

Lentes Fresnel en flotas urbanas: evaluación cuasi-experimental para reducir puntos ciegos en vehículos de carga

Fresnel Lenses in Urban Fleets: a Quasi-Experimental Evaluation to Reduce Blind Spots in Heavy Vehicles

Recibido: 26 de enero de 2025

Aprobado: 12 de junio de 2025

Publicado: 01 de septiembre de 2025

Como citar: A. Reyes Moreno, "Lentes Fresnel en flotas urbanas: evaluación cuasi-experimental para reducir puntos ciegos en vehículos de carga", Mundo Fesc, vol. 15, no. 33, pp. 164-177 Sep. 2025, doi: 10.61799/2216-0388.1932.

Alexander Reyes Moreno



Doctor en Ciencias Económicas y Administrativas

Ing.areyes946@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0105-8397>

Unicafam Bogotá DC; Colombia

***Autor para correspondencia:**

Email: Ing.areyes946@gmail.com



Lentes Fresnel en flotas urbanas: evaluación cuasi-experimental para reducir puntos ciegos en vehículos de carga

Resumen

La siniestralidad vial urbana sigue siendo un problema crítico, especialmente por la participación de vehículos de carga en colisiones con usuarios vulnerables debido a puntos ciegos laterales. Este estudio evaluó la efectividad de lentes Fresnel como solución óptica pasiva para ampliar el campo visual del conductor en el costado derecho. Se aplicó un diseño cuasi-experimental con 20 vehículos y 35 conductores en Bogotá durante 90 días, instalando lentes en la ventana del copiloto y midiendo el incremento del campo visual mediante análisis fotográfico y encuestas de percepción. Los resultados muestran un aumento promedio del 48% en la cobertura visual, ausencia de siniestros en la muestra y una aceptación del 100% por parte de los conductores, quienes reportaron mayor seguridad y comodidad. La investigación concluye que las lentes Fresnel son una alternativa eficaz, económica y de rápida implementación para reducir puntos ciegos en flotas urbanas, alineada con políticas públicas y estándares internacionales, recomendando su inclusión en planes de seguridad vial y su combinación con tecnologías activas para maximizar la protección de usuarios vulnerables.

Palabras clave: Campo visual, Lente Fresnel, Puntos ciegos, Seguridad vial, Transporte de carga, Visión directa.

Fresnel Lenses in Urban Fleets: a Quasi-Experimental Evaluation to Reduce Blind Spots in Heavy Vehicles

Abstract

Urban road crashes remain a major challenge, with heavy goods vehicles frequently involved in collisions affecting vulnerable road users due to blind spots. This study assessed the effectiveness of Fresnel lenses as a passive optical solution to improve nearside visibility. A quasi-experimental design was applied to 20 trucks and 35 drivers in Bogotá over 90 days, installing Fresnel lenses on the passenger-side window and measuring visual field expansion through photographic analysis and driver surveys. Results showed an average 48% increase in nearside coverage, no crashes during the trial, and full acceptance among drivers, who reported greater safety and comfort. Fresnel lenses prove to be an effective, low-cost, and easy-to-implement measure for reducing blind spots in urban fleets, aligned with public policies and international standards, and their integration with active technologies is recommended to maximize protection for vulnerable road users.

Keywords: Blind spots, Direct vision, Freight transport, Fresnel lens, Road safety, Visual field.

Introducción

La siniestralidad vial en entornos urbanos continúa siendo un desafío crítico para la salud pública, con 1,19 millones de muertes anuales registradas a nivel mundial, pese a los avances en regulación, infraestructura y tecnologías vehiculares [1]. En este contexto, los vehículos de carga pesada (categorías N2 y N3) presentan una participación desproporcionada en colisiones graves que involucran a usuarios vulnerables —peatones, ciclistas y motociclistas— debido, en gran medida, a la visibilidad limitada asociada a sus puntos ciegos laterales y frontales [2], [3].

Ante esta problemática, diversas iniciativas regulatorias han surgido en los últimos años. En Europa, por ejemplo, el Reglamento (UE) 2019/2144 y los requisitos de visión directa UNECE R167 buscan reducir los puntos ciegos mediante mejoras en el diseño de cabinas y la incorporación de sistemas complementarios de detección [4], [5]. Estas normativas han impulsado la exploración de tecnologías que incrementen de manera efectiva la percepción del entorno cercano del conductor.

