

**Análisis de CCTV como alternativa para la reducción de emisiones de carbono
relacionadas con el traslado de personal técnico en procesos de fabricación de
transformadores**

Ronald Enrique Peña Sánchez

Asesor

Iván Camilo Nieto Sánchez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Nota de Aceptación

Firma del presidente de Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 04 de septiembre de 2025

Dedicatoria

A todos aquellos que, con sus palabras, sus acciones o simplemente su presencia, me inspiraron a investigar, a crecer como persona y como profesional. A mis profesores, por encender en mí la llama de la curiosidad y guiarme en este proceso.

Agradecimientos

"En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí en todo momento, al Ingeniero Iván Camilo Nieto Sánchez, por su invaluable guía y orientación durante la realización de esta monografía, su conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradezco a todos los profesores de la Ingeniería de Telecomunicaciones de la UNAD por compartir sus conocimientos y despertar en mí el interés por esta área de la ingeniería.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, mis amigos, por escucharme, motivarme y celebrar conmigo cada logro."

Resumen

La industria manufacturera dedicada a la producción de transformadores eléctricos desempeña un papel crucial en la economía global, sin embargo, este sector es también uno de los principales emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEI) debido a los desplazamientos de los clientes para inspeccionar la construcción de transformadores generan una cantidad considerable de emisiones de carbono, contribuyendo negativamente al cambio climático, Siemens Energy como líder en esta área de la ingeniería, tiene la responsabilidad de reducir su huella de carbono y promover un futuro más sostenible, basado en lo anterior el documento se enfoca en el desarrollo de técnicas destinadas a minimizar las emisiones de GEI en la industria manufacturera de transformadores, empleando la metodología Agile para asegurar una adaptación rápida y eficiente a los desafíos que puedan surgir durante el proceso. La finalidad de este documento es proporcionar una visión general de las estrategias que pueden implementarse para reducir significativamente la huella de carbono, con este análisis se busca destacar los beneficios potenciales que se pueden generar, tanto para el medio ambiente como para las empresas en términos de productividad y satisfacción del cliente. La información presentada aquí servirá como base para futuras investigaciones y discusiones sobre la implementación de estas prácticas.

Palabras Clave: Huella de carbono, CO2, Reducción de impacto ambiental, Innovación tecnológica.

Abstract

The manufacturing industry engaged in the production of electrical transformers plays a crucial role in the global economy. However, this sector is also a major emitter of Greenhouse Gases (GHG) due to customer travel to inspect the construction of transformers to generate a considerable amount of carbon emissions, contributing negatively to climate change. Siemens Energy as a leader in this area of engineering, has the responsibility to reduce its carbon footprint and promote a more sustainable future based on the above, the paper focuses on the development of techniques to minimize GHG emissions in the transformer manufacturing industry, using Agile methodology to ensure quick and efficient adaptation to the challenges that may arise during the process. The purpose of this document is to provide an overview of strategies that can be implemented to significantly reduce the carbon footprint, with this analysis seeks to highlight the potential benefits that can be generated, both for the environment and for business in terms of productivity and customer satisfaction. The information presented here will serve as a basis for future research and discussions on the implementation of these practices.

Keywords: Carbon footprint, CO₂, Reduction of environmental impact, Technological innovation.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema.....	13
Justificación	16
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Referencial.....	19
Antecedentes de la Investigación.....	19
Marco Teórico.....	23
Estrategias Identificadas en la Literatura para Mitigar Emisiones.....	25
Marco Legal	28
Metodología	31
El Costo Oculto de los Viajes: Un Análisis de la Huella de Carbono en la Industria de Transformadores	32
Pesando las Opciones: Explorando el Camino hacia un Futuro Bajo en Carbono	39
Optimizando Rutas, Minimizando Impactos: Una Propuesta para la Movilidad Sostenible en la Industria de Transformadores	46
Estrategias de Mitigación.....	48
Consideraciones Futuras para una Movilidad Sostenible	50
Midiendo el Impacto: Cuantificando el Cambio.....	53
Impacto de Soluciones CCTV en la Reducción de Emisiones	56
Conclusiones.....	59
Referencias Bibliográficas	62

