

**Huella de carbono corporativa en la práctica optométrica en grupo de ópticas de diferentes municipios de Colombia en el año 2024**

**Julieth Alexandra Herrera Herrera**

**Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Segmento Anterior y Lentes de Contacto**

**Director**

**Valeria D' Antone**

**Especialista en Segmento Anterior y Lentes de Contacto**

**Codirector**

**Diana Palencia**

**Opt. PhD en Epidemiología y Bioestadística**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias de la Salud**

**Especialización en Segmento Anterior y Lentes de Contacto**

**2026**

### **Agradecimientos**

A la Dra. Valeria D'Antone, directora de este proyecto de grado, mi más profundo y sincero agradecimiento por su guía constante, su confianza inquebrantable y su apoyo incondicional a lo largo de todo el proceso investigativo. Su visión clara, su dedicación y su capacidad para orientar con paciencia y rigor académico fueron fundamentales para que esta tesis viera la luz. Gracias por creer en este proyecto y por impulsarme a dar lo mejor de mí en cada etapa.

A la Dra. Diana Palencia, directora metodológica, expreso mi gratitud inmensa por su acompañamiento experto, su precisión en cada detalle y su disposición permanente para resolver dudas y fortalecer la estructura científica de este trabajo. Su conocimiento profundo y su compromiso con la excelencia metodológica fueron pilares esenciales que garantizaron la solidez y calidad de la investigación.

A ambas, gracias por su tiempo, su sabiduría y su ejemplo profesional. Este logro es, en gran medida, fruto de su orientación y dedicación.

**Contenido**

Introducción ..... 13

1. Huella de carbono corporativa en la práctica optométrica en grupo de ópticas de diferentes municipios de Colombia en el año 2024..... 18

    1.1 Planteamiento del problema..... 18

    1.2 Justificación..... 19

    1.3 Objetivos..... 20

        1.3.1 Objetivo general ..... 20

        1.3.2 Objetivos específicos..... 20

2. Marco teórico..... 20

    2.1 Información del sector óptico..... 20

        2.1.1 Características empresariales relevantes de las ópticas..... 20

        2.3.1 Relevancia ambiental en el sector ..... 21

    2.2 Sostenibilidad y responsabilidad ambiental corporativa..... 22

    2.3 Huella de carbono corporativo ..... 24

    2.4 Metodologías de medición y Gestión de Huella de Carbono..... 24

        2.4.1 Principios del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Procol)..... 24

        2.4.2 Herramientas digitales para la medición y seguimiento..... 25

        2.4.3 Retos y oportunidades para las MIPYMES..... 28

    2.5 Salud Planetaria..... 28

    2.6 Sector salud ..... 29

    2.7 Sostenibilidad en salud ..... 29

    2.8 Marco legal..... 31

2.3.1. Ley 650 de 2001 .....	31
2.3.2 La Norma ISO 14064 .....	32
2.3.3 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). .....	32
2.3.4 La Constitución Política de Colombia (1991), en sus artículos 79 y 80 .....	32
2.3.5 La Ley 1931 de 2018.....	32
2.3.6 La Ley 2169 de 2021 .....	32
2.3.7 La Ley 2427 de 2024.....	33
2.3.8 El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.....	33
2.3.9 Decreto 1397 de 2016 y la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley 1549 de 2012).....	33
2.3.10 Ley 2169 de 2021 .....	33
3. Metodología.....	34
3.1 Diseño del estudio .....	34
3.2 Población y muestra .....	35
3.3 Herramienta de recolección de datos .....	36
3.4 Procedimiento recolección de datos.....	37
3.5 Variables y análisis.....	38
3.6 Análisis de datos.....	40
3.7 Sesgos.....	41
3.7.1 Control de sesgos y limitaciones del análisis .....	41
4. Resultados.....	41
5. Discusión .....	49

6. Conclusiones.....	54
7. Recomendaciones .....	55
Referencias.....	57

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Variables</i> .....	38
<b>Tabla 2.</b> <i>Variables y análisis</i> .....	40
<b>Tabla 3.</b> <i>Resultados de estadística descriptiva para variables a considerar en la estimación de la huella de carbono corporativa</i> .....	44

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Distribución de ópticas por ciudad</i> .....	42
<b>Figura 2.</b> <i>Variaciones del alcance 1 por ciudad</i> .....	46
<b>Figura 3.</b> <i>Variaciones del alcance 2 por ciudad</i> .....	47
<b>Figura 4.</b> <i>Variaciones alcance 3 por ciudad</i> .....	49

**Lista de apéndices**

**Apéndice A.** *Consentimiento informado*

**Apéndice B.** *Plantilla de encuesta*

**Apéndice C.** *Base de datos*

Nota: ver apéndices en archivos externos

## Resumen

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales y de salud pública a nivel global. El sector salud, incluido el ámbito de la atención visual, genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que requieren ser cuantificadas para diseñar estrategias de mitigación (1). En Colombia, no existen estudios previos que midan la huella de carbono en ópticas, lo cual evidencia una brecha de conocimiento y acción en sostenibilidad dentro de este sector. **Objetivo** Determinar la huella de carbono corporativa en ópticas ubicadas en diferentes ciudades colombianas, identificando las principales fuentes de emisión según los alcances establecidos. **Metodología:** se realizó un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal, utilizando la calculadora digital Carbón Neutral Plus, basada en los lineamientos del GHG Protocol, para estimar la huella de carbono corporativa a partir de información sobre consumo energético, uso de refrigerantes, transporte y características operativas. La muestra, seleccionada por conveniencia, incluyó 15 ópticas comerciales ubicadas en diferentes municipios de Colombia. Los datos se recolectaron mediante formularios estructurados y autoadministrados, adaptados a las categorías de consumo energético, transporte y gestión de residuos. **Resultados:** En 2024, la huella de carbono corporativa total de las ópticas evaluadas fue de 57,04 tCO<sub>2</sub>e. El alcance 1 representó la principal fuente de emisiones, con 42,62 tCO<sub>2</sub>e (74,8 %), asociadas principalmente a emisiones fugitivas por el uso de refrigerantes y extintores, siendo el R-410A el más utilizado. El alcance 2 aportó 6,27 tCO<sub>2</sub>e (11,0 %), derivadas del consumo de energía eléctrica, mientras que el alcance 3 generó 8,15 tCO<sub>2</sub>e (14,3 %), principalmente por el transporte del personal, pacientes y desplazamientos laborales. Se evidenció una alta variabilidad entre las ópticas, relacionada con diferencias operativas y contextuales según el municipio. **Discusión:** Los hallazgos muestran que la práctica optométrica, aunque ambulatoria y de pequeña escala (1), genera un impacto ambiental

relevante (2,3). Predominan las emisiones del alcance 1, asociadas al uso de refrigerantes, mientras que el consumo energético (alcance 2) (4). es moderado y el transporte (alcance 3) representa una fuente indirecta significativa (5). Estos resultados resaltan la necesidad de medir la huella de carbono para orientar prácticas sostenibles en el sector optométrico colombiano. **Conclusión:** En conclusión, la práctica optométrica en Colombia, aunque de carácter ambulatorio y de pequeña escala, genera una huella de carbono corporativa relevante, con predominio de emisiones directas asociadas al uso de refrigerantes. Estos hallazgos resaltan la necesidad de incorporar la medición de la huella de carbono como herramienta estratégica para promover una gestión ambiental más sostenible en el sector optométrico.

*Palabras claves:* huella de carbono; práctica optométrica; emisiones de GEI; sostenibilidad ambiental; sector salud

### Abstract

Climate change represents one of the greatest environmental and public health challenges worldwide. The health sector, including visual care services, generates greenhouse gas (GHG) emissions that must be quantified in order to design effective mitigation strategies. In Colombia, there are no previous studies assessing the carbon footprint of optical practices, revealing a gap in knowledge and sustainability actions within this sector. **Objective:** To determine the corporate carbon footprint of optical practices located in different Colombian cities, identifying the main emission sources according to the established scopes. **Methodology:** An observational, descriptive, cross-sectional study was conducted using the Carbon Neutral Plus digital calculator, based on the Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), to estimate the corporate carbon footprint from data on energy consumption, refrigerant use, transportation, and operational characteristics. A convenience sample of 15 commercial optical practices located in different municipalities of Colombia was included. Data were collected through structured, self-administered questionnaires adapted to the categories of energy consumption, transportation, and waste management. **Results:** In 2024, the total corporate carbon footprint of the evaluated optical practices was 57.04 tCO<sub>2e</sub>. Scope 1 was the main source of emissions, accounting for 42.62 tCO<sub>2e</sub> (74.8%), mainly associated with fugitive emissions from refrigerants and fire extinguishers, with R-410A being the most frequently used. Scope 2 contributed 6.27 tCO<sub>2e</sub> (11.0%) from electricity consumption, while Scope 3 generated 8.15 tCO<sub>2e</sub> (14.3%), primarily related to staff and patient transportation and work-related travel. Significant variability was observed among optical practices, associated with operational and contextual differences across municipalities. **Discussion:** The findings show that optometric practice, despite its ambulatory and small-scale nature, generates a relevant environmental impact. Scope 1 emissions predominate due to refrigerant use, while energy

consumption (Scope 2) is moderate and transportation (Scope 3) represents a significant indirect source of emissions. These results highlight the need to measure the carbon footprint to guide sustainable practices in the Colombian optometric sector. **Conclusion:** Optometric practice in Colombia generates a relevant corporate carbon footprint, even as a small-scale ambulatory service, with a predominance of direct emissions associated with refrigerant use. These findings underscore the importance of incorporating carbon footprint assessment as a strategic tool to promote more sustainable environmental management in the optometric sector.

*Keywords:* carbon footprint; optometric practice; greenhouse gas emissions; environmental sustainability; health sector.

### **Introducción**

La contaminación ambiental producida por el sector sanitario, en particular por los hospitales, es preocupante por sus efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud de las personas (6). Los centros de salud son el núcleo operativo de la atención médica, sin embargo, también son responsables de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). A nivel global las instalaciones sanitarias producen grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono) debido al uso intensivo de recursos y equipos que demandan mucha energía. Resulta paradójico, ya que los profesionales de la salud se guían por el principio de "primero no causar daño (7).

El sector salud también es responsable de producir un volumen considerable de desechos, clasificados como peligrosos y no peligrosos, cuya gestión inadecuada puede tener graves repercusiones ambientales. Los residuos médicos, que incluyen materiales biológicos potencialmente infecciosos, productos farmacéuticos caducados o en desuso, sustancias químicas tóxicas y una amplia gama de equipos desechables, requieren procesos especializados de recolección, tratamiento y disposición final para mitigar riesgos como la contaminación del suelo, la afectación de cuerpos de agua y el impacto en la salud pública (6,7).

Frente a estos retos, numerosos hospitales han comenzado a implementar prácticas más respetuosas con el medio ambiente, como la disminución de desechos, la implementación de programas de reciclaje y la incorporación de fuentes de energía renovable (8). Desde su creación en 2011, la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables ha marcado un punto de inflexión significativo en esta labor, fomentando un ambiente más sano que beneficia tanto a los pacientes como al ecosistema global (8). Este esfuerzo colectivo no solo busca reducir el impacto ambiental del sector sanitario, sino también inspirar a otras industrias a seguir su ejemplo. Además, muchas de estas instituciones están invirtiendo en tecnologías eficientes, como sistemas de iluminación

LED (Diodo emisor de luz) y equipos de bajo consumo energético, y están capacitando a su personal en la gestión sostenible de recursos, lo que fortalece su compromiso con la salud pública y la preservación del planeta (9). Estas iniciativas también generan ahorros económicos a largo plazo, demostrando que la sostenibilidad puede ir de la mano con la eficiencia operativa y el bienestar comunitario (3,9).

La huella de carbono es un indicador ambiental que estima el total de emisiones de (GEI) liberadas a la atmósfera debido a actividades humanas, ya sea de individuos, organizaciones, eventos o productos, durante un periodo específico. Estas emisiones se expresan comúnmente en toneladas de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) equivalente (tCO<sub>2</sub>e) (Toneladas de Dióxido de carbono), facilitando la comparación y evaluación de su impacto en el cambio climático (10).