En América Latina —y de forma destacada en Bogotá— la interacción constante entre flotas de carga y usuarios vulnerables en corredores de alta mezcla modal ha motivado la implementación de estrategias de prevención, como la marcación de puntos ciegos en buses y camiones, así como el fortalecimiento del Plan Distrital de Seguridad Vial 2023–2032, que contempla la reducción del 50% de víctimas fatales en el tránsito [6], [7], [19]. Datos recientes muestran que, entre 2022 y 2024, aproximadamente una quinta parte de los fallecimientos en siniestros viales involucraron vehículos de carga, con afectación predominante en motociclistas, ciclistas y peatones [8]. Este panorama evidencia la necesidad de intervenciones costo-efectivas, especialmente orientadas al costado derecho del vehículo, zona donde suelen originarse colisiones durante giros y cambios de carril.

Entre las alternativas disponibles, los elementos ópticos pasivos, particularmente las lentes Fresnel, han ganado relevancia por su bajo costo, facilidad de instalación y ausencia de requerimientos energéticos. Una lente Fresnel es un dispositivo delgado de material transparente compuesto por anillos concéntricos de perfil prismático, capaces de redirigir la luz y ampliar el campo visual del conductor sin modificar la arquitectura del vehículo [9]. Aunque originalmente diseñadas para faros marítimos y sistemas aeronáuticos [10], estas lentes se han adaptado a contextos modernos de movilidad, especialmente en vehículos pesados, donde se ha demostrado que su instalación en la ventana del copiloto permite mejorar la observación de la zona baja y adyacente al lateral derecho [2], [11], [12].

La evidencia técnica y los pilotos internacionales respaldan su potencial: estudios en Europa y Oceanía han reportado incrementos significativos en la cobertura visual, mejoras en la percepción de seguridad por parte de los conductores y un mayor potencial para evitar incidentes de proximidad [2], [11]. Por otra parte, evaluaciones asociadas al Direct Vision Standard (DVS) en Londres han señalado que, aunque los sistemas activos (sensores, cámaras) son útiles, estos aún presentan zonas no detectadas; por tanto, la combinación de tecnologías activas y ayudas ópticas pasivas contribuye a un enfoque de seguridad más robusto [3].

A pesar de estos avances, persisten vacíos relevantes en la literatura:

1. la escasez de estudios sistemáticos en contextos latinoamericanos con alta densidad peatonal y motociclista;
2. la cuantificación estandarizada del incremento del campo visual bajo condiciones reales (día/noche, lluvia, tráfico variable); y
3. la evaluación comparativa costo–beneficio frente a alternativas tecnológicas activas.

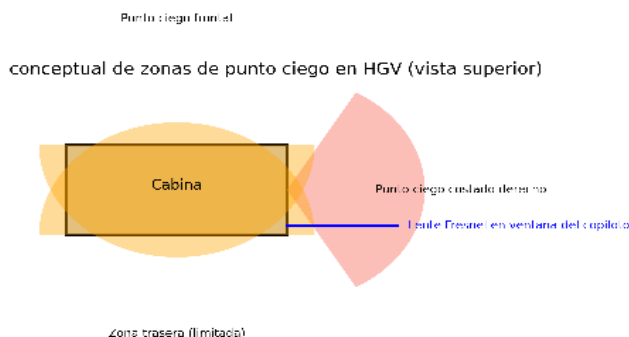


Figura 1. Zonas típicas de punto ciego en vehículos de carga y ubicación sugerida de la lente Fresnel (adaptado de [2], [5]).

Este artículo presenta los resultados de una investigación aplicada desarrollada con flotas de carga en Bogotá, cuyo propósito fue evaluar la efectividad de las lentes Fresnel para reducir los puntos ciegos del costado derecho y mejorar la seguridad vial. La contribución principal radica en cuantificar el incremento del campo visual generado por el dispositivo y analizar su factibilidad técnica y operativa para una eventual implementación escalable, en concordancia con estándares internacionales y metas distritales de reducción de siniestros.