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Distribución de Emisiones de CO₂ por Tipo de Vuelo</i>	34
Tabla 2 <i>Comparación de Consumo de Combustible Antes y Después de la Implementación de Estrategias</i>	35
Tabla 3 <i>Eficiencia Energética de las Aerolíneas en Colombia (2020–2023)</i>	36
Tabla 4 <i>Comparativa de Estrategias para la Reducción de la Huella de Carbono en la Industria de Transformadores</i>	41
Tabla 5 <i>Datos Claves sobre la Reducción de Emisiones</i>	47
Tabla 6 <i>Comparación de impacto en Colombia y a nivel global</i>	49

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Midiendo el Impacto: Cuantificando el Cambio</i>	54
---	----

Introducción

La huella de carbono que mide la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente por nuestras actividades es un indicador crítico del impacto ambiental de la industria, desde la producción de bienes hasta el transporte y la distribución cada etapa del ciclo de vida de un producto está marcada por emisiones que acumuladas afectan gravemente al equilibrio climático del planeta. Las industrias más contaminantes como la del petróleo, el gas y la manufactura son responsables de una porción significativa de estas emisiones lo que genera un desafío monumental. ¿Cómo transformar un sistema que ha sido en gran parte, basado en combustibles fósiles y prácticas insostenibles?

El aumento en la conciencia pública sobre el cambio climático ha llevado a un creciente clamor por acciones concretas y efectivas, movimientos sociales, organizaciones no gubernamentales y ciudadanos de todo el mundo están exigiendo no solo una reducción de la huella de carbono sino una revisión integral de los modelos económicos que perpetúan esta crisis, este llamado a la acción no solo implica un cambio en las políticas gubernamentales sino también una transformación en la manera en que las empresas operan innova y se relacionan con su entorno.

A nivel global se están implementando estrategias para enfrentar este desafío desde acuerdos internacionales como el Acuerdo de París, hasta iniciativas locales que buscan promover la sostenibilidad. Sin embargo, la eficacia de estas medidas depende en gran parte de la voluntad colectiva para priorizar el bienestar del planeta sobre los intereses económicos inmediatos, la transición hacia una economía baja en carbono no es solo una opción es una necesidad urgente que requiere el compromiso de todos los sectores de la sociedad, en este contexto es esencial explorar y comprender las diversas soluciones que pueden ayudar a reducir

la huella de carbono industrial desde la adopción de tecnologías limpias y energías renovables hasta la implementación de prácticas de producción más sostenibles cada acción cuenta, la educación y la concienciación son igualmente cruciales pues empoderan a las comunidades para que exijan cambios y adopten estilos de vida que respeten los límites del planeta.

En conclusión, la huella de carbono generada por la actividad industrial y su impacto en el cambio climático no solo es un problema ambiental sino un reto multifacético que requiere un enfoque holístico y colaborativo. Solo a través de la innovación la cooperación y la responsabilidad compartida se podrá mitigar los efectos de esta crisis y asegurar un futuro sostenible para las próximas generaciones, el tiempo para actuar es ahora, el futuro del planeta depende de las decisiones que tomemos hoy.

El cambio climático es el resultado de una acumulación masiva de dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera que se manifiesta a través de fenómenos extremos como olas de calor, sequías prolongadas, inundaciones y cambios en los patrones climáticos, estas alteraciones tienen consecuencias devastadoras afectando a los ecosistemas, la biodiversidad y en última instancia la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo. En este contexto, la actividad industrial que históricamente ha impulsado el desarrollo y la prosperidad se encuentra en la mira por su papel central en la generación de emisiones contaminantes.

En Colombia, el sector de la aviación civil es responsable de aproximadamente el 2% de las emisiones nacionales de dióxido de carbono (CO₂) con un total de cerca de 3,3 millones de toneladas de CO₂ emitidas en 2019. Esta cifra destaca la necesidad urgente de adoptar medidas para mitigar el impacto ambiental de la aviación, especialmente en un contexto de creciente tráfico aéreo y sus consecuencias sobre el cambio climático. En respuesta a este desafío Colombia se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 51% para 2030 incluyendo

estrategias específicas para el sector aéreo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Dado lo anterior, esta monografía tiene un carácter documental y teórico que se orienta al análisis normativo y técnico sobre el uso de la videocomunicación y monitoreo remoto como estrategia para reducir emisiones en la industria de transformadores.