El sector de la salud visual, aunque no es considerado tradicionalmente de alto impacto ambiental, genera una huella de carbono significativa a lo largo de su cadena de valor (11). Factores como el consumo energético en los establecimientos comerciales, la fabricación y distribución de productos ópticos, el uso de materiales desechables en la práctica optométrica y la inadecuada gestión de residuos, contribuyen de manera directa e indirecta a las emisiones de GEI (12). En el año 2022 se publicó el primer estudio que calculó la huella de carbono específicamente en la práctica optométrica, el Instituto Nacional de Salud DE Inglaterra (NHI por sus siglas en inglés) evaluó el impacto de 5 sitios distintos midiendo, los ámbitos de transporte, consumo de energía, agua, residuos; en ese trabajo el total de la huella fue de 135.773 kg CO<sub>2</sub>e producto de 25.745 valoraciones realizadas durante el 2020. el transporte impactó con el 69% de la huella mientras que, el gasto energético con 14% y los procedimientos con el 11% respectivamente (13).

La gestión inadecuada de productos optométricos desechables, como las lentes de contacto blandas de material HEMA ( hidroxietil metacrilato) y Hidrogel de silicona plásticos, representa

un desafío ambiental significativo debido a su contribución a la contaminación por micro plásticos (14). En un estudio pionero, Rolsky y su grupo evaluaron el inventario masivo y la degradación de lentes de contacto desechados en las aguas residuales de Estados Unidos, estimando que anualmente se desechan entre 2.900 y 3.100 millones de lentes, equivalentes a aproximadamente 20.000 kg de plástico. Los autores encontraron que, debido a su composición polimérica, estas lentes no se degradan completamente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, fragmentándose en microplásticos que persisten en el medio ambiente y representan riesgos para los ecosistemas acuáticos. Además, el estudio destacó que una proporción significativa de usuarios desecha las lentes por el desagüe, exacerbando el problema (14).

En concordancia, un análisis citado por MyVision reportó entre 6 y 10 toneladas métricas de lentes plásticos terminan anualmente en las aguas residuales de Estados Unidos, descomponiéndose en microplásticos que amenazan los ecosistemas acuáticos al ser ingeridos por la vida marina e integrarse en las cadenas alimenticias, con potencial impacto en la salud humana. Asimismo, una encuesta realizada a más de 1.100 usuarios reveló que el 23,4% de los usuarios desecha sus lentes por el inodoro o el desagüe, mientras que más del 70% desconoce que estos no son biodegradables, y apenas el 6,7% los recicla de forma adecuada mediante proveedores especializados (15).

Por lo anterior, el impacto ambiental de las actividades comerciales y de servicios de salud ha sido un foco de creciente interés en las últimas décadas, especialmente en el marco de los compromisos internacionales para mitigar el cambio climático. La huella de carbono, entendida como la medida de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas directa o indirectamente por una actividad (13), ha sido ampliamente estudiada en diversos sectores

económicos, incluyendo la industria de la salud. Sin embargo, la literatura sobre la evaluación de la huella de carbono en el sector salud visual es aún limitada(12).

La huella de carbono empresarial es un indicador esencial en la evaluación del desempeño ambiental de las organizaciones. Su medición se estructura en tres alcances: *Alcance 1*, que incluye las emisiones directas derivadas de fuentes propias como el consumo de combustibles fósiles; *Alcance 2*, correspondiente a las emisiones indirectas por la electricidad adquirida; y *Alcance 3*, que contempla otras emisiones indirectas relacionadas con la cadena de suministro, la logística y la gestión de residuos. La cuantificación de estas emisiones constituye una obligación para toda entidad que genere gases de efecto invernadero, ya que posibilita la optimización de procesos energéticos, la reducción de impactos ambientales y el cumplimiento de normativas de sostenibilidad, contribuyendo a las metas globales de mitigación del cambio climático (8).

En Colombia, se ha estimado que el sector hospitalario representa una proporción considerable de las emisiones nacionales de GEI, debido al alto consumo energético y la generación de residuos biomédicos (16) . Un estudio reciente realizado en clínicas oftalmológica del norte de Santander encontró que los principales factores que contribuyen a la huella de carbono en estos entornos son el consumo eléctrico de los equipos especializados, la climatización de los espacios y la eliminación de residuos sanitarios (17). De manera similar, una investigación en México evaluó el impacto ambiental de hospitales públicos y privados, determinando que el consumo de energía y el transporte de pacientes y personal representan las mayores fuentes de emisiones de GEI (18). Estas investigaciones resaltan la necesidad de implementar estrategias que reduzcan el impacto ambiental del sector salud, como la optimización del consumo eléctrico y la adopción de fuentes de energía renovable.

Asimismo, la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables ha desarrollado la iniciativa "Menos huella, más salud"(6,19), promoviendo en América Latina la implementación de auditorías energéticas en hospitales, lo que ha permitido reducir significativamente su consumo eléctrico mediante medidas de eficiencia energética y la adopción de fuentes renovables. La facultad de optometría de la Universidad Santo tomas de Floridablanca, comprometida con la gestión de su huella de carbono se ha unido a esta misma iniciativa desde 2024.

Diversos estudios han abordado la medición de la huella de carbono en el sector salud, con énfasis en hospitales y clínicas oftalmológicas (14). Investigaciones recientes en América Latina han evaluado las emisiones de GEI asociadas a actividades médicas, destacando el consumo energético, el uso de materiales desechables y la logística de distribución de insumos como factores clave en la generación de emisiones (6,19).

En la práctica optométrica, aunque menos estudiado en comparación con los hospitales y clínicas oftalmológicas, comparte características operativas similares que pueden contribuir significativamente a su impacto ambiental(13). Las ópticas generan emisiones a través del consumo de electricidad en la iluminación y equipos de laboratorio, el uso de plásticos en la fabricación de lentes y monturas, así como la distribución de productos a diferentes puntos de venta. Iniciativas de sostenibilidad en la industria óptica han emergido en diferentes países, incluyendo el reciclaje de lentes y monturas, el uso de materiales biodegradables y la implementación de procesos de fabricación con menor impacto ambiental (20).

## **1. Huella de carbono corporativa en la práctica optométrica en grupo de ópticas de diferentes municipios de Colombia en el año 2024**

### **1.1 Planteamiento del problema**

A nivel corporativo, la medición de la huella de carbono en la práctica optométrica es fundamental para mejorar la eficiencia operativa, optimizar el consumo de recursos y fortalecer la responsabilidad ambiental de las empresas (21). En un contexto en el que las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y los consumidores exigen prácticas comerciales más sostenibles, contar con un diagnóstico preciso de las emisiones de GEI en la práctica optométrica resulta crucial para su competitividad y su alineación con estándares internacionales como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) e iniciativas de reporte de sostenibilidad como el Global Reporting Initiative (GRI) (14).

Sin embargo, la falta de estudios específicos sobre las emisiones generadas por las actividades optométricas en el ámbito nacional limita la capacidad de las empresas para implementar estrategias efectivas de mitigación. Esta situación se agrava si se considera que prácticas relacionadas con productos optométricos, como el uso y disposición de lentes de contacto, reflejan tanto la escasa conciencia como los hábitos inadecuados de eliminación, destacando la necesidad imperiosa de explorar alternativas sostenibles para reducir el impacto ambiental, un eje fundamental de esta investigación. Ante esta realidad, surge la necesidad de determinar la huella de carbono corporativa en la práctica optométrica en ópticas de diferentes ciudades del país, lo que permitirá identificar los principales factores que inciden en la generación de emisiones y, a futuro, desarrollar estrategias para su mitigación. Para abordar esta problemática, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: *¿Cuál es la huella de*

*carbono corporativa generada por la práctica optométrica en un grupo de ópticas de diferentes municipios de Colombia en el año 2024?*

## **1.2 Justificación**

El desarrollo de este estudio se centra en la cuantificación rigurosa del impacto ambiental derivado de las actividades optométricas en ópticas, mediante la determinación de la huella de carbono corporativa, con el propósito de generar insumos técnicos fundamentales para la formulación de estrategias que optimicen la eficiencia energética y material, al tiempo que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En un contexto global donde la presión regulatoria y las expectativas de sostenibilidad exigen la adopción de modelos operativos alineados con estándares como el Protocolo de GEI y el Global Reporting Initiative (GRI), esta investigación proporcionará una base empírica para identificar fuentes críticas de emisiones en la práctica optométrica, así como para proponer intervenciones específicas que reduzcan la intensidad de carbono en la práctica optométrica.

Además, al sistematizar datos sobre el consumo de recursos y la gestión de residuos optométricos, el proyecto habilitará el diseño de soluciones basadas en la economía circular y la ecoeficiencia, contribuyendo a la transición hacia una industria de menor impacto ambiental. Este enfoque no solo fortalecerá la competitividad de las prácticas optométricas nacionales frente a exigencias ambientales internacionales, sino que también establecerá un referente técnico para la integración de prácticas sostenibles en la formación académica y la gestión sanitaria del sector, promoviendo una reducción efectiva de la huella ecológica y apoyando los objetivos globales de mitigación climática.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar la huella de carbono corporativa en la práctica optométrica en grupos de ópticas de diferentes ciudades del país en el año 2024.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

1. Caracterizar las empresas del sector participante en el estudio.
2. Describir los alcances que influyen en la Huella de carbono corporativa a través de la plataforma Carbón Neutral Plus.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Información del sector óptico**

#### ***2.1.1 Características empresariales relevantes de las ópticas***

Las ópticas se consideran establecimientos del sector salud visual que cumplen una doble función: la prestación de servicios profesionales de optometría y la comercialización de productos ópticos (lentes, monturas y ayudas visuales). En Colombia, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU Rev.4 A.C.) adoptada por el DANE, se ubican en los códigos 4774: Comercio al por menor de artículos médicos y ortopédicos, y 8690: Otras actividades de atención de la salud humana, lo que refleja su carácter híbrido entre servicios sanitarios y actividad comercial (22). La mayoría de estos establecimientos corresponden a micro, pequeñas y medianas

empresas (MIPYMES), definidas por la Ley 590 de 2000 y la Ley 905 de 2004, que se caracterizan por su tamaño reducido, menor capacidad tecnológica y dependencia de laboratorios externos para procesos de fabricación y acabado de lentes(23,24) No obstante, también existen cadenas de ópticas y clínicas oftalmológicas con integración de laboratorios propios, lo que implica mayor consumo de energía, insumos y recursos humanos (25). Estas diferencias estructurales y de servicios resultan determinantes para comprender el perfil ambiental del sector óptico y contextualizar la medición de su huella de carbono.

### ***2.3.1 Relevancia ambiental en el sector***

El sector óptico genera flujos de residuos y emisiones que, si no se gestionan apropiadamente, pueden representar riesgos ambientales y sanitarios y contribuir a la huella de carbono organizacional. En términos de residuos, las ópticas producen residuos no peligrosos (empaques, cartón, plásticos de embalaje), residuos sólidos técnicos (monturas, lentes rechazos, sobrantes de pulido) y, en algunos procedimientos y talleres, residuos peligrosos o que requieren manejo especial (productos químicos de recubrimiento, solventes, restos de reactivos y materiales biocontaminados cuando existe atención clínica), cuya gestión en Colombia está reglamentada por el Decreto 351 de 2014 y el régimen RESPEL del Ministerio de Ambiente(26–28). Además, los lentes de contacto y las lentes de plástico desechadas, según investigación de Pillay et al., tienen impactos ambientales notables en sus etapas de fin de vida, con liberación de contaminantes plásticos si no se disponen correctamente(29). Por otra parte, la logística del sector, importación y transporte de monturas y lentes, traslado a laboratorios externos, distribución a puntos de venta y viajes de los clientes, aporta emisiones indirectas significativas (alcance 3), considerando que el transporte terrestre y la logística representan una proporción sustantiva de las emisiones del sector

transporte nacional y urbano en Colombia; por tanto, la electrificación de flotas, optimización logística y compras locales son estrategias relevantes para mitigar estas emisiones (30). En conjunto, estas dinámicas (residuos específicos, insumos desechables y transporte externo), configuran retos ambientales que hacen necesaria la incorporación de buenas prácticas ambientales, normativas vigentes y estrategias de gestión integral en ópticas, para minimizar su huella de carbono.

## **2.2 Sostenibilidad y responsabilidad ambiental corporativa**

La sostenibilidad empresarial y la responsabilidad ambiental corporativa se han consolidado como pilares fundamentales en las políticas globales de mitigación del cambio climático. A nivel internacional, el *Acuerdo de París (2015)* estableció el compromiso de los países firmantes para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C respecto a niveles preindustriales, promoviendo la reducción progresiva de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todos los sectores, incluido el de servicios de salud y bienestar (31). En respuesta, Colombia adoptó compromisos de descarbonización a través de la *Ley 1931 de 2018*, que crea el Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA), y de la *Ley 2169 de 2021*, que fija metas de reducción del 51 % de emisiones para 2030 y la carbono neutralidad al 2050 (32,33). En el ámbito empresarial, la *Resolución 1447 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* reglamenta la contabilización, reporte y verificación de inventarios corporativos de GEI, promoviendo la gestión voluntaria y el reconocimiento de organizaciones carbono neutro (34). Estas normativas orientan a las empresas, incluidas las del sector óptico, hacia la implementación de planes de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, donde la medición de la huella de carbono se convierte en un instrumento clave para evidenciar el cumplimiento de sus

compromisos climáticos y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 13 sobre acción por el clima (35).