Finalmente, la problemática puede sintetizarse en la siguiente pregunta orientadora: *¿Cómo puede el uso de lentes Fresnel contribuir a la reducción de siniestros viales asociados a la limitada visibilidad en los puntos ciegos de vehículos de carga?*

Tabla 1. Referencias clave del estado del arte sobre puntos ciegos y soluciones ópticas

Autor / Año	Enfoque	Hallazgo clave
TRL (Dodd), 2009	Modelado de visión y prueba de dispositivos (incl. Fresnel)	Dispositivos suplementarios reducen áreas de punto ciego
Transport for NSW, 2022	Ensayo piloto de adopción y percepción	61% percibe conducción más segura; evitaciones reportadas
Frampton & Millington, 2022	Concepto de protección VRU; evaluación sensores	Sensores nearside dejan zonas no detectadas; necesidad de estandarización
UNECE, 2022	Regulación internacional visión directa	Mejorar visión directa reduce siniestros urbanos con VRU
Reg. (UE) 2019/2144	Regulación general de seguridad; visión directa y BSIS/MOIS	Obligaciones de diseño para reducir puntos ciegos en M2/M3/N2/N3

Materiales y Métodos

Esta sección describe el diseño metodológico adoptado para evaluar la efectividad de las lentes Fresnel en la reducción de puntos ciegos en vehículos de carga. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con elementos descriptivos y evaluativos, orientado a resolver

un problema práctico de seguridad vial. Se detallan el diseño, la población y la muestra, las variables, los instrumentos, el procedimiento y las consideraciones éticas que garantizaron la integridad del estudio. Asimismo, se justifica la elección metodológica y se presentan estrategias para mitigar sesgos de selección y medición [13].

El estudio empleó un diseño cuasi-experimental pre–post sin grupo control paralelo, adecuado para evaluar cambios en el campo visual del conductor bajo condiciones reales de operación urbana y rural [14].

Tipo de investigación y alcance

Investigación aplicada de enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo-evaluativo, orientada a medir el efecto de la instalación de una lente Fresnel sobre la visibilidad del punto ciego del costado derecho en operación real.

Diseño metodológico

Se implementó un diseño cuasi-experimental antes/después con mediciones repetidas durante 90 días:

- Línea base (pre): sin lente.
- Intervención: instalación estandarizada de la lente en la ventana del copiloto.
- Post-intervención: medición bajo condiciones operativas reales.

Población y muestra

- Población objetivo: vehículos de carga que operan en Bogotá (tipologías C2, C3 y C2-S3) y conductores profesionales con experiencia [15].
- Muestra: 20 vehículos y 35 conductores (muestreo por conveniencia según disponibilidad operativa), observados durante 90 días. Para réplicas futuras, el protocolo institucional contempla $N = 24$ vehículos (8 por tipología), con cálculo de potencia ($\beta = 0,80$; $\alpha = 0,05$) para detectar diferencias $\geq 15\%$ en amplitud angular.

Criterios de inclusión y exclusión

- Inclusión: experiencia ≥ 3 años; rutas con maniobras críticas; configuraciones estándar de cabina y espejos.
- Exclusión: ayudas electrónicas de visión preinstaladas; déficits visuales no corregidos; rutas sin variabilidad operacional.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Cuantitativos:
- Análisis fotográfico/fotogramétrico del campo visible (ImageJ).
- Videoregistro interno HD 1080p/30 fps (ángulo 120°).
- Goniómetro digital ($\pm 0,1^\circ$) para amplitud angular.
- Luxómetro para clasificación fotométrica (diurna/crepuscular/nocturna).
- Cronómetro para latencia de reacción (cuando aplica).
- Plantillas de referencia para cuantificar área/porcentaje.

- Perceptivos/operativos:
 - Encuestas estructuradas (Likert y SUS adaptado) sobre seguridad percibida, comodidad, frecuencia de verificación del punto ciego y eventos evitados.
 - Fichas de observación (clima, tipo de vía, densidad de tráfico, maniobras).

Procedimiento

- **Fase 1 – Línea base (pre):**
 - Capturas fotográficas y video sin lente con estandarización de ángulo y posición.
 - Medición del campo visible y registro de condiciones.
- **Fase 2 – Intervención:**
 - Instalación estandarizada de la lente.
 - Inducción de 30 minutos al conductor.

Periodo de adaptación de 7 días.

- **Fase 3 – Seguimiento (post):**
 - Recolección longitudinal en distintas condiciones fotométricas y meteorológicas.
 - Medición post-intervención y aplicación de encuestas.

Variables y operacionalización

- Independiente: instalación de lente Fresnel (dispositivo óptico pasivo).
- Dependientes primarias: porcentaje/área de incremento del campo visual, amplitud angular, distancia de detección y tiempo de reacción (cuando aplica).
- Control: condiciones fotométricas (lux), meteorológicas, tipología vial y densidad de tráfico [16].