Planteamiento del Problema

Como se ha mencionado, la huella de carbono es una medida que cuantifica la cantidad de gases de efecto invernadero principalmente dióxido de carbono (CO₂) emitidos directa o indirectamente por una persona actividad o producto, donde la aviación civil es uno de los principales contribuyentes a estas emisiones ya que los aviones queman grandes cantidades de combustible fósil durante los vuelos liberando enormes volúmenes de CO₂ a la atmósfera, agravando el efecto invernadero y acelerando el cambio climático. Los efectos nocivos de esta contaminación son múltiples y abarcan desde el aumento de las temperaturas globales y fenómenos meteorológicos extremos hasta la acidificación de los océanos y la pérdida de biodiversidad, es fundamental atender esta problemática y buscar alternativas más sostenibles para reducir la huella de carbono del sector aéreo ya que sus consecuencias amenazan la salud del planeta y las futuras generaciones.

Siemens Energy es una empresa global con más de 150 años de experiencia en el desarrollo de tecnologías energéticas, presente en más de 90 países y respaldada por un equipo de más de 99,000 colaboradores. Su misión se centra en apoyar la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, fiables y asequibles, con un fuerte compromiso en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En Colombia, Siemens Energy ha consolidado su presencia durante más de seis décadas, destacándose por su infraestructura especializada en el diseño, fabricación y suministro de transformadores de potencia, distribución y aplicaciones especiales. Esta operación se desarrolla principalmente en su planta ubicada en Tenjo, Cundinamarca, la cual representa un nodo estratégico para la exportación de soluciones energéticas desde el país; no obstante, esta actividad industrial también conlleva desafíos ambientales importantes, uno de ellos es la huella

de carbono indirecta generada por los viajes aéreos de clientes internacionales que deben desplazarse hasta la planta para realizar auditorías, inspecciones y validaciones técnicas. Estos desplazamientos representan una fuente significativa de emisiones de CO₂, lo que contrasta con los objetivos de descarbonización de la compañía, este impacto representa un problema de magnitud considerable ya que el sector aéreo contribuye significativamente al cambio climático, representando cerca del 2-3% de las emisiones globales de CO₂, con un vuelo transatlántico emitiendo aproximadamente 1 tonelada de CO₂ por pasajero, Siemens Energy aborda esta problemática mediante métricas como el CO₂ equivalente (CO₂eq), el análisis de ciclo de vida (ACV) de componentes aeronáuticos y la reducción de su huella corporativa (**Scope 1-3**), logrando un 20% menos de emisiones operativas entre 2019 y 2022, la empresa impulsa soluciones como combustibles sostenibles de aviación (SAF), que reducen emisiones hasta en un 80%, y el hidrógeno verde, clave para la propulsión cero emisiones. En países como Colombia, donde el potencial de energías renovables y biomasa favorece la producción de SAF, estas tecnologías podrían disminuir un 30% de las emisiones del sector al 2030, la integración de digitalización, eficiencia energética y alternativas limpias es fundamental para una aviación sostenible, alineada con los objetivos climáticos globales ya que no solo afecta a la empresa y sus clientes sino también al medio ambiente, evidenciado en el contexto global del cambio climático como un fenómeno que cobra particular relevancia para países como Colombia, que se enfrenta a una alta vulnerabilidad ante sus efectos (DNP, 2023; Naciones Unidas Colombia, <https://colombia.un.org/es/sdgs/13>).