La teoría de la sostenibilidad corporativa, influenciada por el Informe Brundtland (1987), enfatiza que las empresas deben equilibrar el crecimiento económico con la preservación ambiental y social. En este contexto, la huella de carbono corporativa se convierte en una herramienta estratégica para la responsabilidad social empresarial (RSE), permitiendo a las ópticas reducir costos operativos, mejorar su reputación y cumplir con regulaciones internacionales como el Acuerdo de París (36).

La contaminación ambiental, derivada de actividades humanas como la industrialización, el transporte y la gestión inadecuada de residuos, representa una amenaza significativa para los ecosistemas y la salud humana. En el sector sanitario, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el consumo intensivo de energía y la generación de residuos contribuyen al cambio climático y la degradación ambiental. Según la Organización Mundial de la Salud, el cambio climático afecta la salud pública al aumentar la incidencia de enfermedades relacionadas con la contaminación del aire, el agua y el suelo. En el contexto de la optometría, la contaminación ambiental se ve reflejada en la producción y disposición de materiales plásticos, como lentes de contacto y empaques, que generan micro plásticos con impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres (37). Estudios recientes muestran que los lentes de contacto desechables, al ser eliminados incorrectamente, pueden fragmentarse en microplásticos persistentes. Rolsky et al. estiman que en EE.UU. se desechan anualmente entre 2.900 y 3.100 millones de lentes, equivalentes a 20.000 kg de plástico, gran parte de los cuales termina en cuerpos de agua (14). Asimismo, se ha calculado que entre 6 y 10 toneladas métricas de lentes plásticos ingresan cada año a las aguas residuales, generando riesgos para la fauna marina y la salud humana (38). La

comprensión de estos efectos es crucial para desarrollar estrategias que mitiguen el impacto ambiental de las prácticas optométricas.

### **2.3 Huella de carbono corporativo**

La huella de carbono corporativa es un indicador ambiental que cuantifica el total de emisiones de GEI generadas directa o indirectamente por las actividades operativas de una organización, expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2e</sub>) (39). Este concepto se basa en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), que clasifica las emisiones en tres alcances: Este indicador abarca emisiones directas (Alcance 1), indirectas por consumo energético (Alcance 2) y otras indirectas de la cadena de valor (Alcance 3), como transporte y gestión de residuos (6). En el sector optométrico, estas emisiones incluyen el consumo energético en consultorios y laboratorios, la logística de distribución de lentes y monturas, y la generación de residuos plásticos como lentes de contacto desechables. La medición de esta huella permite a las organizaciones identificar los puntos de emisiones y alinear sus operaciones con objetivos de sostenibilidad, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

### **2.4 Metodologías de medición y Gestión de Huella de Carbono**

#### ***2.4.1 Principios del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Procol)***

El GHG Protocol, desarrollado por el *World Resources Institute (WRI)* y el *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, establece los principios básicos de relevancia, completitud, coherencia, transparencia y precisión para la cuantificación y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (39). Este protocolo clasifica las emisiones en tres alcances:

directas (alcance 1), indirectas por consumo energético (alcance 2) e indirectas de la cadena de valor (alcance 3), y constituye el marco de referencia para los inventarios corporativos reconocidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (40).

#### ***2.4.2 Herramientas digitales para la medición y seguimiento***

En los últimos años, la digitalización de los procesos de gestión ambiental ha impulsado el desarrollo de múltiples herramientas tecnológicas que facilitan la cuantificación, análisis y seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas plataformas integran sistemas de cálculo automatizado, almacenamiento de datos y visualización interactiva de resultados, lo que mejora la precisión, trazabilidad y eficiencia de los inventarios de carbono corporativo (41,42).

Las herramientas digitales de medición de huella de carbono se fundamentan en estándares reconocidos internacionalmente como el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) y la norma ISO 14064-1:2018, que establecen los principios y categorías de reporte de emisiones en tres alcances: emisiones directas (alcance 1), emisiones indirectas por consumo de electricidad (alcance 2) y emisiones indirectas de la cadena de valor (alcance 3) (40). Estas plataformas recopilan datos sobre consumo energético, transporte, generación de residuos, uso de refrigerantes e insumos, convirtiéndolos en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e), lo que permite elaborar reportes estandarizados y comparables a nivel internacional.

A nivel global, la gestión corporativa del carbono ha avanzado con la creación de plataformas digitales especializadas como Watershed, Emitwise, Normative, Persefoni, Sweep, Cozero, Greenly y Plan A(43,44), las cuales permiten automatizar la recopilación de datos desde sistemas empresariales, identificar los principales focos de emisión (“hotspots”) a lo largo de la

cadena de valor, generar reportes conforme al *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)* y la iniciativa *Science Based Targets (SBTi)*, así como simular escenarios de reducción y monitorear el progreso hacia la neutralidad de carbono (45). Estas herramientas son ampliamente utilizadas por grandes corporaciones, gobiernos y entidades financieras por su capacidad de integrar múltiples fuentes de información y facilitar auditorías externas; sin embargo, su implementación implica costos elevados y conocimientos técnicos especializados, lo que limita su adopción por parte de micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), especialmente en países en desarrollo (46).

En América Latina, se han desarrollado versiones más accesibles y adaptadas a las realidades regionales, como HuellaChile, impulsada por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, y Huella de Carbono Perú, gestionada por el Ministerio del Ambiente del Perú. Ambas plataformas siguen las metodologías del *GHG Protocol* y la norma ISO 14064-1:2018, pero incorporan factores de emisión nacionales y sistemas de registro público que permiten a las organizaciones cuantificar y reportar sus emisiones, acceder a reconocimientos de gestión climática y participar en programas de reducción o compensación certificados (47,48). Estas iniciativas representan un avance significativo en la democratización del cálculo y gestión de la huella de carbono en la región, al facilitar la participación de empresas de menor escala en la acción climática.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible promueve el uso de plataformas compatibles con la Resolución 1447 de 2018, que regula la cuantificación y verificación de inventarios de GEI corporativos (49). Dentro de las iniciativas más relevantes se encuentra la herramienta Carbon Neutral Plus, desarrollada por la empresa Carbón Neutral S.A.S.,

la cual ha sido adoptada por organizaciones del sector salud, educativo y empresarial debido a su bajo costo, simplicidad operativa y alineación con los estándares internacionales (50,51).

Carbon Neutral Plus es una plataforma digital colombiana diseñada para la medición, gestión y compensación de la huella de carbono organizacional. Su metodología se basa en los lineamientos del GHG Protocol y la norma ISO 14064-1:2018, garantizando la compatibilidad con los reportes internacionales de emisiones (52). La herramienta permite calcular las emisiones de los tres alcances definidos por el protocolo mediante la introducción de datos sobre consumo energético, transporte, refrigeración y generación de residuos.

Entre sus principales funcionalidades se encuentran la medición de emisiones, la gestión de reducción y mitigación mediante recomendaciones sobre energías renovables o eficiencia logística, la compensación de carbono a través de proyectos certificados de reforestación y energía limpia, y el monitoreo interactivo mediante tableros digitales (“dashboards”) que facilitan la interpretación de resultados. Además, ofrece reconocimientos oficiales como los sellos *Organización Carbono Medida* y *Carbono Neutro*, que pueden ser integrados a las estrategias de sostenibilidad y comunicación corporativa (41,53).

El uso de Carbon Neutral Plus constituye una alternativa viable para las pequeñas y medianas empresas del sector óptico colombiano, ya que no requiere conocimientos técnicos avanzados ni inversión elevada. Su enfoque contextualizado emplea factores de emisión locales expresados en unidades nacionales, mejorando la exactitud del cálculo (41,51). No obstante, la calidad del inventario depende de la precisión y completitud de los datos ingresados, por lo que la capacitación del personal y la verificación de la información son esenciales para garantizar resultados confiables (53).

### **2.4.3 Retos y oportunidades para las MIPYMES**

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), que representan más del 90 % del tejido empresarial latinoamericano, enfrentan limitaciones económicas y técnicas para medir y gestionar su huella de carbono mediante metodologías como el *GHG Protocol* o la norma ISO 14064-1:2018 (41,54). Sin embargo, la disponibilidad de herramientas digitales accesibles, como *Carbon Neutral Plus* en Colombia o *HuellaChile*, ha abierto oportunidades para que sectores como el óptico integren prácticas sostenibles, optimicen el uso de energía y fortalezcan su competitividad ambiental (47,50) En el contexto colombiano, *la Resolución 1447 de 2018* impulsa la elaboración de inventarios corporativos de GEI, lo que permite que las ópticas avancen hacia modelos de gestión ambiental más responsables y alineados con los compromisos nacionales de mitigación climática (49).

## **2.5 Salud Planetaria**

La salud planetaria es un enfoque interdisciplinario que busca integrar la salud humana con la sostenibilidad ambiental, reconociendo que el bienestar de las personas depende de la salud de los ecosistemas (55). Este concepto enfatiza la necesidad de reducir las emisiones de GEI y optimizar el uso de recursos para garantizar un equilibrio entre el desarrollo humano y la preservación del medio ambiente. En la práctica optométrica, la salud planetaria implica adoptar prácticas sostenibles, como el reciclaje de lentes y monturas, el uso de materiales biodegradables y la reducción del consumo energético en consultorios y laboratorios ópticos. Iniciativas como la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables promueven este enfoque, fomentando la implementación de medidas que reduzcan la huella de carbono en el sector salud, incluyendo la optometría (55). La literatura reciente enfatiza que el sector salud global es responsable de

alrededor del 4,4% de las emisiones netas de GEI, lo que equivale a 2 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>e al año, con variaciones significativas entre países (5). La inclusión del concepto de salud planetaria en la formación de profesionales sanitarios se ha identificado como una estrategia clave para reducir este impacto (55).

## **2.6 Sector salud**

El sector salud, aunque esencial para el bienestar humano, genera una huella de carbono significativa debido al uso intensivo de energía, la producción de residuos biomédicos y las actividades logísticas. Estudios han demostrado que los hospitales y clínicas, incluyendo aquellas especializadas en oftalmología, contribuyen al cambio climático mediante el consumo eléctrico de equipos especializados, la climatización y la gestión inadecuada de desechos. En la optometría, la contaminación se deriva principalmente del uso de plásticos desechables, como lentes de contacto, que generan micro plásticos que persisten en el medio ambiente. Un estudio en Estados Unidos estimó que entre 2.900 y 3.100 millones de lentes de contacto se desechan anualmente, contribuyendo a la contaminación por micro plásticos en aguas residuales. Este problema resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión de residuos y reducción de emisiones en el sector salud visual (14).

## **2.7 Sostenibilidad en salud**

La sostenibilidad en la educación en salud busca integrar principios de responsabilidad ambiental en la formación de profesionales, fomentando prácticas que minimicen el impacto ecológico. En el ámbito de la optometría, esto implica capacitar a los profesionales en la gestión eficiente de recursos, el reciclaje de materiales ópticos y la adopción de tecnologías de bajo

consumo energético. Programas educativos que incorporan la sostenibilidad, como los promovidos por la iniciativa “Menos huella, más salud” de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, han demostrado ser efectivos para sensibilizar a los profesionales sobre su rol en la mitigación del cambio climático. La integración de estos principios en los currículos de optometría puede fomentar una nueva generación de profesionales comprometidos con la salud planetaria y la reducción de la huella de carbono en su práctica (8).

Optometry Australia desarrolló un roadmap para la sostenibilidad en la práctica optométrica, analizando la huella de carbono de actividades como consultas, ventas de lentes y gestión de residuos. El estudio identificó que la fabricación y distribución de productos ópticos contribuyen significativamente a las emisiones de Alcance 3, proponiendo estrategias como el uso de materiales biodegradables y la reducción de empaques plásticos. Estas medidas son relevantes para el contexto colombiano, donde la logística de distribución es un factor clave en la huella de carbono de las ópticas (55).

La Agencia Internacional para la Prevención de la Ceguera (IAPB) publicó guías para prácticas sostenibles en salud visual, enfocadas en entornos de bajos ingresos como los de América Latina. El estudio estimó que las consultas optométricas y la producción de lentes generan emisiones significativas debido al consumo energético y los residuos plásticos. Recomienda la adopción de tecnologías de bajo consumo y programas de reciclaje, ofreciendo un marco aplicable a ópticas colombianas para alinear sus prácticas con estándares globales de sostenibilidad (55).