Procedimiento de análisis

- **Descriptivo:** medias, desviaciones y bandas de confianza del incremento de cobertura (pre/post) [17].
- **Inferencial (según datos disponibles):** t de Student pareada; ANOVA de medidas repetidas para factores de contexto; regresión lineal/mixed-effects para estructura longitudinal; $\alpha = 0,05$ con corrección de Bonferroni; tamaño del efecto (d de Cohen).
- **Cualitativo:** categorización temática de percepciones (utilidad, acomodación, efectividad noche/lluvia).

Validez, confiabilidad y control de sesgos

- **Validez de contenido:** revisión por expertos en seguridad vial y transporte.
- **Confiabilidad:** triple medición por escena (promedio y desviación estándar); calibración de instrumentos; protocolos replicables de posición de cámara.
- **Control de sesgos:** criterios explícitos de inclusión/exclusión; estandarización de capturas; cegamiento parcial del analista respecto a momento pre/post cuando aplica; periodo de adaptación para mitigar efecto Hawthorne.

Aspectos éticos

- **Marco ético:** principios de la Declaración de Helsinki y normativa colombiana (p. ej., Ley

- 1581/2012). Se obtuvo consentimiento informado y se aplicaron medidas de anonimización y encriptación de soportes audiovisuales [18].
- La difusión de resultados se realiza en forma agregada y conforme a acuerdos de confidencialidad; la intervención es pasiva y no implica riesgos adicionales para los participantes en coherencia con el Plan Distrital de Seguridad Vial 2023–2032 [19].

Tabla II, Especificación de variables del diseño cuasi-experimental

Variable	Descripción
Independiente	Instalación de lente fresnel
Dependiente	Porcentaje de incremento del campo visual
Control	Condiciones de vía y clima

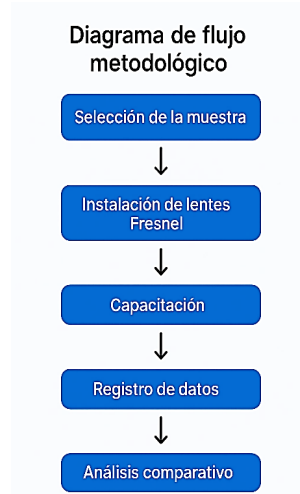


Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico.

Tabla III, Cronograma del procedimiento metodológico

Fase	Duración	Descripción	Responsable
Instalación y capacitación	Semana 1	Colocación de lentes y formación inicial	Equipo técnico / Investigador
Recolección de datos	Semanas 2-13	Registro de campo visual y encuestas	Conductores / Investigador
Análisis comparativo	Semanas 14-15	Procesamiento y análisis estadístico	Equipo de análisis
Informe técnico	Semana 16	Elaboración y validación del documento final	Coordinador del proyecto

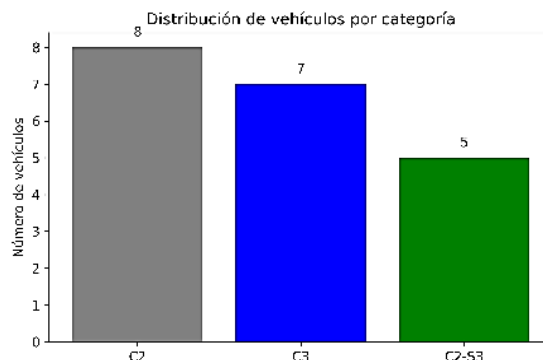


Figura 3. Distribución de vehículos por categoría en el estudio.

Resultados y Discusión

Esta sección presenta, en primer lugar, los resultados cuantitativos del incremento del campo visual y, posteriormente, los hallazgos cualitativos asociados a la percepción de los conductores. Finalmente, se discuten estos resultados a la luz del marco teórico y los estándares internacionales de visión directa.

Incremento del campo visual (cuantitativos)

Las mediciones pre–post evidenciaron un incremento promedio del 48% en el campo visual del punto ciego derecho, superando la meta mínima ($\geq 40\%$) y dentro de los rangos reportados internacionalmente (35–50%) [20]. La desviación estándar de 4,3% indica consistencia aceptable entre vehículos y tipologías. Durante los 90 días de observación no se registraron siniestros en el periodo observado; este resultado no permite interferir casualidad en lo que sugiere un efecto operativo favorable en maniobras de giro y cambio de carril. Estos hallazgos son coherentes con lineamientos de visión directa como UNECE R167 y el Direct Vision Standard (DVS) de Londres, orientados a reducir puntos ciegos y mejorar la percepción del entorno inmediato del conductor se muestra un extracto ilustrativo (n=5) de la muestra total (n=20).