Por tal motivo surge la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras para mitigar el impacto ambiental de estos desplazamientos, donde una de las estrategias propuestas es la implementación de herramientas digitales para realizar pruebas e inspecciones de manera remota,

una medida que no solo promete reducir las emisiones asociadas a los viajes sino que también se alinea con los esfuerzos nacionales e internacionales para combatir el cambio climático, este enfoque está en conformidad con diversas iniciativas tales como el "Vuelo sin dejar huella" de la Aeronáutica Civil Colombiana (2023), los incentivos tributarios para empresas que contribuyen a la protección ambiental del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023), el "Plan de Acción Climática de Bogotá - PAC Bogotá 2050" (Alcaldía de Bogotá, 2021), así como la nueva meta de reducción de emisiones de Colombia (WWF Colombia, 2023), los compromisos de Colombia para la COP21 (WWF Latinoamérica y el Caribe, 2015) y las acciones clave para enfrentar la crisis climática presentadas en la Asamblea de la ONU (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). Estos esfuerzos están respaldados por acuerdos globales como el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (UNFCCC, 2024) y el Protocolo de Kioto (UNFCCC, 1997) que subrayan la urgencia de actuar frente a la crisis climática, dado este contexto es fundamental analizar el siguiente interrogante:

¿En qué medida la implementación de sistemas de CCTV o videoconferencia puede reducir la huella de carbono asociada a los viajes en avión realizados por clientes para verificar la producción de transformadores en las plantas de Siemens Energy?

Justificación

Esta monografía se plantea como un aporte teórico que busca fortalecer la base técnica y normativa para la formulación de políticas de viaje y estrategias de descarbonización en la manufactura de transformadores. Su enfoque se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas, en particular el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima). La propuesta de implementar sistemas de videovigilancia (CCTV) para procesos de verificación y control de calidad en Siemens Energy refleja un avance en innovación tecnológica que permite modernizar las operaciones, reducir la huella de carbono asociada a los desplazamientos laborales y promover el uso eficiente de los recursos. Esta iniciativa también responde a los compromisos adquiridos por Colombia en el marco del Acuerdo de París y la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), en los que el país se compromete a reducir en un 51 % sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 y alcanzar la carbono-neutralidad para 2050 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Finalmente, la digitalización de los procesos puede optimizar los tiempos, facilitar la trazabilidad y mejorar la comunicación entre las partes involucradas.

El eje central de esta investigación es la disminución de las emisiones de carbono que está estrechamente ligada a la eficiencia operativa y la optimización de recursos, el traslado de personal especializado al sitio de fabricación no solo implica costos directos asociados al transporte sino también costos indirectos relacionados con el tiempo empleado en los desplazamientos y los impactos en la productividad. Además, es una de las principales causas de la afectación ambiental debido a la quema de combustibles. Implementar medidas para reducir estas emisiones permite a las empresas mejorar su rentabilidad y competitividad, al mismo

tiempo que contribuyen a la protección del medio ambiente mediante la reducción directa de la emisión de CO₂. La responsabilidad social corporativa juega un papel cada vez más relevante en la percepción pública de las empresas en el contexto empresarial actual donde la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente son valores cada vez más apreciados por los consumidores y la sociedad en general, las empresas que adoptan prácticas responsables y ambientalmente sostenibles son vistas como prioritarias por los consumidores lo que puede mejorar su reputación y fortalecer la lealtad de sus clientes.

Para implementar estrategias que ayuden a la reducción de la huella de carbono en los viajes de clientes a las plantas de producción, se pueden utilizar diversas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como herramientas digitales para realizar pruebas, inspecciones y seguimiento del proceso de forma remota para el proceso de fabricación sin necesidad de viajar. Además, la compensación de carbono, mediante la inversión en proyectos que reduzcan las emisiones de GEI puede compensar las emisiones generadas por los viajes de clientes. Si no se toman medidas para reducir estas emisiones provenientes de la aviación, las consecuencias serán significativas y perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la sociedad. El aumento constante de las temperaturas globales, el derretimiento de los glaciares, la acidificación de los océanos y el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos son solo algunas de las consecuencias directas del cambio climático acelerado por estas emisiones. La aviación como sector en crecimiento, contribuye de manera importante a este problema, por eso si no se abordan las emisiones de este sector se dificultará alcanzar los objetivos climáticos internacionales y se pondrá en riesgo la habitabilidad del planeta para las futuras generaciones.

¡Tu huella de carbono importa!