El vínculo entre la huella de carbono corporativa y la optometría radica en sus operaciones diarias: consultas, ventas de productos ópticos y gestión de residuos. Estudios pioneros, como el del Servicio Nacional de Salud (NHS) del Reino Unido, calcularon una huella anual de 135.773

kg CO<sub>2</sub>e en cinco prácticas optométricas, con el transporte (69%), consumo energético (14%) y procedimientos (11%) como principales contribuyentes, según un estudio en el 2020 (13).

Este proyecto busca medir la huella de carbono en ópticas colombianas, identificando fuentes críticas y proponiendo estrategias de mitigación, como el reciclaje de lentes y la optimización energética, para alinear el sector con estándares globales de sostenibilidad, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático (13).

## **2.8 Marco legal**

Esta investigación se enmarca en el área de estudio de la Facultad de Optometría en la Universidad Santo Tomás. La investigación se enfoca en la línea de investigación 4 Salud Colectiva con énfasis en salud visual y ocular del grupo de la investigación GIESVI de la facultad. Para llevar a cabo este trabajo de investigación, es esencial comprender el marco legal que lo rige. En ese sentido, es relevante destacar las siguientes leyes:

### ***2.3.1. Ley 650 de 2001***

Esta ley establece el código de ética profesional para los optometristas. Define la Optometría como una profesión de la salud que requiere una formación universitaria idónea, basada en conocimientos científicos, técnicos y humanísticos. Además de abordar la prevención, promoción y corrección de las enfermedades oculares y del sistema visual a través de exámenes, diagnósticos, tratamientos y manejo, la ley también crea el Consejo Técnico Nacional Profesional de Optometría, encargado de velar por los derechos y deberes de los optometristas.

*Normativa Internacional***2.3.2 La Norma ISO 14064**

Establece requisitos para la cuantificación, monitoreo y reporte de emisiones de GEI, promoviendo la transparencia y la verificación independiente, aplicable a ópticas que buscan cumplir con estándares internacionales (56).

**2.3.3 La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).**

Subraya la huella de carbono como indicador clave para mitigar emisiones en sectores productivos, incluyendo la salud visual (57).

*Normativa Nacional en Colombia***2.3.4 La Constitución Política de Colombia (1991), en sus artículos 79 y 80**

Garantiza el derecho a un ambiente sano y obliga al Estado a promover el manejo sostenible de recursos, sentando las bases para normativas ambientales aplicables a empresas optométricas (58).

**2.3.5 La Ley 1931 de 2018**

Establece directrices para la gestión del cambio climático, promoviendo la integración de acciones de mitigación y adaptación en sectores productivos, incluyendo la salud, mediante la medición de la huella de carbono (32).

**2.3.6 La Ley 2169 de 2021**

Impulsa el desarrollo bajo en carbono, estableciendo metas mínimas de carbono neutralidad y resiliencia climática para entidades públicas y privadas. Esta ley obliga a la elaboración de planes de reducción de GEI, aplicables a ópticas como empresas que generan emisiones indirectas a través de su cadena de suministro y operaciones diarias (33).

### ***2.3.7 La Ley 2427 de 2024***

Incorpora la enseñanza de sostenibilidad ambiental, cambio climático y gestión del riesgo de desastres en la educación, incluyendo la formación en salud visual como la optometría, para fomentar prácticas ecoeficientes en profesionales y empresas (59).

### ***2.3.8 El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible***

Regula la huella de carbono como indicador para cuantificar emisiones GEI en actividades productivas, incluyendo el sector salud, promoviendo su cálculo voluntario, pero incentivando su adopción para cumplir con metas nacionales de reducción (12).

### ***2.3.9 Decreto 1397 de 2016 y la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley 1549 de 2012)***

Promueven la conciencia ambiental en sectores como la optometría, fomentando la formación en sostenibilidad (60,61).

### ***2.3.10 Ley 2169 de 2021***

Hace referencia a toda la normativa que se debe tener en cuenta para la elaboración del documento.

Debe contener en un texto articulado todos aquellos elementos que dan soporte teórico y analítico a la investigación, relacionado con antecedentes (Evolución histórica, normatividad [si es necesaria], Estado del arte (estado del conocimiento [teorías, investigaciones, tesis, etc.])). Igualmente debe hacer las respectivas citaciones de las fuentes que consultó para redactarlo.

### **3. Metodología**

Esta investigación se enmarca en el área Cuidado primario de la salud visual y ocular desde el desarrollo de la optometría basada en la evidencia. Se enfoca en la línea de investigación 4. Mejoramiento, regulación académica y administrativa del grupo de investigación GIESVI.

#### **3.1 Diseño del estudio**

Se empleó un diseño observacional, descriptivo y transversal, orientado a cuantificar la huella de carbono generada por ópticas en diferentes Municipios de Colombia. Este tipo de estudio se considera pertinente, ya que permite analizar la situación ambiental actual del sector óptico sin intervenir en las condiciones operativas de los establecimientos, garantizando la objetividad de los resultados. El carácter observacional posibilitó recopilar información real de las ópticas participantes sin manipular variables, garantizando la objetividad del análisis. A su vez, el enfoque descriptivo permitió caracterizar y comparar las emisiones según los alcances 1, 2 y 3 establecidos por el *GHG Protocol*, aportando una comprensión detallada de las principales fuentes de emisión dentro del contexto optométrico. Finalmente, el diseño transversal facilitó obtener una fotografía precisa del comportamiento ambiental de las ópticas en un periodo determinado, sirviendo como

punto de partida para la formulación de estrategias futuras de mitigación y sostenibilidad ambiental.

### 3.2 Población y muestra

La población objetivo estuvo conformada por 15 ópticas comerciales particulares, ubicadas en al menos cinco ciudades de Colombia: Bogotá, Bucaramanga, Cúcuta, Maicao y Apartadó. Estos establecimientos desarrollan actividades de consulta optométrica, así como la venta de lentes oftálmicos, lentes de contacto y monturas, lo que los caracteriza como servicios ambulatorios del sector salud visual.

La selección de las ópticas se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad de los establecimientos, la accesibilidad a la información operativa requerida y la disposición de los representantes legales para participar en el estudio. Este enfoque fue pertinente para el carácter exploratorio y descriptivo de la investigación, en un contexto con limitada evidencia previa sobre la huella de carbono en el sector óptico, aunque con la limitación de no permitir la generalización de los resultados.

#### *Criterios de inclusión:*

- Ópticas con operaciones activas en 2024.
- Establecimientos con registros operativos verificables (facturas de energía, inventarios, datos de transporte).
- Ópticas con disposición a participar y a firmar consentimiento informado.

#### *Criterios de exclusión:*

- Ópticas sin consultorio optométrico.

### 3.3 Herramienta de recolección de datos

La cuantificación de la huella de carbono se realizó mediante la *calculadora digital Carbón Neutral Plus*, una herramienta gratuita y estandarizada basada en los lineamientos del *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*, adaptada al contexto de la práctica optométrica.

Esta plataforma permite estimar las emisiones de *gases de efecto invernadero (GEI)* expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_2e$ ), considerando tres alcances principales:

- *Alcance 1*: emisiones directas por consumo de combustibles fósiles y uso de refrigerantes.
- *Alcance 2*: emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad.
- *Alcance 3*: emisiones indirectas derivadas de transporte de empleados, distribución de productos, viajes, teletrabajo, gestión de residuos y consumo de insumos de oficina y ópticos.

Adicionalmente, se empleó una *plantilla estructurada de recolección de datos (Apéndice B)*, diseñada por el investigador, que permitió obtener la información necesaria para el cálculo de los tres alcances.

Los formularios autoadministrados recopilaron datos en las siguientes categorías:

- *Consumo energético*: uso mensual de electricidad (kWh), consumo de combustibles en equipos de climatización, refrigeración o vehículos propios.
- *Transporte*: desplazamientos de empleados, movilidad de clientes, distribución de productos y transporte de carga.
- *Gestión de residuos*: generación de desechos comunes y peligrosos (monturas dañadas, lentes de contacto desechados, empaques, papel, plásticos), así como prácticas de reciclaje.

- *Cadena de suministro*: compras de insumos y materiales de apoyo (papelería, botellones de agua, insumos ópticos y de oficina).

### 3.4 Procedimiento recolección de datos

El procedimiento de recolección de datos se estructuró en etapas secuenciales y numeradas para garantizar la trazabilidad del proceso metodológico. En cada fase se relacionaron los instrumentos o anexos empleados, con el fin de asegurar la validez y transparencia en la obtención de la información.

1. *Gestión administrativa para la identificación de las ópticas*:  
Se elaboró un listado preliminar de establecimientos con base a redes de contacto profesional. Esta gestión permitió seleccionar las ópticas que cumplieran con los criterios de inclusión definidos.
2. *Proceso de socialización y firma del consentimiento informado (Apéndice A)*:  
Se contactó a los gerentes o representantes legales de las ópticas seleccionadas mediante correo electrónico y llamadas telefónicas. Durante esta etapa se explicó el propósito del estudio, los beneficios esperados y la confidencialidad de la información, solicitando la firma del consentimiento informado antes de iniciar la recolección de datos. En caso de no obtener respuesta tras tres intentos de contacto realizados en un periodo aproximado de un mes, el establecimiento fue considerado no disponible y se procedió a invitar a otra óptica que cumpliera con los criterios de inclusión. Este procedimiento buscó garantizar la participación voluntaria y mantener el tamaño muestral estimado.
3. *Aplicación del instrumento de recolección (Apéndice B – Guía de aplicación de la herramienta)*: la recolección de información se realizó mediante entrevistas virtuales

estructuradas a través de la plataforma Microsoft Teams. Durante cada sesión, se presentaron a los representantes de las ópticas las preguntas establecidas por la calculadora *Carbon Neutral Plus*, las cuales abarcan aspectos relacionados con consumo energético, transporte, generación de residuos y cadena de suministro. El investigador socializaba y explicaba el contenido de cada pregunta, mientras los participantes respondían de acuerdo con la información disponible en su establecimiento. Paralelamente, el investigador registraba las respuestas directamente en la plataforma *Carbon Neutral Plus*, la cual procesaba los datos y generaba automáticamente los cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este procedimiento permitió estandarizar la recolección de datos y garantizar la validez de los resultados obtenidos para el cálculo de la huella de carbono de cada óptica.

4. *Verificación y validación de los datos:* se realizó una revisión minuciosa de la información para detectar inconsistencias o valores atípicos. Los registros dudosos fueron contrastados con los participantes y corregidos antes del análisis final.
5. *Consolidación de la base de datos y preparación para el análisis:* finalmente, la información fue organizada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, codificada y preparada para su análisis descriptivo y comparativo.

### 3.5 Variables y análisis

**Tabla 1.** *Variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Tipo de establecimiento</b>	Características de las ópticas	Óptica participante que ofrece servicios de consulta	Cualitativa nominal

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Clasificación</b>
		optométrica, venta de lentes oftálmicos, lentes de contacto y monturas	
<b>Municipio de ubicación</b>	Localización geográfica de la óptica	Municipio en la que opera la óptica (Bogotá, Bucaramanga, Cúcuta, Maicao, Apartadó, Antioquia Piedecuesta.)	Cualitativa nominal
<b>Número de empleados</b>	Cantidad de personal contratado en la óptica	Registro del número de empleados de cada establecimiento	Cuantitativa discreta
<b>Consumo energético (Alcance 2)</b>	Energía utilizada en el funcionamiento de la óptica	Consumo mensual/anual de electricidad (kWh) y uso de combustibles en equipos de climatización o refrigeración	Cuantitativa continua
<b>Emisiones directas (Alcance 1)</b>	Emisiones generadas por fuentes propias de la óptica	Uso de combustibles fósiles en vehículos propios, consumo de gas natural, fugas de refrigerantes	Cuantitativa continua
<b>Transporte (Alcance 3)</b>	Movilidad asociada a la operación de la óptica	Desplazamientos de empleados (km recorridos/mes), transporte de carga compartida o particular, movilidad de clientes, viajes en avión	Cuantitativa continua / Cualitativa nominal (tipo de transporte)
<b>Gestión de residuos (Alcance 3)</b>	Manejo de desechos sólidos y peligrosos generados en la práctica optométrica	Registro de residuos generados (kg/mes) como lentes de contacto desechados, empaques, monturas dañadas, papel y plásticos, además de la existencia de prácticas de reciclaje	Cuantitativa continua (kg) / Cualitativa nominal (reciclaje: sí/no)
<b>Cadena de suministro (Alcance 3)</b>	Compras y servicios que generan emisiones indirectas	Registro de consumo anual de materiales (papelería, botellones de agua, insumos de oficina y ópticos) y frecuencia de compras	Cuantitativa continua (unidades/año) / Cualitativa nominal (tipo de insumo)
<b>Huella de carbono total</b>	Emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente	Cálculo consolidado de emisiones de la óptica sumando Alcances 1, 2 y 3	Cuantitativa continua (tCO <sub>2</sub> e)

**3.6 Análisis de datos**

El análisis de datos se realizó en dos partes:

Descriptiva: Se describieron las características generales de la muestra y se presentaron los resultados de la huella de carbono en términos de medianas y rangos.

