truck part in Kaduna State, Nigeria. *Niger J Med*. 2020;29(3):445.
 69. Alonso F, Faus M, Useche SA. The closer... the unsafer: may the lack of safe distance be a silent contributor to the burden of traffic crashes in Spain? *Cuad Latinoam Adm*. 2020 Jun 8;16(30).
 70. Paschalidis E, Choudhury CF, Hess S. Combining driving simulator and physiological sensor data in a latent variable model to incorporate the effect of stress in car-following behaviour. *Anal Methods Accid Res*. 2019 Jun;22:100089.
 71. Yang L, Zhou R, Li G, Yang Y, Zhao Q. Recognizing and explaining driving stress using a Shapley additive explanation model by fusing EEG and behavior signals. *Accid Anal Prev*. 2025 Jan;209:107835.
 72. Bates L, Alexander M, Webster J. The link between dangerous driving and other criminal behaviour: a scoping review. *Safer Communities*. 2022 May 6;21(2):137–56.
 73. INEI. Estadísticas de la Criminalidad, Seguridad Ciudadana y Violencia [Internet]. Lima, Perú; 2024. Available from:
https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_seguridad_jul_set24.pdf
 74. Observatorio Nacional de Seguridad Vial. Mapa de Calor de Siniestros [Internet]. 2023. Available from: <https://www.onsv.gob.pe/analitica/>

75. DIVPIAT. Reporte Estadístico [División de Prevención e Investigación de Accidentes de Tránsito]. 2023.
76. Arbieta Ayquipa PA, Jiménez Garces JH, Villalobos Olortegui WR. Alta mortalidad en accidentes de tránsito por velocidad con implicancia de género en Lima Metropolitana, en el periodo 2020 - 2022 [Internet]. Pontificia Universidad Católica del Perú; 2024. Available from: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/c9fa962c-32c2-4982-b893-a032aa1a651f>
77. Bates LJ, Scott-Parker B, Allen S, Watson B. Young driver perceptions of police traffic enforcement and self-reported driving offences. *Polic An Int J Police Strateg Manag*. 2016 Nov 21;39(4):723–39.
78. Bates L, Alexander M, Seccombe J, McLean R. Driver thrill seeking mediates the effect of gender on traffic offending for young drivers. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*. 2024 Apr;102:233–40.
79. Kodithuwakku DSS, Peiris TSG. Factors Influencing for Severity of Road Traffic Accidents in Sri Lanka. *Sri Lankan J Appl Stat*. 2021 Aug 30;22(1):1.
80. SUTRAN. Más de 89 mil infracciones fueron impuestas por exceso de velocidad en el 2024 [Internet]. 2024. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/sutran/noticias/1082036-mas-de-89-mil-infracciones-fueron-impuestas-por-exceso-de-velocidad-en-el-2024>
81. Sub Gerencia de Gestión de Cobranza S. SAT, Servicio de Administración Tributaria de Lima. 2025. Reglamento Nacional de Tránsito. Available from: [https://www.sat.gob.pe/websitev8/modulos/contenidos/mult_papeletas_tirntv2.aspx](https://www.sat.gob.pe/websitev8/modulos/contenidos/mult_papeletas_ti_rntv2.aspx)
82. Medrano Marin H. Cada hora se imponen 77 papeletas de tránsito en el Perú

y también se han cuadruplicado las multas por intentar coimear a policías. El Comercio [Internet]. Available from: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/cada-hora-se-imponen-77-papeletas-de-transito-en-el-peru-y-tambien-se-han-cuadruplicado-las-multas-por-intentar-coimear-a-policias-informe-accidentes-pnp-corrupcion-conductores-agentes-de-la-policia-seguridad-vial-transp>

83. Todt J. Naciones Unidas (ONU). 2024. Los accidentes viales matan a 110000 personas cada año en América Latina. Available from: <https://news.un.org/es/story/2024/08/1532166>
84. NHTSA. NHTSA: Los Choques de Tráfico le Costaron a Estados Unidos \$340 mil millones en 2019 [Internet]. 2023. Available from: <https://www.nhtsa.gov/es/press-releases/traffic-crashes-cost-america-billions-2019>
85. Alvia Párraga AE, Linares Giler S. Accidentes de tránsito, un problema de salud pública: revisión sistemática. Rev Científica Arbitr Multidiscip PENTACIENCIAS. 2024 May 11;6(3):313–32.
86. Chand A, Jayesh S, Bhasi AB. Road traffic accidents: An overview of data sources, analysis techniques and contributing factors. Mater Today Proc. 2021;47:5135–41.
87. Listin Diario. República Dominicana es el país con más muertes por accidentes de tránsito en el mundo. Economía & Negocios [Internet]. 2022; Available from: <https://listindiario.com/economia/2022/07/14/730070/republica-dominicana-es-el-pais-con-mas-muertes-por-accidentes-de-transito-en-el->

mundo.html#:~:text=El listado de la OMS,por cada cien mil habitantes.