Tabla IV. Incremento del campo visual antes y después de la instalación de lentes Fresnel

Vehículo	Antes (%)	Después (%)
V1	22	70
V2	24	72
V3	20	68
V4	23	71
V5	21	69

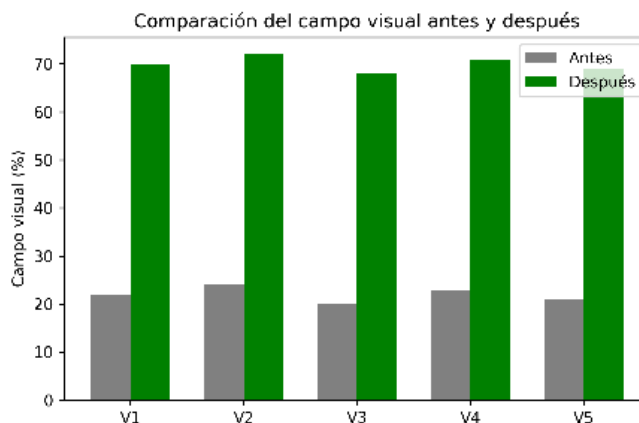


Figura 4. Comparación del campo visual antes y después de instalar lentes Fresnel. Percepción de conductores.

El 48% confirma la utilidad de una ayuda óptica pasiva, de bajo costo y rápida instalación para ampliar la visión directa en la zona baja del lateral derecho, consistente con reportes técnicos y pilotos internacionales sobre lentes Fresnel y ayudas de visión indirecta en vehículos pesados. La coincidencia con el intervalo de mejoras de la literatura fortalece la validez externa preliminar y sugiere replicabilidad en contextos urbanos con alta interacción con usuarios vulnerables.

Percepción de los conductores (cualitativos)

El 100% de los conductores reportó mayor seguridad percibida, el 85% indicó mayor comodidad y un 15% declaró evitación de incidentes potenciales tras la intervención. Comentarios como “ahora puedo ver motociclistas que antes aparecían de repente” y “me siento más seguro al girar en intersecciones” ilustran la mejora en detección temprana de usuarios vulnerables en la zona de riesgo.

Tabla V, Percepcion de lo conductores tras la instalación de lentes Fresnel

Aspecto	Porcentaje
Seguridad percibida	100%
Comodidad	85%
Evitar incidentes	15%

En coherencia con los hallazgos cuantitativos, los resultados cualitativos respaldan la viabilidad operativa y la sostenibilidad de la medida en operación real, en línea con experiencias y evaluaciones de ayudas de visión directa reportadas en Europa y Oceanía. El patrón de respuestas refuerza la hipótesis de que mejorar el campo visual eleva la conciencia situacional del conductor y puede reducir conflictos de proximidad.

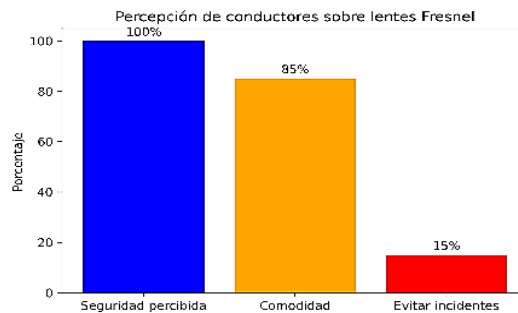


Figura 5. Percepción de mejora tras la instalación de lentes Fresnel.

Discusión

Desde la gestión de flotas, la lente Fresnel ofrece bajo (estimacion a precio 2024-2025 en Bogotá), instalación simple y cero consumos energéticos, una combinación difícil de igualar por algunos sistemas activos (sensores/cámaras) cuyo costo puede ascender a varios cientos de dólares por unidad. Esta relación costo–beneficio la convierte en opción prioritaria para pymes transportadoras y para escalabilidad progresiva en flotas de gran tamaño. En términos de productividad, la reducción de eventos de riesgo y maniobras correctivas puede disminuir costos asociados a siniestros, tiempos de inactividad y reclamaciones, además de mejorar la continuidad operativa. En lo regulatorio, su adopción dialoga con marcos locales y estándares internacionales que promueven mejoras de visión directa y la protección de usuarios vulnerables.