Comparativa: Se analizaron diferencias entre ciudades y se contrastaron los resultados con valores de referencia reportados en estudios del sector salud, en particular ópticos.

**Tabla 2.** *Variables y análisis*

<b>Tipo de variable</b>	<b>Variables asociadas</b>	<b>Tipo de análisis aplicado</b>	<b>Descripción del análisis</b>
<b>Cualitativas</b>	Municipio de ubicación	Análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes)	Se calcularon frecuencias absolutas y relativas para describir la distribución de las categorías.
<b>Cuantitativas discretas</b>	Número de empleados	Medidas de tendencia central y dispersión	Se calcularon medias, medianas, rangos y desviación estándar.
<b>Cuantitativas continuas</b>	Temperatura, vehículos propios, equipos propios, gas natural refrigerantes. Transporte de carga compartida, particular y pasajeros (km recorridos), viajes en avión, trabajo remoto, Disposición de residuos, materiales y servicios. total de Huella de carbono (tCO <sub>2</sub> e) y de alcance 1,2 y 3.	Análisis descriptivo y comparativo	Se estimaron medianas y rango intercuartil;

Respecto al análisis bivariado se compararon los resultados de los totales de los alcances por ciudad.

### 3.7 Sesgos

#### 3.7.1 Control de sesgos y limitaciones del análisis

Durante el desarrollo del estudio se consideraron posibles *errores sistemáticos (sesgos)* que podrían afectar la validez de los resultados:

- *Sesgo de selección:* la muestra se obtuvo mediante un muestreo *no probabilístico por conveniencia*, dado que la participación de las ópticas dependió de su disposición y respuesta a los contactos realizados. Esto pudo limitar la representatividad del conjunto de establecimientos respecto al total de ópticas del país.
- *Sesgo de información:* los datos se basaron en la información reportada por los administradores o gerentes de las ópticas, complementada con facturas y registros operativos. Aunque se procuró validar la coherencia de los datos, es posible que existan errores por subregistro o sobreestimación en algunos indicadores, como consumo energético o transporte.
- *Sesgo de confusión:* algunas variables externas, como la estacionalidad del consumo energético, la ubicación geográfica o el tamaño del establecimiento, no fueron controladas de manera explícita y podrían influir en las diferencias observadas entre ciudades.

## 4. Resultados

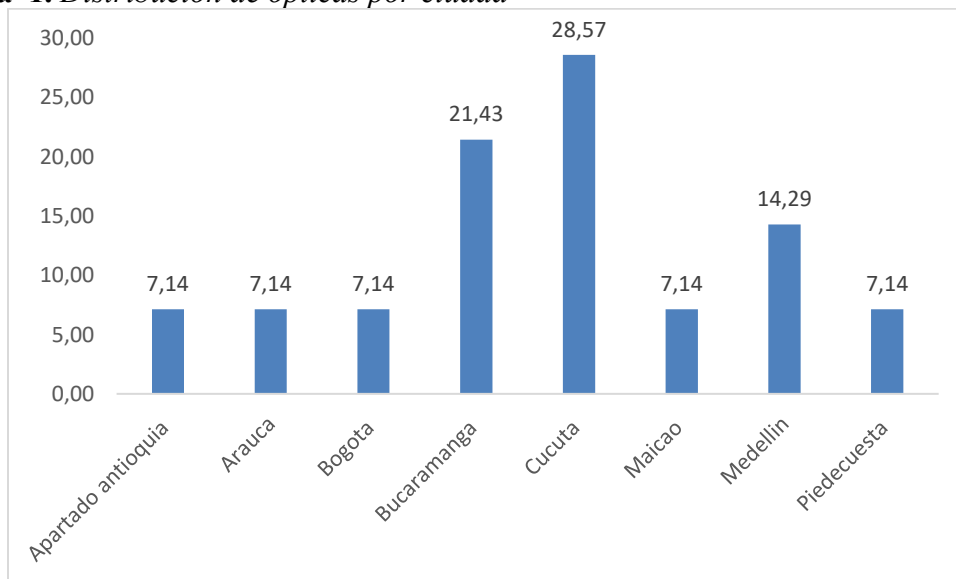
La huella de carbono corporativa en ópticas de diferentes municipios de Colombia en el año 2024 fue de 57.04 tCO<sub>2</sub>e. Del total de emisiones, el Alcance 1 representó la mayor contribución, con 42,62 tCO<sub>2</sub>e, lo que equivale al 74,8 % de la huella total, asociada principalmente a emisiones fugitivas provenientes del uso de refrigerantes y extintores. Los refrigerantes

identificados con mayor fue R-410A. No se registraron emisiones por combustión móvil ni por el uso de gases medicinales.

El Alcance 2, correspondiente al consumo de energía eléctrica, aportó 6,27 tCO<sub>2</sub>e, equivalente al 11,0 % de la huella de carbono corporativa. Por su parte, el Alcance 3 generó 8,15 tCO<sub>2</sub>e, lo que corresponde al 14,3 % del total, atribuible principalmente a los traslados del personal, el transporte de pacientes y los viajes asociados a actividades laborales.

En el estudio participaron 14 ópticas de diferentes municipios de Colombia, Cúcuta fue quien tuvo una mayor participación de 28,57 (4 ópticas), seguido de Bucaramanga con 21,43 (3 ópticas) (ver Figura 1).

**Figura 1.** Distribución de ópticas por ciudad



Al analizar las variables incluidas en el estudio, se identificó que ninguna presentó distribución normal, lo cual se evidenció por los valores de los coeficientes de curtosis y asimetría. En todos los casos, estos coeficientes superaron los rangos esperados para una distribución normal, indicando colas más pesadas y asimetrías marcadas tanto hacia la derecha como hacia la izquierda. Por este motivo, inicialmente se consideró utilizar medidas de tendencia central no paramétricas.

Sin embargo, debido a que en varias variables la mediana registró valores iguales a cero o cercanos a cero, lo que dificultaba el cálculo y la interpretación del rango intercuartil, se optó por reportar la media y desviación estándar en esos casos (ver Tabla 3).

En cuanto a las variables evaluadas, el número de empleados presentó una distribución aproximadamente simétrica, con una ligera tendencia hacia valores superiores, y una mediana de 2 (RI: 2–3). Esto sugiere que la mayoría de las ópticas cuentan con pocos empleados, aunque existen algunos casos con valores mayores (ver Tabla 3).

En las variables asociadas al uso de vehículos propios, refrigerantes y el total del alcance 1 (emisiones directas), se evidenciaron distribuciones marcadamente asimétricas hacia valores altos, con una alta concentración de observaciones en los rangos bajos y la presencia de pocos casos con emisiones considerablemente mayores, lo que indica una heterogeneidad importante entre las ópticas evaluadas (ver Tabla 3).

Para el consumo eléctrico y el total del alcance 2, tanto la curtosis como la asimetría fueron similares (1,13 y 1,09), con medianas bajas (0,37; RI: 0,21–0,67). En horas de energía (kW) se identificó igualmente un comportamiento no normal (curtosis 1,13; asimetría 1,09) con una mediana de 2912 kW (RI: 1716–5355) (ver Tabla 3).

En el caso de las variables relacionadas con movilidad y actividades laborales, el transporte de pasajeros presentó una curtosis de 1,58 y una asimetría de 1,13, mientras que el trabajo remoto mostró valores muy elevados de curtosis (14) y asimetría (3,74), reflejando una distribución altamente dispersa y concentrada en valores mínimos (mediana: 0,0042). De manera similar, la disposición de residuos presentó una curtosis de 10,56 y asimetría de 3,20, con medianas muy bajas, lo que indica alta variabilidad y predominio de valores cercanos a cero (ver Tabla 3).

Finalmente, en los materiales se encontró una curtosis negativa (-0,35) y una asimetría de 0,78, con una mediana de 0,02 (RI: 0–0,032), mientras que el total del alcance 3 presentó curtosis de 1,47 y asimetría de 1,08, con una mediana de 0,55 (RI: 0,18–0,79), confirmando también su distribución no normal (ver Tabla 3).

En conjunto, estos resultados ratifican que las variables relacionadas con la cuantificación de la huella de carbono presentan comportamientos heterogéneos y sesgados, típicos de los datos ambientales y de actividades operativas en ópticas (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Resultados de estadística descriptiva para variables a considerar en la estimación de la huella de carbono corporativa

<b>Variable</b>	<b>Coefficiente Curtosis</b>	<b>Coefficiente Asimetría</b>	<b>Mediana</b>	<b>Rango intercuartil</b>
<b>Numero de empleados</b>	0,10	0,69	2	2-3
<b>vehículos Propios</b>	5,6	2,3	0,13	0-0,40
<b>Refrigerantes</b>	4,55	1,96	1,92	0,72-4,13
<b>Total, de alcance 1</b>	5,02	2,13	1,95	1,22-4,18
<b>Consumo eléctrico</b>	1,13	1,09	0,37	0,21-0,67
<b>kW</b>	1,13	1,09	2912	1716-5355
<b>Total, alcance 2</b>	1,13	1,09	0,37	0,21-0,67
<b>Transporte Pasajeros</b>	1,58	1,13	0,52	0,15-0,75
<b>Trabajo Remoto</b>	14	3,74	0,0042 <sup>a</sup>	0,016 <sup>b</sup>
<b>Disposición de residuos</b>	10,56	3,20	0,005 <sup>a</sup>	0,016 <sup>b</sup>
<b>Materiales</b>	-0,35	0,78	0,02	0-0,032
<b>Total, de alcance 3</b>	1,47	1,08	0,55	0,18-0,79

a. Media b. Desviación estándar

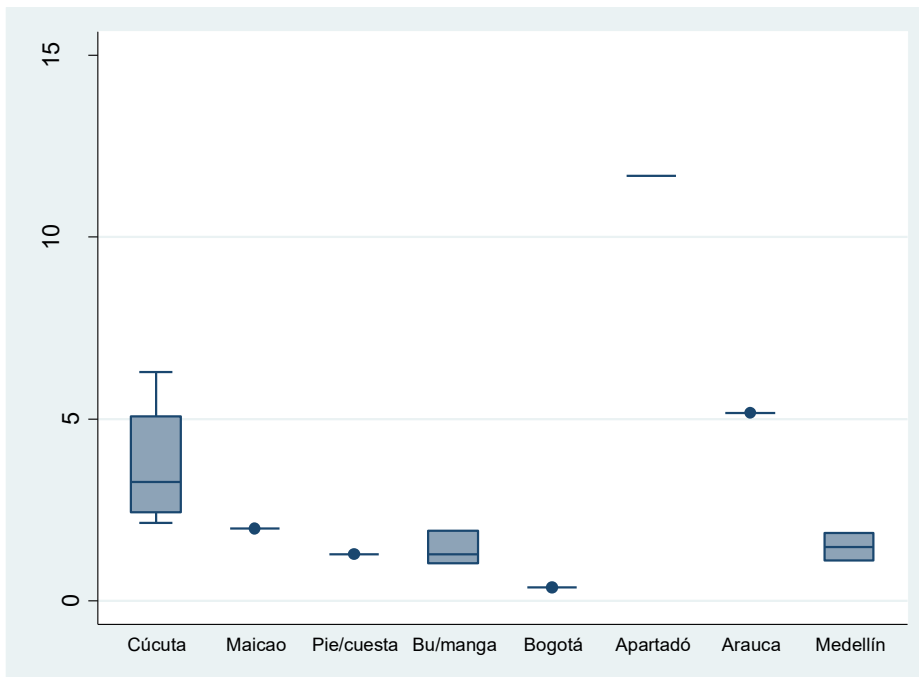
El análisis gráfico del Total del Alcance 1 (emisiones directas) muestra una variabilidad marcada entre ciudades, con diferencias claras en la magnitud de las emisiones. Se observa que Cúcuta presenta la mayor dispersión en los valores del alcance 1 y las emisiones más altas dentro del grupo, con un rango amplio y presencia de valores atípicos superiores. Esto indica que en esta ciudad existen ópticas con niveles de emisiones directas más altos que el resto.