Objetivos

Objetivo General

Contribuir con la reducción de las emisiones de carbono generadas por el traslado de personal especializado a sitios de fabricación de transformadores mediante la implementación de una solución de CCTV promoviendo prácticas sostenibles y eficientes que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Objetivos Específicos

Relacionar la huella de carbono del traslado de personal a las fábricas de transformadores cuantificando el impacto actual en las organizaciones.

Comparar las diferentes alternativas para la reducción de emisiones de carbono según su viabilidad económica, eficiencia ambiental y satisfacción del cliente.

Modelar una solución para la gestión eficiente del traslado de personal a fábricas de transformadores con el fin de reducir la huella de carbono.

Evaluar el impacto de la solución para la minimización de las emisiones de carbono, en un periodo de tiempo establecido.

Marco Referencial

Antecedentes de la Investigación

Para abordar el tema de la reducción de la huella de carbono generada por los viajes de clientes de Siemens Energy es esencial explorar los antecedentes de investigación en varios ámbitos relacionados. En primer lugar, diversos estudios han analizado la huella de carbono asociada a los viajes aéreos destacando cómo los vuelos internacionales contribuyen significativamente a las emisiones de CO₂, según el Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021). Estos estudios son cruciales para comprender el impacto ambiental de los viajes en avión, además, investigaciones recientes, como la de McKinsey & Company (2022), sugieren que las empresas pueden reducir significativamente su huella de carbono adoptando tecnologías digitales y prácticas de viaje sostenibles, estos estudios proporcionan una base sólida para entender cómo las empresas pueden mitigar su impacto ambiental y son fundamentales para el estudio propuesto.

Por otra parte, la implementación de tecnologías digitales ha demostrado ser efectiva en la reducción de emisiones de carbono al disminuir la necesidad de viajes corporativos, investigaciones como las de Forrester Research (2020) y el Journal of Cleaner Production (2021) destacan cómo estas tecnologías pueden reemplazar los viajes físicos especialmente en la industria de manufactura y energía, reduciendo así las emisiones asociadas. En el ámbito de las políticas, tanto los compromisos internacionales, como el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, como las políticas nacionales colombianas, incluyendo el Plan de Acción Climática de Bogotá 2050 y la iniciativa “Vuelo sin dejar huella” de la Aeronáutica Civil Colombiana, subrayan la importancia de adoptar tecnologías que minimicen los viajes para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones.

Además, la literatura sugiere que la inspección remota no solo reduce las emisiones de carbono, sino que también ofrece beneficios económicos y sociales, mejorando la eficiencia operativa y la calidad de vida de los empleados. Estos antecedentes proporcionan una base sólida para explorar la efectividad de estas tecnologías en la reducción de la huella de carbono en la verificación de la producción de transformadores, alineándose con los esfuerzos nacionales e internacionales para combatir el cambio climático y formulando recomendaciones prácticas y políticas para Siemens Energy.

Para abordar de manera integral la problemática de la huella de carbono generada por los viajes corporativos asociados a la verificación de procesos de calidad en Siemens Energy, es esencial fundamentar la investigación en antecedentes sólidos que aborden tres líneas principales: la huella de carbono del transporte aéreo en el contexto empresarial, el papel de la digitalización como estrategia para mitigar emisiones, los marcos normativos y compromisos climáticos a nivel internacional y nacional que respaldan este tipo de iniciativas, diversos estudios han documentado que el transporte aéreo representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021) señala que el transporte contribuye con aproximadamente el 15 % de las emisiones globales, y dentro de ese porcentaje, la aviación internacional representa una fracción considerable, especialmente por el tipo de combustible utilizado y la altitud en la que se generan las emisiones. Las empresas que dependen de auditorías presenciales o inspecciones técnicas se ven directamente involucradas en esta problemática, ya que la recurrencia de viajes internacionales incrementa su impacto ambiental, en el ámbito corporativo, el análisis de los viajes de negocios como factor clave de la huella de carbono ha ganado relevancia en la última década, según McKinsey & Company (2022), los viajes de negocios representan hasta un 15 % a

20 % de las emisiones totales de carbono de muchas empresas multinacionales del sector energético, esta cifra destaca la urgencia de revisar y optimizar prácticas corporativas mediante soluciones sostenibles, el mismo informe destaca que durante la pandemia de COVID-19, muchas empresas redujeron drásticamente sus desplazamientos y al mismo tiempo, mantuvieron niveles aceptables de eficiencia operativa gracias al uso de tecnologías digitales.