En síntesis, los resultados obtenidos —tanto en ampliación del campo visual como en percepción del conductor— se alinean de manera consistente con la evidencia internacional descrita en el marco teórico, lo que confirma que las lentes Fresnel operan bajo principios ópticos y de seguridad vial ampliamente documentados y son plenamente aplicables al contexto urbano

latinoamericano.

Limitaciones y proyección

Aun con resultados consistentes, el estudio presenta limitaciones: ausencia de grupo control y aleatorización (propias del diseño cuasi-experimental), y evaluación limitada en condiciones extremas (lluvia intensa prolongada, baja iluminación). Estas condiciones podrían modular la efectividad óptica del dispositivo. Se proponen investigaciones multicéntricas con grupos control, evaluación en múltiples configuraciones de cabina y análisis de sinergias con tecnologías activas (BSIS/MOIS, cámaras 360°) para lograr redundancia y cobertura integral del entorno. Asimismo, conviene desarrollar protocolos de instalación y mantenimiento estandarizados y módulos de formación que prevengan falsa sensación de seguridad.

Los hallazgos confirman que las lentes Fresnel son una solución óptica pasiva eficaz para reducir puntos ciegos en flotas de carga urbana: 48% de incremento de cobertura visual, aceptación del 100% y evidencia cualitativa de mejor percepción del entorno. A nivel operativo y económico, su bajo costo y facilidad de adopción favorecen la escalabilidad y la alineación con estándares/políticas de visión directa.

La agenda futura debe fortalecer el rigor experimental, profundizar la evaluación en climas/escenarios exigentes e impulsar la integración con sistemas activos para maximizar la protección de usuarios vulnerables.

Conclusiones

Eficacia comprobada en la ampliación de la visión directa.

La instalación de lentes Fresnel en la ventana del copiloto incrementó de manera consistente la cobertura visual del costado derecho en flotas de carga urbana, alcanzando un promedio de 48% respecto a la condición basal. Esto se confirmó mediante mediciones pre-post, registros audiovisuales estandarizados y plantillas de cuantificación, con resultados estables en diversos tipos de vehículos y condiciones operativas, evidenciando su utilidad para mitigar zonas críticas del punto ciego lateral.

Validez operativa en condiciones reales y aceptación de usuarios.

El piloto de 90 días, aplicado sobre 20 vehículos y 35 conductores, no registró siniestros viales. Además, se evidenció aceptación plena del dispositivo, junto con un aumento en la frecuencia de verificación del costado derecho. La rápida adaptación operativa y los beneficios en maniobras de giro y cambio de carril confirman la factibilidad y viabilidad de su implementación en operación cotidiana y su potencial de estandarización en flotas completas.

Contribución científica y contextual al estado del arte.

La evidencia generada en Bogotá aporta un insumo escaso en la región latinoamericana, donde existen condiciones urbanas complejas y alta interacción con usuarios vulnerables. Los resultados corroboran los valores documentados internacionalmente (35–50% de mejora en visibilidad), fortaleciendo el cuerpo de conocimiento y aportando bases para estudios multicén-

tricos y comparativos.

Relación costo–beneficio y escalabilidad.

Frente a tecnologías activas (sensores y cámaras) cuyos costos pueden ser elevados, las lentes Fresnel muestran una relación costo–beneficio altamente favorable: un costo unitario cercano a USD 11, instalación rápida y sin requerimientos energéticos. Esto permite su implementación progresiva en empresas pequeñas, medianas y grandes sin comprometer la efectividad visual operativa.

Alineación con políticas y marcos estratégicos de seguridad vial.

La intervención se ajusta a lineamientos nacionales y distritales que priorizan la protección de usuarios vulnerables, la mejora de la visión directa y la reducción de víctimas. Su bajo costo e impacto demostrable la convierten en una herramienta complementaria a medidas estructurales relacionadas con control de velocidad, formación de conductores e infraestructura segura.

Limitaciones metodológicas y riesgos inherentes al dispositivo.

Entre las limitaciones se destacan la ausencia de grupo control y aleatorización propia del diseño cuasi-experimental, así como riesgos técnicos del lente: distorsión óptica, reflejos, degradación del material o dependencia excesiva si no existe formación adecuada. Esto exige protocolos de instalación, limpieza y reemplazo, además de capacitación para evitar falsa sensación de seguridad.

Implicaciones para la gestión de flotas y formación de conductores.