En contraste, Maicao, Piedecuesta, Bucaramanga, Bogotá y Apartadó muestran valores muy bajos y homogéneos, que se evidencia en cajas estrechas, que evidenciar que la mayoría de las ópticas de estas ciudades tienen emisiones directas mínimas.

En el caso de Arauca se observa un valor fijo elevado en comparación con ciudades de bajo nivel, lo cual sugiere que las ópticas evaluadas allí tienen mayores consumos o actividades directas generadoras de GEI. Mientras que, Medellín registra un nivel medio-bajo, con una variabilidad moderada.

En conjunto, el gráfico evidencia que las emisiones del Alcance 1 no son uniformes entre ciudades, y que estas diferencias se relacionan con condiciones operativas particulares, como el uso de refrigerantes, vehículos propios o necesidades energéticas directas. La heterogeneidad observada respalda los hallazgos previos sobre la ausencia de normalidad en estas variables y confirma la presencia de distribuciones asimétricas, especialmente en ciudades con valores elevados.

**Figura 2.** Variaciones del alcance 1 por ciudad



El análisis del Total del Alcance 2 (emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico) muestra diferencias claras entre ciudades, aunque con menor dispersión que en el alcance 1, lo cual indica un patrón más uniforme en el uso energético de las ópticas.

En este alcance Cúcuta presenta la mayor variabilidad, con un rango moderado de valores que refleja diferencias entre establecimientos en cuanto al consumo de energía eléctrica. Aunque la dispersión es notable, los valores se mantienen dentro de un nivel medio, sin alcanzar extremos altos.

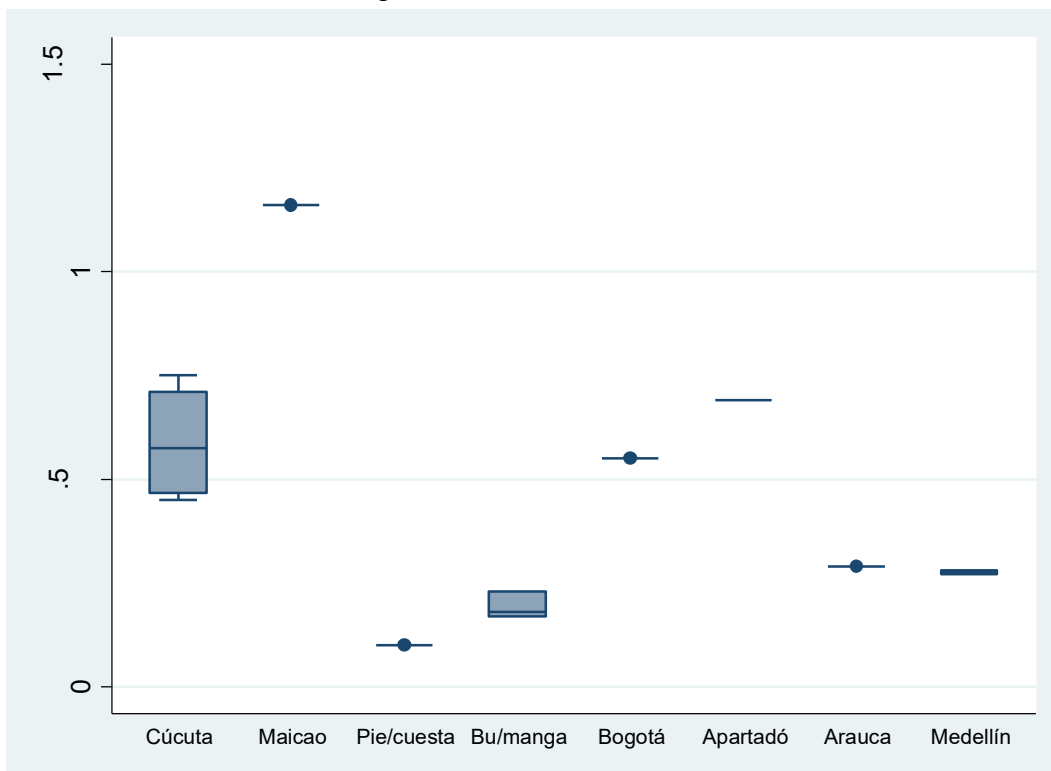
Por su parte, Maicao registra uno de los valores más altos y estables del alcance 2. Al tratarse de un punto único sin dispersión, sugiere que las ópticas evaluadas allí tienen consumos energéticos similares y relativamente elevados en comparación con otras ciudades.

En el caso de Piedecuesta muestra un valor muy bajo y sin variación, lo que indica un consumo energético mínimo y homogéneo entre las ópticas. Similar a Bucaramanga que presenta valores bajos, pero con una dispersión moderada, lo cual refleja diferencias leves entre

establecimientos, aunque en niveles reducidos. Mientras que, Bogotá muestra un valor intermedio, cercano a 0.55 aproximadamente, reflejando una demanda energética moderada, y Apartadó registra un valor fijo y relativamente alto dentro del rango observado, lo que evidencia consumos mayores en comparación con ciudades como Piedecuesta y Bucaramanga.

Arauca y Medellín presentan valores bajos y estables, lo que indica consumos indirectos reducidos y homogéneos.

**Figura 3.** Variaciones del alcance 2 por ciudad



Alcance 3 (emisiones indirectas: transporte, residuos, materiales y trabajo remoto)

El análisis del Total del Alcance 3 revela diferencias marcadas entre las ciudades, con una mayor dispersión que la observada en el alcance 2, lo que evidencia patrones heterogéneos en las actividades indirectas asociadas a la operación de las ópticas.

En este alcance, Cúcuta presenta una variabilidad notable, con un rango amplio de valores que va desde cifras cercanas a 0 hasta aproximadamente 0.8. Esto refleja diferencias importantes entre establecimientos en cuanto a prácticas de transporte, manejo de residuos y uso de materiales, lo que se traduce en emisiones indirectas heterogéneas.

Por su parte, Maicao registra un valor único y estable, alrededor de 0.4, sin dispersión, lo que sugiere que las ópticas evaluadas en esta ciudad presentan comportamientos operativos similares en relación con sus emisiones indirectas.

En el caso de Piedecuesta, se observa uno de los valores más altos del alcance 3, cercano a 1.8, lo que indica que las emisiones asociadas a movilidad, materiales y residuos son considerablemente superiores en comparación con las demás ciudades analizadas.

De manera similar a Bucaramanga en el alcance 2, Bucaramanga en el alcance 3 muestra una dispersión moderada, con valores que oscilan aproximadamente entre 0.3 y 0.8, lo que evidencia diferencias internas entre ópticas, aunque dentro de un rango medio de emisiones indirectas.

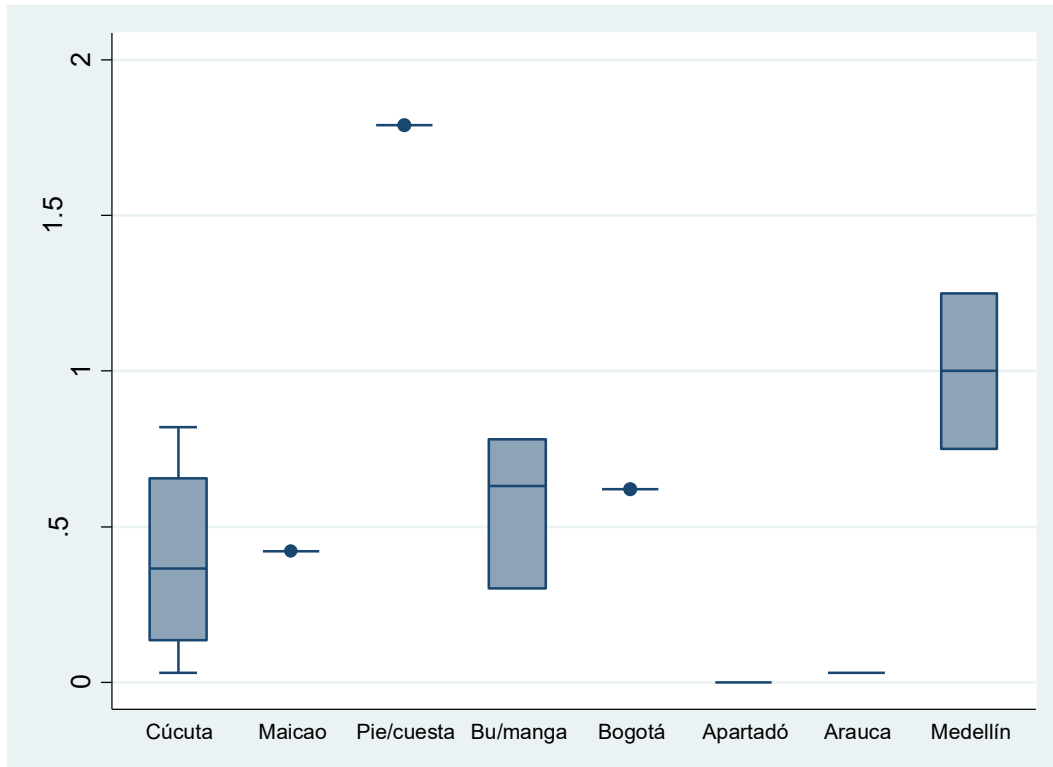
Por su parte, Bogotá presenta un valor intermedio, cercano a 0.6, con baja variabilidad, lo que refleja patrones relativamente uniformes en las actividades indirectas de las ópticas de la capital.

En contraste, Apartadó y Arauca registran valores muy bajos y estables, cercanos a 0, lo que indica emisiones reducidas asociadas a desplazamientos, uso de materiales y generación de residuos, posiblemente relacionadas con un menor volumen de atención o menores requerimientos logísticos.

Finalmente, Medellín destaca por presentar uno de los rangos más amplios y valores más altos, que oscilan entre aproximadamente 1.0 y 1.8, evidenciando una marcada heterogeneidad

entre establecimientos y una mayor intensidad de actividades indirectas que contribuyen a la huella de carbono (ver Figura 4).

**Figura 4.** Variaciones alcance 3 por ciudad



### 5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian una marcada heterogeneidad en la huella de carbono corporativa de las ópticas analizadas en diferentes ciudades, así como variaciones importantes entre los alcances 1, 2 y 3. Este comportamiento no sólo confirma la complejidad inherente a la medición de emisiones en establecimientos de salud, sino que también se alinea con la literatura especializada, la cual indica que las actividades clínicas y administrativas generan emisiones diversas y distribuidas de manera desigual según el tipo de operación, el contexto geográfico y los patrones de consumo (1).

El Alcance 1, correspondiente a emisiones directas relacionadas con el uso de refrigerantes, combustibles y vehículos propios, mostró diferencias notables entre ciudades. Ciudades como Cúcuta presentaron valores altos y dispersos, mientras que otras como Maicao, Piedecuesta o Bucaramanga registraron valores mínimos. Este patrón coincide con lo reportado por Keil et al., quienes señalan que el sector salud suele presentar variabilidad marcada en fuentes directas de emisión debido al tipo de infraestructura, la climatización y el nivel de actividad operativa (2,62)

La literatura indica que las emisiones derivadas del uso de refrigerantes representan uno de los factores más desiguales entre centros de salud, especialmente en regiones cálidas donde la demanda de refrigeración es mayor. Esto ayuda a interpretar por qué ciudades con climas cálidos muestran mayores valores de Alcance 1. Asimismo, los resultados de este estudio coinciden con revisiones que sugieren que las emisiones directas son altamente sensibles a la antigüedad de los equipos, el tipo de gas con que se cargan y al uso de aire acondicionado, elementos frecuentemente subestimados en mediciones corporativas (63).

El Alcance 2, asociado al consumo de energía eléctrica, presentó una variabilidad menor que el Alcance 1. Este comportamiento es consistente con estudios internacionales donde se documenta que el consumo eléctrico suele mantenerse relativamente uniforme dentro de establecimientos de características similares y con requerimientos energéticos estables (5), asociados principalmente a iluminación uso de equipos básicos y sistemas de apoyo administrativo(4). Sin embargo, ciudades como Maicao y Apartadó mostraron valores superiores, lo que podría estar relacionado con una mayor demanda de sistemas de iluminación y climatización más intensivos debido a las condiciones climáticas locales (64).

Los hallazgos coinciden con lo planteado por Buchan et al., quienes reportan que los servicios de atención visual dependen significativamente de equipos eléctricos y sistemas de iluminación que, dependiendo de la intensidad de uso, pueden aumentar la huella energética (65).