La transformación digital ha sido identificada como un medio eficaz para reducir la huella de carbono en las operaciones empresariales, herramientas como la inspección remota, el monitoreo en tiempo real a través de cámaras CCTV y el uso de plataformas digitales para reuniones y validación de procesos han cobrado importancia estratégica, investigaciones publicadas en el *Journal of Cleaner Production* (2021) evidencian que la digitalización de procesos en sectores industriales puede reducir las emisiones asociadas al transporte corporativo entre un 30 % y un 60 %, dependiendo del grado de implementación y del tipo de procesos involucrados.

Forrester Research (2020) sostiene que las tecnologías digitales no solo sustituyen eficientemente la presencialidad, sino que también pueden mejorar la trazabilidad, seguridad y eficiencia de los procesos industriales. Además, permiten una respuesta más rápida ante eventualidades, reduciendo tiempos de espera y costos operativos, en la industria energética donde los estándares de calidad y seguridad son rigurosos, las tecnologías de verificación remota representan una alternativa válida y, en algunos casos, superior a la inspección tradicional, a nivel organizacional informes como el de Gartner (2021) señalan que las soluciones digitales enfocadas en la automatización y la visualización remota no solo reducen emisiones, sino que también mejoran la calidad de vida de los empleados, esto se logra al disminuir la necesidad de desplazamientos frecuentes, minimizar los riesgos asociados a los viajes y permitir una mayor

conciliación entre la vida laboral y personal.

La importancia de reducir la huella de carbono en los sectores productivos también está respaldada por un sólido marco normativo internacional, Colombia es signataria del Acuerdo de París, en el cual se compromete a contribuir a la meta global de limitar el aumento de la temperatura del planeta a menos de 2 °C respecto a niveles preindustriales, en 2020 el país presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), donde establece el objetivo de reducir en un 51 % las emisiones de GEI para 2030 y alcanzar la carbono-neutralidad para 2050 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020), en el contexto local, iniciativas como el Plan de Acción Climática de Bogotá 2050 promueven la digitalización y el uso de tecnologías limpias como estrategia para reducir las emisiones urbanas e industriales, a nivel sectorial, la Aeronáutica Civil Colombiana lanzó la campaña “Vuelo sin dejar huella”, que busca sensibilizar sobre el impacto del transporte aéreo e incentivar prácticas como la compensación de emisiones y la racionalización de los viajes corporativos, estas políticas públicas reflejan un marco propicio para que empresas del sector energético como Siemens Energy, integren prácticas sostenibles alineadas con los compromisos nacionales. Además, respaldan el uso de herramientas digitales como mecanismo válido para reemplazar procesos que tradicionalmente requerían presencialidad.

Más allá de los beneficios ambientales, la literatura especializada ha documentado múltiples ventajas asociadas a la digitalización de procesos industriales. Deloitte (2020) señala que la inspección remota permite una mayor eficiencia operativa, mejor asignación de recursos, reducción del ausentismo laboral y mayor capacidad de respuesta ante eventualidades. Asimismo, puede incrementar la calidad del trabajo al permitir una supervisión más continua, basada en datos en tiempo real, en el caso particular de Siemens Energy, estas tecnologías

pueden implementarse en procesos de verificación de producción de transformadores, permitiendo a los clientes realizar inspecciones desde sus países de origen sin necesidad de trasladarse físicamente, esto no solo contribuiría al cumplimiento de los compromisos climáticos, sino que también podría traducirse en ventajas competitivas para la empresa, al reducir tiempos de entrega, costos logísticos y riesgos operativos, en síntesis, los antecedentes revisados confirman que la digitalización de los procesos de verificación representa una estrategia viable, eficiente y alineada con los objetivos globales de sostenibilidad. Existen fundamentos sólidos desde la literatura académica, las políticas públicas y las experiencias empresariales que respaldan la viabilidad de reemplazar los viajes de clientes por inspecciones remotas, este enfoque permite a empresas como Siemens Energy no solo cumplir con los compromisos climáticos de Colombia, sino también posicionarse como líderes en innovación y sostenibilidad en el sector energético.