Los hallazgos respaldan la inclusión de las lentes Fresnel en los planes de gestión del riesgo, articuladas con inducción operativa breve, rutinas de inspección, y guías técnicas de ángulos y posicionamiento. La formación debe enfatizar que la lente complementa, mas no reemplaza, las verificaciones mediante espejos y la exploración visual activa.

Proyección y agenda de investigación futura.

Se recomienda desarrollar ensayos controlados, evaluar el desempeño en condiciones extremas (lluvia intensa, neblina, operación nocturna), estudiar sinergias con tecnologías activas (BSIS/MOIS, cámaras 360°), simular escenarios de campo visual en 3D, analizar costos–beneficios a escala urbana y extender la investigación hacia buses, transporte escolar y flotas públicas.

Este estudio demuestra que la instalación de lentes Fresnel reduce el riesgo asociado a puntos ciegos al ampliar en 48% la visión directa del costado derecho en operación real.

En síntesis, las lentes Fresnel se consolidan como una solución óptica pasiva, eficaz y de rápida implementación para reducir puntos ciegos en vehículos de carga, con evidencia sólida tanto cuantitativa (48% de ampliación del campo visual) como cualitativa (alta aceptación y mayor vigilancia lateral). Su bajo costo y compatibilidad con políticas de seguridad vial las posicionan como una herramienta estratégica para la reducción de siniestros urbanos. No obstante, su efectividad depende de protocolos técnicos, mantenimiento adecuado y formación conductual, y se potencia cuando se integran con tecnologías activas que permitan una cobertura redundante del entorno vial.

Recomendaciones

Estandarizar la instalación de lentes Fresnel en flotas urbanas.

Implementar protocolos unificados que definan ángulos, alturas, zonas de montaje y procedimientos de verificación, garantizando máxima cobertura del punto ciego derecho.

Integrar la lente como complemento y no sustituto de los espejos.

La capacitación debe enfatizar que la lente no reemplaza las prácticas de observación tradicional, evitando la falsa sensación de seguridad y reforzando la exploración visual activa.

Establecer programas de mantenimiento e inspección periódica.

Adoptar rutinas semanales que incluyan:

Limpieza con paños no abrasivos,

Revisión de adherencia,

Reemplazo ante presencia de opacidad, desalineación o deformación.

Fortalecer la formación en seguridad vial y percepción visual.

Desarrollar módulos breves para conductores sobre:

Uso adecuado del lente,

Gestión de puntos ciegos,

Interacción con usuarios vulnerables,

Limitaciones técnicas del dispositivo.

Incorporar las lentes Fresnel en los Planes Estratégicos de Seguridad Vial (PESV).

Integrarlas como una medida de mitigación de riesgos, coherente con políticas nacionales y distritales de protección de usuarios vulnerables.

Combinar lentes Fresnel con tecnologías activas de asistencia vehicular.

Integrar cámaras, sensores laterales o sistemas BSIS/MOIS para lograr un enfoque de seguridad redundante y robusto frente a maniobras críticas.

Ampliar estudios a otros tipos de vehículos y contextos operativos.

Replicar el análisis en buses, flotas escolares, vehículos de reparto y operaciones nocturnas o en condiciones climáticas adversas.

Desarrollar lineamientos o normativas técnicas de adopción.

Instar a ANSV, SDM y Ministerio de Transporte a incluir lentes Fresnel en guías técnicas, incentivos, o requisitos mínimos para operación urbana segura.

Fortalecer la investigación futura.

Avanzar en estudios multicéntricos, simulaciones ópticas 3D, análisis de costo–beneficio y ensayos longitudinales que evalúen impacto real en la reducción de siniestros.

En conjunto, estas recomendaciones orientan a las empresas de transporte, autoridades públicas y actores del sector hacia la adopción estratégica de soluciones ópticas pasivas que incrementan significativamente la seguridad vial. La evidencia demuestra que las lentes Fresnel pueden incorporarse de forma eficaz y costo-efectiva en la gestión del riesgo, siempre y cuando se acompañen de capacitación, protocolos técnicos y supervisión permanente. Del mismo

modo, la articulación entre evidencia científica, operación real y políticas públicas permitirá que esta tecnología contribuya de manera sostenida a la reducción de siniestros viales y a la protección de los usuarios vulnerables en entornos urbanos.