El Alcance 3, que incluye transporte, residuos, materiales y actividades indirectas, presentó una mayor variabilidad interciudad y una distribución intermedia. Este comportamiento concuerda con el estudio desarrollado para consultorios de optometría en Reino Unido, donde se documentó que el transporte de pacientes, el personal y la entrega de materiales representan entre el 50 % y 75 % de las emisiones en servicios ópticos y oftálmicos. Asimismo, estos hallazgos son coherente con la evidencia global para el sector salud, donde se ha identificado que la mayor proporción de la huella climática proviene de actividades indirectas relacionadas con la cadena de suministro, la movilidad y el consumo de bienes y servicios. En este sentido, el informe *Huella climática del sector de la salud: cómo contribuye el sector de la salud a la crisis climática global* destaca que el Alcance 3 puede representar más del 70 % de las emisiones totales del sector salud (5,66). No obstante en el presente estudio, su peso relativo puede estar influenciado por limitaciones en la disponibilidad y trazabilidad de la información, especialmente en variables como el transporte de pacientes y la cadena de suministros, por lo que la estimación del alcance 3 debe interpretarse como conservadora, lo que su vez contribuye a explicar la elevada heterogeneidad observada entre ciudades.

Las ciudades con valores más altos en este estudio, como Piedecuesta y Medellín, reflejan estructuras logísticas más intensas, probablemente asociadas con mayor movilidad o mayor uso de materiales clínicos. Este comportamiento también coincide con estudios sobre servicios de salud ambulatorios, que destacan que las actividades indirectas son las menos controladas y, paradójicamente, las que más aportan a la huella total(5). Por otro lado, ciudades como Apartadó

o Arauca, con valores cercanos a cero, pueden representar establecimientos con menor volumen operativo o con cadenas de suministro más cortas. Sin embargo, este tipo de hallazgos debe interpretarse con cautela, pues el Alcance 3 es la categoría metodológicamente más compleja y susceptible a subregistros (66).

Aunque el presente estudio se enfoca en huella corporativa y no en huella individual, la comparación con referencias nacionales e internacionales es relevante. La huella promedio per cápita en Colombia para el 2024 fue de 1.75 tCO<sub>2e</sub> (67), Mientras que en regiones como Estados Unidos las emisiones per cápita superan las 15 tCO<sub>2e</sub> por persona al año, en Colombia las emisiones per cápita para el año 2024 se sitúan en valores considerablemente más bajos. Estas comparaciones permiten contextualizar los resultados obtenidos y evidencian que, si bien la huella de carbono asociada a los servicios ópticos puede ser menor en comparación con contextos altamente industrializados, sigue siendo significativa dentro del marco general de emisiones del sector salud (68).

Los compromisos climáticos globales como el Acuerdo de París proponen metas de reducción que implicarían llevar la huella individual a 2 tCO<sub>2e</sub>, lo que presenta un desafío importante para servicios ambulatorios como las ópticas, cuyo impacto está fuertemente condicionado por el transporte y el uso de materiales desechables (69).

Este estudio, aunque robusto en alcance, presenta limitaciones asociadas a la disponibilidad de datos indirectos, particularmente aquellos relacionados con cadenas de suministro, transporte de pacientes y generación de residuos. Estas limitaciones son ampliamente reconocidas en la literatura sobre huella de carbono en salud (62,70). Por ello, futuras investigaciones podrían incorporar modelos de análisis de ciclo de vida (LCA) o herramientas híbridas que permitan medir con mayor precisión el impacto ambiental del sector óptico (71,72).

En este estudio, varias medianas registraron valores cercanos o iguales a cero, como en las variables de trabajo remoto, disposición de residuos y ciertos componentes del alcance 3. Este patrón sugiere la presencia de distribuciones con exceso de ceros (*zero-inflated*), un fenómeno también documentado en investigaciones ambientales donde la actividad o uso de ciertos recursos puede ser mínima o inexistente en algunos establecimientos (6,70,71).

En conjunto, los hallazgos de este estudio evidencian que la huella de carbono corporativa de las ópticas analizadas responde a una dinámica compleja y heterogénea, determinada por factores operativos, logísticos y contextuales propios de cada ciudad. La marcada variabilidad observada entre los alcances, particularmente el predominio del Alcance 3, pone de manifiesto que las principales fuentes de emisión se encuentran en actividades indirectas tradicionalmente menos gestionadas, como el transporte, la cadena de suministro y el uso de materiales clínicos. Estos resultados refuerzan la necesidad de integrar la medición de la huella de carbono como una herramienta estratégica de gestión ambiental en los servicios ópticos, permitiendo no solo identificar oportunidades de mitigación, sino también orientar la toma de decisiones institucionales hacia modelos de atención más sostenibles. Asimismo, las limitaciones metodológicas identificadas subrayan la importancia de avanzar hacia enfoques más integrales, como el análisis de ciclo de vida, que contribuyan a una estimación más precisa y comparable de las emisiones. En este contexto, el presente estudio aporta evidencia relevante para el sector óptico y sienta una base sólida para el desarrollo de políticas ambientales y futuras investigaciones orientadas a la reducción del impacto climático en los servicios de salud ambulatorios.

## 6. Conclusiones

El presente estudio permitió determinar la huella de carbono corporativa asociada a la práctica optométrica en grupos de ópticas ubicadas en diferentes ciudades del país durante el año 2024, evidenciando que, aun tratándose de servicios ambulatorios de pequeña escala, su impacto ambiental resulta relevante dentro del sector salud. Sin embargo, la estimación obtenida debe interpretarse como conservadora, debido a la imposibilidad de incorporar de manera específica las emisiones derivadas del traslado de los pacientes, lo que implica una subestimación del impacto real, particularmente en las actividades indirectas.

La caracterización de las ópticas participantes permitió establecer que la mayoría corresponde a microempresas, con estructuras organizacionales reducidas y recursos limitados para la gestión ambiental. Esta condición influye en los patrones de consumo, en la sistematización de la información y en la adopción de prácticas formales de sostenibilidad, lo que evidencia la necesidad de estrategias ambientales adaptadas a la realidad operativa del sector óptico.

El análisis de los alcances mediante la plataforma Carbón Neutral Plus permitió identificar que el Alcance 3 constituye el principal componente de la huella de carbono corporativa en la práctica optométrica, superando a las emisiones directas y al consumo de energía eléctrica. Este resultado confirma que las actividades indirectas, como el transporte, el uso de materiales clínicos y la gestión de residuos, representan el mayor reto para la mitigación de emisiones y deben ser priorizadas en las acciones de reducción del impacto ambiental.

Los hallazgos del estudio ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los procesos de clasificación, separación y disposición de los residuos derivados de la práctica optométrica, así como de mejorar los sistemas de registro y seguimiento de las actividades indirectas. El abordaje

de estos aspectos resulta fundamental para avanzar hacia estimaciones más precisas de la huella de carbono corporativa y para promover modelos de atención visual más sostenibles.

Desde una perspectiva académica y profesional, esta investigación contribuye a la generación de conocimiento aplicado en un campo aún poco explorado, como lo es la huella de carbono en el sector óptico, aportando evidencia que puede servir de referencia para futuras investigaciones y para la formulación de políticas ambientales en instituciones de educación superior y en servicios de salud. En este sentido, los resultados refuerzan la pertinencia de incorporar la sostenibilidad ambiental como un eje transversal en la gestión y planificación de los servicios ópticos, alineando las prácticas institucionales con los compromisos globales de mitigación del cambio climático y con los principios de responsabilidad social propios del sector salud.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda a las ópticas participantes fortalecer los sistemas de registro y monitoreo de información relacionada con el consumo energético, el uso de refrigerantes, los materiales clínicos y las actividades de transporte, con el fin de mejorar la precisión en la estimación de la huella de carbono corporativa y reducir el riesgo de subestimación de las emisiones, especialmente en el Alcance 3.

Es fundamental promover la implementación de estrategias de movilidad sostenible, tales como el fomento del transporte compartido, la optimización de rutas de proveedores y la articulación con sistemas de transporte público, con el propósito de mitigar el impacto ambiental asociado a las actividades indirectas que representan el mayor aporte a la huella de carbono en la práctica optométrica.

Se recomienda mejorar los procesos de clasificación, separación y disposición final de los residuos generados en la práctica optométrica, mediante la adopción de protocolos claros de gestión de residuos, la capacitación del personal y el fortalecimiento de alianzas con gestores autorizados, contribuyendo así a la reducción de emisiones indirectas y al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Desde el ámbito institucional y académico, se sugiere incorporar la medición de la huella de carbono corporativa como una herramienta permanente de gestión ambiental en los servicios de salud ambulatorios, así como integrar contenidos de sostenibilidad ambiental en los programas de formación en optometría, con el fin de fomentar una cultura organizacional orientada a la responsabilidad ambiental.

Para futuras investigaciones, se recomienda la aplicación de metodologías más integrales, como el análisis de ciclo de vida o enfoques híbridos, que permitan una estimación más completa del impacto ambiental del sector óptico, incluyendo variables no abordadas en el presente estudio, como el transporte de pacientes y la trazabilidad de la cadena de suministro.

Finalmente, se sugiere ampliar el alcance de estudios similares a otras regiones del país y a diferentes servicios ambulatorios del sector salud, con el fin de fortalecer la comparabilidad de resultados y generar evidencia que contribuya a la formulación de políticas públicas y estrategias sectoriales orientadas a la mitigación del cambio climático.

### Referencias

1. Health Care Without Harm, Arup. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action [Internet]. 2019 [citado 22 sep 2025]. Disponible en: <https://noharm-global.org/documents/health-care-climate-footprint-report>.
2. Keil, M., et al. (2024). Carbon footprint of healthcare systems: a systematic review. *BMJ Open* / PubMed Central. Recuperado de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11086491/>.
3. Salud sin daño (2021). Proyectos demostrativos de eficiencia energética con enfoque en refrigeración en establecimientos de salud de Argentina, China y Filipinas: Informe final. [Internet] Revisado 10 de marzo 2025. Disponible en: [https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/7165/HCWH-KCEP\\_brochure-ES\\_final.pdf](https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/7165/HCWH-KCEP_brochure-ES_final.pdf).
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Transforming healthcare delivery to reduce emissions in the health system: Decarbonising Health Systems Across OECD Countries. OECD Publishing; 2024. Disponible en: [https://www.oecd.org/en/publications/decarbonising-health-systems-across-oecd-countries\\_5ac2b24b-en/full-report/transforming-healthcare-delivery-to-reduce-emissions-in-the-health-system\\_43078325.html](https://www.oecd.org/en/publications/decarbonising-health-systems-across-oecd-countries_5ac2b24b-en/full-report/transforming-healthcare-delivery-to-reduce-emissions-in-the-health-system_43078325.html).

5. Health Care Without Harm; Arup. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action [Internet]. Reston (VA): Health Care Without Harm; 2019 [citado 2025 ago 14]. Disponible en: <https://noharm-global.org/documents/health-care-climate-footprint-report>.
6. Rodríguez-Jiménez L, Romero-Martín M, Spruell T, Steley Z, Gómez-Salgado J. The carbon footprint of healthcare settings: A systematic review. J Adv Nurs. agosto de 2023;79(8):2830-44.
7. Karliner, J; Slotterback, S, Boyd, R, Ashby, B y Steele, K. (2019). Salud sin Daño y ARUP. Serie Cuidado de la salud climáticamente inteligente Libro Verde Número Uno. <https://lac.saludsindanio.org/media/4362/download?inline=1>.
8. Red Global de Hospitales Verdes. Menos huella mas salud [Internet]. Citado el 6 de marzo de 2025. Disponible en: <https://hospitalesporlasaludambiental.org/huella>.
9. Cambio Climático y Salud. [Internet] Organización Panamericana de la Salud. Consultado del 1 de marzo de 2025. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>.
10. Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [Internet]. United Nations Climate Change. Citado el 2 octubre 2024. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>.
11. Jancovici J. M. Un outil pour connaître les émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise ou administration : le «bilan carbone» de l'ADEME, 2003. Disponible en [http://www.manicore.com/missions/bilan\\_carbone.html](http://www.manicore.com/missions/bilan_carbone.html). Acceso : 13 marzo 2025.
12. Ministerio de medio ambiente. Qué es el cambio climático? {interne}. Cambio climático y gestión de riesgo. Citado el 5 de marzo 2025. Disponible en:

<https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/que-es-el-cambio-climatico/#tabs-1>.