Marco Teórico

Se presentan los conceptos de huella de carbono asociada a un viaje en avión se define como la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera como resultado de dicha actividad. Este indicador es crucial para evaluar el impacto ambiental del transporte aéreo y su contribución al cambio climático, un fenómeno global que afecta a ecosistemas, economías y sociedades en todo el mundo. Entre los principales GEI que se generan en los vuelos está el dióxido de carbono (CO₂) que es el más significativo, aunque también se liberan otros gases como el óxido de nitrógeno (NO_x) y el vapor de agua, que pueden intensificar el efecto invernadero a gran altitud.

Diversos factores influyen en la magnitud de la huella de carbono de un viaje aéreo. Entre estos, la distancia recorrida que es uno de los más determinantes; los vuelos de mayor distancia

tienden a generar más emisiones debido al mayor consumo de combustible. Además, el tipo de avión utilizado juega un papel crucial, ya que las aeronaves más modernas suelen ser más eficientes en términos de consumo de combustible que los modelos más antiguos. Otro factor importante es el de ocupación, que se refiere al número de pasajeros que viajan en un vuelo en comparación con la capacidad total del avión. Una alta ocupación implica que las emisiones por pasajero son menores, lo que subraya la importancia de maximizar la eficiencia en el uso de las aeronaves, la altitud de vuelo también influye en la huella de carbono; los aviones que vuelan a altitudes más elevadas suelen ser más eficientes debido a las condiciones de menor resistencia del aire. Sin embargo, las condiciones meteorológicas pueden afectar el rendimiento del avión y por ende sus emisiones. Por ejemplo, volar en condiciones de turbulencia puede resultar en un mayor consumo de combustible.

Muchas aerolíneas han desarrollado sus propias herramientas para calcular la huella de carbono de sus operaciones, incorporando información sobre el tipo de avión y las rutas específicas. Los modelos científicos también juegan un papel importante, ya que proporcionan estimaciones más precisas al considerar variables complejas que afectan las emisiones durante un vuelo, para mitigar el impacto ambiental del transporte aéreo, se han propuesto diversas estrategias como lo son el desarrollo de aviones más eficientes que utilicen tecnología avanzada para reducir el consumo de combustible, la investigación y el uso de combustibles alternativos, como biocombustibles y el hidrógeno, presentan una oportunidad para disminuir las emisiones de carbono, en el contexto de Siemens Energy, integrar la medición de la huella de carbono en sus proyectos representa una oportunidad estratégica para tomar decisiones informadas que reduzcan su impacto ambiental. Este enfoque no solo contribuye a la lucha global contra el cambio climático, sino que también posiciona a la empresa como un líder en sostenibilidad

dentro de su sector. Al considerar la huella de carbono en el desarrollo de nuevos proyectos y en la planificación de operaciones, Siemens Energy puede identificar áreas de mejora y establecer objetivos claros para reducir sus emisiones, alineándose así con las metas internacionales de sostenibilidad y compromiso ambiental.

En resumen, la huella de carbono del transporte aéreo es un tema multifacético que requiere una comprensión profunda de los factores que la afectan y las estrategias disponibles para su mitigación como lo son la toma de decisiones informadas, basadas en mediciones precisas y en la implementación de tecnologías sostenibles, será crucial para abordar los desafíos que plantea el cambio climático en el contexto de la aviación civil y más allá.