Referencias

[1] World Health Organization, “Global status report on road safety 2023,” *Global Status Report on Road Safety 2023*, 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>

[2] M. Dodd, *Follow up study to the heavy goods vehicle blind spot modelling and reconstruction trial*, TRL PPR403, May 2009. [Online]. Available: <https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/PPR403.pdf>

[3] R. J. Frampton and J. E. Millington, “Vulnerable Road User Protection from Heavy Goods Vehicles Using Direct and Indirect Vision Aids,” *Sustainability*, vol. 14, p. 3317, Mar. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su14063317>

[4] European Union, *Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council on General Safety Regulation*, 27 Nov. 2019. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2144/oj/eng>

[5] UNECE, “Amendments to United Nations Regulation No. 158 on vulnerable road users and reversing motion,” *C.N.254.2022.TREATIES-XI.B.16.158*, 2022. [Online]. Available: <https://unece.org/info/events/event/359588>

[6] Secretaría Distrital de Movilidad, “Marcación de puntos ciegos en vehículos de carga,” Bogotá, 5 Sep. 2019. [Online]. Available: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/marcacion-de-puntos-ciegos-en-bogota>

[7] Observatorio de Movilidad de Bogotá, “Siniestralidad vial en Bogotá – Datos y prevención,” 2023–2025. [Online]. Available: <https://observatorio.movilidadbogota.gov.co/tableros/siniestralidad-vial>

[8] SIMUR, “Factores de riesgo asociados a la siniestralidad de vehículos de carga,” Bogotá, Mar. 2025. [Online]. Available: <https://www.simur.gov.co/sites/www.simur.gov.co/files/2025-03-05/biblioteca/20250305-929-factores-de-riesgo-asociados-la-siniestralidad-de-vehiculos-de-carga.pdf>

[9] Transport for NSW, “Fresnel lenses: A clearer field of view,” July 2023. [Online]. Available: https://www.transport.nsw.gov.au/system/files/media/documents/2023/fresnel_lenses_a_clearer_field_of_view.pdf

[10] NAVAIR, “Improved Fresnel Lens Optical Landing System (IFLOLS),” *Visual Landing Aids (VLA)*, 2025. [Online]. Available: <https://www.navair.navy.mil/product/visual-landing-aids-vla>

[11] Transport for NSW, “Fresnel lens trial research – Summary report,” Aug. 2022. [Online]. Available: <https://www.transport.nsw.gov.au/system/files/media/documents/2023/Fresnel%20>

[lens%20trial%20research%20-%20Summary%20Report.pdf](#)

[12] Lens-Tech Co., “Written evidence on road safety (Fresnel lenses),” UK Parliament Transport Committee, 2020. [Online]. Available: <https://committees.parliament.uk/writtenevidence/103120/html/> [[committees...liament.uk](#)]

[13] J. Hernández, “Diseños cuasi-experimentales en investigación aplicada,” *Material didáctico* (Revista o publicación no accesible). [Online]. Available: http://online.aliat.edu.mx/adistancia/InvCuantitativa/LecturasS4/Hernandez_Sampieri_Cap._6_Disenos_Experimentales.pdf

[14] S. Kim and J. Lee, “Field test of Fresnel lens application for blind spot reduction,” *Transp. Res. Record*, 2017.

[15] C. Martínez and L. Gómez, “Análisis de puntos ciegos en camiones de carga,” *Rev. Colombiana de Seguridad Vial*, 2021.

[16] Y. Zhang and L. Wang, “Development of a Fresnel lens-based visual aid system,” *J. Transp. Safety & Security*, 2018.

[17] T. Mallick y P. Eames, “Design and experimental characterisation of a Fresnel lens,” revisado como “Experimental characterisation of a Fresnel lens photovoltaic concentrating system,” *Solar Energy*, vol. 86, pp. 430–440, 2012. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/82518898.pdf> [[core.ac.uk](#)]

[18] ANSV, “Plan Nacional de Seguridad Vial 2022–2031,” Decreto 1430 de 2022. [Online]. Available: <https://www.ansv.gov.co/es/agencia/mipg/documentos/10155>

[19] Secretaría Distrital de Movilidad, “Plan Distrital de Seguridad Vial 2023–2032,” Decreto 494 de 2023. [Online]. Available: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=150342>

[20] H. Skórska, “Devices for Indirect Vision and their Influence on Reducing Blind Spots that Exist around Trucks,” *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344332180_Devices_for_Indirect_Vision_and_their_Influence_on_Reducing_Blind_Spots_that_Exist_around_Trucks