13. Hillson R; Steinbach I; Bagdai R. (2022). The Annual Carbon Footprint of NHS Sight Tests at Five Optometry Practices. [citado 10 de septiembre de 2024]; Disponible en: [https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/sites/default/files/resources/The%20Annual%20Carbon%20Footprint%20of%20NHS%20Sight%20Tests%20at%20Five%20Optometry%20Practices\\_1.pdf](https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/sites/default/files/resources/The%20Annual%20Carbon%20Footprint%20of%20NHS%20Sight%20Tests%20at%20Five%20Optometry%20Practices_1.pdf).
14. Rolsky C, Kelkar VP, Halden RU. Nationwide Mass Inventory and Degradation Assessment of Plastic Contact Lenses in US Wastewater. *Environ Sci Technol*. 6 de octubre de 2020;54(19):12102-8.
15. Contact lenses and the environment. [Internet] My visión .org. 2022.Consultado el 3 de marzo de 2025. Disponible en: <https://myvision.org/education/contact-lenses-and-the-environment/>.
16. Salud sin Daño (Health Care Without Harm). Cierre del proyecto de estimación de línea base de emisiones del sector salud en Colombia [Internet]. 2024 [citado 22 sep 2025]. Disponible en: <https://saludsindanio.org/cierre-proyecto-colombia>.
17. Marquez Prada MJ, Castro Rico LJ (2021) Revisión del estado del arte del transporte público colectivo en Bucaramanga y su Área Metropolitana. [Internet] Consultado en septiembre 2024. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/items/51354876-a933-4adf-b41c-1fa353cc7e31>.
18. Cruz, Y. B. (2020). Determinacion de la Huella de Carbono en los Procesos Generados en la E.S.E Hospital San Juan de Dios de Pamplona, Norte de Santander. Pamplona, Norte de Santander.
19. Helmers E, Chang CC, Dauwels J. Carbon footprinting of universities worldwide: Part I—objective comparison by standardized metrics. *Environ Sci Eur*. diciembre de 2021;33(1):30.

20. Sanitas. Salud del planeta. [Internet]. Consultado el 7 de marzo de 2025. Disponible en: <https://corporativo.sanitas.es/sostenibilidad/salud-del-planeta/>.
21. AIMPLAS. Aprovecha las oportunidades de la huella de carbono corporativa [Internet]. Valencia: AIMPLAS; 9 de noviembre de 2017 [citado 5 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.aimplas.es/blog/aprovecha-las-oportunidades-de-la-huella-de-carbono-corporativa/>.
22. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas, Revisión 4 adaptada para Colombia (CIIU Rev. 4 A.C.). Bogotá: DANE; 2022 [Internet]. [citado 2025 oct 3]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/sen/nomenclatura/ciiu/CIIU\\_Rev\\_4\\_AC2022.pdf](https://www.dane.gov.co/files/sen/nomenclatura/ciiu/CIIU_Rev_4_AC2022.pdf).
23. Congreso de la República de Colombia. Ley 905 de 2004. Por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 45.628; 2004 [Internet]. Bogotá: Función Pública; citado 3 oct 2025. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=14501>.
24. Congreso de la República de Colombia. Ley 590 de 2000. Por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas. Diario Oficial No. 44.078; 2000 [Internet]. Bogotá: Función Pública; citado 3 oct 2025. Disponible en: [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=12672&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=12672&utm_source=chatgpt.com).
25. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT). Informe de caracterización empresarial y competitividad de las MIPYMES en Colombia. Bogotá: MinCIT; 2022.

26. República de Colombia. Decreto 351 de 2014. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Ministerio de Salud y Protección Social. Bogotá; 19 feb 2014. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Decreto%200351%20de%202014.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Decreto%200351%20de%202014.pdf).
27. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. RESPEL — Gestión de residuos peligrosos. Página oficial. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-peligrosos/>.
28. Secretaría Distrital de Ambiente – Bogotá. Inventario de emisiones de gases efecto invernadero 2022 (datos sobre participación del transporte y dinámica urbana). Disponible en: [https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset\\_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/inventario-de-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-2022-mostro-una-reduccion-de-19-8-](https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/inventario-de-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-2022-mostro-una-reduccion-de-19-8-).
29. Pillay R, Hansraj R, Rampersad N, Bissessur A. Environmental impact and end-of-life options of disposed polymeric spectacle and contact lenses. *Afr Vis Eye Health*. 2023;82(1):a775.
30. IDEAM / Ministerio de Ambiente. Contaminación y emisiones atmosféricas — Tercer Informe Bienal de Actualización e inventarios nacionales de emisiones: contexto del transporte en Colombia. Disponible en: [https://www.dimar.mil.co/proteccion\\_del\\_medio\\_marino/prevencion\\_de\\_la\\_contaminacion\\_marina/contaminacion\\_y\\_emisiones\\_atmosfericas](https://www.dimar.mil.co/proteccion_del_medio_marino/prevencion_de_la_contaminacion_marina/contaminacion_y_emisiones_atmosfericas) (consultado para cifras y rol del transporte en emisiones nacionales).
31. Naciones Unidas. Acuerdo de París. Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. París: ONU; 2015. Disponible en: [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf).

32. Congreso de la República de Colombia. Ley 1931 de 2018. Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático [Internet]. 2018 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Ley-1931-de-2018.pdf>.
33. Congreso de la República de Colombia. Ley 2169 de 2021. Por la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono en Colombia [Internet]. 2021 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=174225>.
34. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1447 de 2018. Por la cual se establecen los lineamientos para la cuantificación, reporte y verificación de los inventarios de GEI. Bogotá: MinAmbiente; 2018. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/mitigacion-del-cambio-climatico/inventarios-de-gases-efecto-invernadero/>.
35. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Objetivos de Desarrollo Sostenible: ODS 13 – Acción por el clima. Nueva York: PNUD; 2023. tomado el día 8 de octubre del 2025 Disponible en: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>.
36. Roberto Bermejo Gómez de Segura. La civilización industrial se enfrenta al colapso, debido al paradigma dominante. Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomímesis. revisado el día 26 de agosto. tomado de :<https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0686956.pdf>.
37. Organización Mundial de la Salud. (2021). Cambio climático y salud. Consultado: 14 de agosto 2025. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> Salud Planetaria.

38. MyVision.org. The environmental impact of contact lenses [Internet]. New York: MyVision.org; 2021 [citado 2025 ago 14]. Disponible en: <https://myvision.org/environmental-impact-contact-lenses/>.
39. World Resources Institute (WRI), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard [Internet]. Revised edition. Washington D.C.: WRI and WBCSD; 2004 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>.
40. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). Guía para la elaboración de inventarios corporativos de gases efecto invernadero en Colombia [Internet]. Bogotá: MinAmbiente; 2017 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co>.
41. International Organization for Standardization. ISO 14064-1:2018 – Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals [Internet]. Geneva: ISO; 2018 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/66453.html>.
42. World Resources Institute (WRI), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard [Internet]. Revised edition. Washington D.C.: WRI and WBCSD; 2004 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>.
43. Watershed. Carbon Accounting Software Overview. San Francisco: Watershed; 2024 [consultado 8 oct 2025]. Disponible en: <https://www.watershed.com>.
44. Greenly. Top Carbon Accounting Tools 2025. París: Greenly; 2025 [consultado 8 oct 2025]. Disponible en: <https://www.greenly.earth>.

45. Science Based Targets Initiative (SBTi). Corporate Net-Zero Standard [Internet]. London: SBTi; 2021 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://sciencebasedtargets.org>.
46. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Digital solutions for climate action in SMEs [Internet]. Vienna: UNIDO; 2022 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://www.unido.org>.
47. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. HuellaChile: Sistema Nacional de Certificación de Huella de Carbono. Santiago de Chile; 2023 [consultado 8 oct 2025]. Disponible en: <https://www.huellachile.mma.gob.cl>.
48. Ministerio del Ambiente de Perú. Huella de Carbono Perú. Lima: MINAM; 2023 [consultado 8 oct 2025]. Disponible en: <https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe>.
49. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia). Resolución 1447 de 2018 [Internet]. Bogotá: MinAmbiente; 2018 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co>.
50. Carbón Neutral S.A.S. Carbon Neutral Plus: Plataforma de medición y compensación de huella de carbono [Internet]. [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://carbonneutralplus.com>.
51. Cámara de Comercio de Bogotá. Guía práctica para la medición de la huella de carbono empresarial [Internet]. citado 2025 Oct 8. Disponible en: <https://www.ccb.org.co>.
52. González A, Herrera J, Ruiz C. Estrategias para la implementación de inventarios de GEI en MIPYMES colombianas. *Rev Gest Ambient*. 2022;25(2):34–45.
53. United Nations Environment Programme (UNEP). Digital tools for carbon accounting and transparency in developing countries [Internet]. Nairobi: UNEP; 2022 [citado 2025 Oct 8]. Disponible en: <https://www.unep.org>.

54. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). MIPYMES y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe [Internet]. citado 2025 Oct 8. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/>.
55. Whitmee S, Haines A, Beyrer C, Boltz F, Capon AG, de Souza Dias BF, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. Lancet [Internet]. 2015 [citado 2025 ago 14];386(10007):1973-2028. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1).
56. International Organization for Standardization. ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals [Internet]. Geneva: ISO; 2018 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/66453.html>.
57. United Nations Climate Change. Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [Internet]. 2024 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>.
58. Congreso de la República de Colombia. Constitución Política de Colombia de 1991 [Internet]. 1991 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.constitucioncolombia.com/>.
59. Congreso de la República de Colombia. Ley 2427 de 2024. Por medio de la cual se establece la capacitación, la profundización y la enseñanza para la sostenibilidad ambiental, cambio climático y gestión del riesgo de desastres [Internet]. 2024 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=250916>.

60. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1397 de 2016 [Internet]. 2016 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>.
61. Congreso de la República de Colombia. Ley 1549 de 2012. Por la cual se fortalece la institucionalidad ambiental y se dictan otras disposiciones [Internet]. 2012 [citado 2025 Ago 28]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Ley-1549-de-2012.pdf>.
62. Salud sin Daño. Segundo informe de avance del monitoreo de la huella de carbono de los miembros de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables en América Latina, 2020 [Internet]. Bogotá: Salud sin Daño; diciembre 2021 [citado 2025 Dic 22]. Disponible en: [https://hospitalesporlasaludambiental.org/sites/default/files/2022-05/informe\\_avance\\_huella%202020.pdf](https://hospitalesporlasaludambiental.org/sites/default/files/2022-05/informe_avance_huella%202020.pdf).
63. Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer [Internet]. Unep.org. 2020 [cited 2025 Nov 26]. Available from: <https://ozone.unep.org/sites/default/files/Handbooks/MP-Handbook-2020-English.pdf>.
64. Mancini F, Lo Basso G. How climate change affects the building energy consumptions due to cooling, heating, and electricity demands. *Energies*. 2020;13(2):410. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/2/410>.
65. Buchan JC, Thiel CL, Steyn A, Somner J, Venkatesh R, Burton MJ, et al. Addressing the environmental sustainability of eye health-care delivery: a scoping review. *Lancet Planet Health*. junio de 2022;6(6):e524-34.

66. Centre for Sustainable Healthcare; NHS England; NHS Improvement; Cheshire Local Optical Committee. The Annual Carbon Footprint of NHS Sight Tests at Five Optometry Practices. 2022. Disponible en: [https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/sites/default/files/resources/The%20Annual%20Carbon%20Footprint%20of%20NHS%20Sight%20Tests%20at%20Five%20Optometry%20Practices\\_1.pdf](https://networks.sustainablehealthcare.org.uk/sites/default/files/resources/The%20Annual%20Carbon%20Footprint%20of%20NHS%20Sight%20Tests%20at%20Five%20Optometry%20Practices_1.pdf).
67. Our World in Data. CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions: Colombia Country Profile [Internet]. 2025 [cited 2025 Dec 22]. Available from: <https://ourworldindata.org/profile/co2/colombia>.
68. Ritchie H, Roser M, Rosado P. CO<sub>2</sub> emissions per capita.(internet) Our World in Data; 2024.citado el 20 de noviembre 2025). Disponible en: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>.
69. Sherman JD, MacNeill AJ, Thiel C. The carbon footprint of clinical services. JAMA. 2021;326(19):1927–1928. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2785438>.
70. Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H. International comparison of health care carbon footprints. Environ Res Lett [Internet]. 2019;14(6):064004. doi:10.1088/1748-9326/ab19e1. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab19e1/pdf>.
71. Tennison I, Roschnik S, Ashby B, Boyd R, Hamilton I, Oreszczyn T, Owen A, Romanello M, Ruysevelt P, Sherman JD, Smith AZP, Steele K, Watts N, Eckelman MJ. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. Lancet Planet Health [Internet]. 2021;5(2):e84–e92. doi:10.1016/S2542-5196(20)30271-0. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7887664/>.

72. Malik A, Lenzen M, McAlister S, McGain F. The carbon footprint of Australian health care. *Lancet Planet Health* [Internet]. 2018;2(1):e27–e35. doi:10.1016/S2542-5196(17)30180-8. Disponible: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab19e1/pdf>.