88. Observatorio Nacional de Seguridad Vial. Boletín semestral 2024 [Internet]. Lima, Perú; 2024. Available from: https://drive.usercontent.google.com/u/0/uc?id=1DMB1_hFxseuTH82owwT6cSYrGecY8Vg9&export=download
89. Aguilar Paredes SG. Seguridad vial y su relación con los accidentes de tránsito en conductores y peatones de Lima Metropolitana y Callao en el año 2022. [Internet]. [Lima]: Universidad San Ignacio de Loyola; 2023 [cited 2024 Aug 4]. Available from: <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b5a83695-5c17-4e21-905c-b8c2fc364bfa/content>
90. Castro Molinares SP, Ruiz Pérez JI. Actitudes protectoras relacionadas con la seguridad vial en conductores de Villavicencio (Colombia). *Diversitas*. 2021 Oct 26;17(2).
91. Rosario Cano CC, Diaz Manrique JR. Infracción vehicular y la negligencia de conductores en el Distrito de Huacho año 2023 [Internet]. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión; 2024. Available from: <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/10010/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
92. Makowsky MD, Stratmann T. Political Economy at Any Speed: What Determines Traffic Citations? *Am Econ Rev*. 2009 Feb 1;99(1):509–27.
93. Love S, Larue GS, Rowland B, Davey J. What influences intentions to offend? A systematic review and meta-analysis on the factors associated with the deterrence of drink-driving. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*.

2024 Jan;100:154–68.

94. Sam EF. How effective are police road presence and enforcement in a developing country context? *Humanit Soc Sci Commun.* 2022 Feb 14;9(1):55.
95. Sin Fronteras. Arequipa: Detectan 30 minivans informales en operativos de transporte. *Diario Sin Fronteras* [Internet]. 2025; Available from: <https://diariosinfronteras.com.pe/2025/02/04/arequipa-detectan-30-minivans-informales-en-operativos-de-transporte/>
96. Olasinde AA, Oluwadiya KS, Sikakulya FK, Muhumza J. Road Safety Regulations: How Compliant are Commercial Motorcyclists in Semi-Urban Towns in Western Nigeria? *East African J Heal Sci.* 2022 Nov 10;5(2):38–46.
97. Lopez Pacheco MA. Redes neuronales convolucionales para el modelado de sistemas no lineales con aplicaci_ón al monitoreo de daño estructural. [Internet]. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; 2021. Available from: <https://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/DoTesMLopez.pdf>
98. Mousavikia SK, Gholizadehazari E, Mousazadeh M, Yalcin SBO. Instruction Set Extension of a RiscV Based SoC for Driver Drowsiness Detection. *IEEE Access.* 2022;10:58151–62.
99. Wang Z, Yao L. Recongnition of Distracted Driving Behavior Based on Improved Bi-LSTM Model and Attention Mechanism. *IEEE Access.* 2024;12:67711–25.
100. Nguyen DL, Putro MD, Jo KH. Driver Behaviors Recognizer Based on

- Light-Weight Convolutional Neural Network Architecture and Attention Mechanism. *IEEE Access*. 2022;10:71019–29.
101. Kakkar MK. A neuroinspired journey: Tracing the evolution and objectives of neuromorphic systems. In: *Primer to Neuromorphic Computing*. Elsevier; 2025. p. 215–38.
 102. Kielty P, Dilmaghani MS, Shariff W, Ryan C, Lemley J, Corcoran P. Neuromorphic Driver Monitoring Systems: A Proof-of-Concept for Yawn Detection and Seatbelt State Detection Using an Event Camera. *IEEE Access*. 2023;11:96363–73.
 103. Alguindigue J, Singh A, Narayan A, Samuel S. Biosignals Monitoring for Driver Drowsiness Detection Using Deep Neural Networks. *IEEE Access*. 2024;12:93075–86.
 104. Esteves T, Pinto JR, Ferreira PM, Costa PA, Rodrigues LA, Antunes I, et al. AUTOMOTIVE: A Case Study on AUTOMATIC multiMODAL Drowsiness detection for smart VEHICLES. *IEEE Access*. 2021;9:153678–700.
 105. Ma B, Fu Z, Rakheja S, Zhao D, He W, Ming W, et al. Distracted Driving Behavior and Driver's Emotion Detection Based on Improved YOLOv8 With Attention Mechanism. *IEEE Access*. 2024;12:37983–94.
 106. Xu K, Li F, Chen D, Zhu L, Wang Q. Fusion of Lightweight Networks and DeepSort for Fatigue Driving Detection Tracking Algorithm. *IEEE Access*. 2024;12:56991–7003.
 107. Li K, Gong Y, Ren Z. A Fatigue Driving Detection Algorithm Based on Facial Multi-Feature Fusion. *IEEE Access*. 2020;8:101244–59.
 108. Zhuang Q, Kehua Z, Wang J, Chen Q. Driver Fatigue Detection Method

- Based on Eye States With Pupil and Iris Segmentation. IEEE Access. 2020;8:173440–9.
109. Alharbey R, Dessouky MM, Sedik A, Siam AI, Elaskily MA. Fatigue State Detection for Tired Persons in Presence of Driving Periods. IEEE Access. 2022;10:79403–18.
 110. Karuppusamy NS, Kang BY. Multimodal System to Detect Driver Fatigue Using EEG, Gyroscope, and Image Processing. IEEE Access. 2020;8:129645–67.
 111. Jiang Y, Zhang Y, Lin C, Wu D, Lin CT. EEG-Based Driver Drowsiness Estimation Using an Online Multi-View and Transfer TSK Fuzzy System. IEEE Trans Intell Transp Syst. 2021 Mar;22(3):1752–64.
 112. Sharara L, Politis A, Syed H, Kronell E, Dunsmore D, Thierfelder T, et al. A Real-Time Automotive Safety System Based on Advanced AI Facial Detection Algorithms. IEEE Trans Intell Veh. 2024 Jun;9(6):5080–100.
 113. Mou L, Zhou C, Xie P, Zhao P, Jain R, Gao W, et al. Isotropic Self-Supervised Learning for Driver Drowsiness Detection With Attention-Based Multimodal Fusion. IEEE Trans Multimed. 2023;25:529–42.