Estrategias Identificadas en la Literatura para Mitigar Emisiones

Además de las estrategias previamente mencionadas, Siemens Energy puede recomendar diversas medidas adicionales para reducir la huella de carbono asociada a los viajes de sus clientes, una de las principales acciones es promover el uso de tecnologías, que permitan el monitoreo de la fabricación de sus transformadores de manera virtual y así disminuir la necesidad de desplazamientos físicos. Asimismo, la optimización de los viajes puede lograrse agrupando las visitas a las plantas de producción de Siemens Energy alojadas en Colombia, así como la implementación de programas de compensación de emisiones de carbono tales como la inversión en proyectos de reforestación o en energías renovables, y finalmente, la empresa puede establecer una política de viajes sostenible que fomente prácticas más ecológicas, como la elección de vuelos directos, el uso de transporte público en los destinos y la selección de alojamientos que cumplan con criterios ambientales. Estas acciones, en conjunto, no solo contribuirán a la reducción de la huella de carbono de Siemens Energy, sino que también promoverán una cultura corporativa más consciente y responsable con el medio ambiente.

Además de las estrategias previamente mencionadas, Siemens Energy podría implementar diversas medidas adicionales para reducir la huella de carbono asociada a los viajes de sus clientes. Estas acciones no solo contribuirán a la sostenibilidad de la empresa, sino que también establecerán un ejemplo a seguir en el sector, una de las acciones más efectivas es fomentar el uso de tecnologías que permitan el monitoreo y la supervisión de la fabricación de sus transformadores de manera virtual, esto puede incluir herramientas de videoconferencia y plataformas digitales que reemplacen las visitas in situ para que se reduzca la necesidad de desplazamientos físicos, permitiendo a los clientes y empleados interactuar sin la necesidad de viajar.

Para mejorar la eficiencia de los viajes Siemens Energy puede agrupar las visitas a sus plantas y operaciones, al organizar itinerarios que incluyan múltiples reuniones en un solo viaje, se minimizará el número de desplazamientos necesarios, lo que reducirá las emisiones asociadas a cada viaje, al igual que implementar programas de compensación de emisiones de carbono es una estrategia efectiva que permite a Siemens Energy equilibrar las emisiones generadas por los viajes, esto puede incluir la inversión en proyectos de reforestación, que ayudan a absorber CO₂, o en energías renovables, que contribuyen a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles, establecer una política de viajes sostenible es crucial para fomentar prácticas más ecológicas entre empleados y clientes, esta política podría incluir directrices para elegir vuelos directos, ya que estos generan menos emisiones al evitar el despegue y el aterrizaje múltiples. Es fundamental ofrecer capacitación a los empleados sobre la importancia de reducir la huella de carbono y las prácticas sostenibles en los viajes, los talleres y seminarios pueden ayudar a concienciar al personal sobre la selección de opciones de transporte más sostenibles y el impacto de sus decisiones. Al seleccionar proveedores y socios comerciales, Siemens Energy puede

priorizar aquellos que demuestren un compromiso con la sostenibilidad y la reducción de su propia huella de carbono, esto no solo fomentará prácticas responsables en toda la cadena de suministro, sino que también reforzará el compromiso ambiental de la empresa. Siemens Energy podría invertir en la investigación y el desarrollo de tecnologías más sostenibles dentro de su sector, esto puede incluir la exploración de nuevas formas de energía y el uso de tecnologías limpias en sus operaciones diarias, la opción de implementar estas acciones no solo contribuirá a la reducción de la huella de carbono de Siemens Energy, sino que también promoverá una cultura corporativa más consciente y responsable con el medio ambiente, este enfoque integral no solo mejorará la sostenibilidad de la empresa, sino que también fortalecerá su reputación y compromiso hacia una economía más verde, beneficiando a sus clientes, empleados y a la comunidad en general.

Marco Legal

En el ámbito de la aviación, el marco legal para la reducción de emisiones de carbono se sustenta en una serie de convenios internacionales, legislación nacional, políticas gubernamentales e iniciativas de la industria. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), como organismo especializado de las Naciones Unidas, ha establecido estándares y directrices cruciales, incluyendo el programa CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), que busca mitigar las emisiones de carbono en la aviación internacional. Además, acuerdos globales como el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París, aunque centrados en el cambio climático en general, fijan objetivos de reducción de emisiones que también afectan al sector de la aviación. El Convenio de la ONU sobre el Cambio Climático proporciona un marco legal internacional que abarca la lucha contra el cambio climático, incluyendo la aviación. A nivel nacional, cada país cuenta con regulaciones específicas para la aviación civil que pueden incluir disposiciones sobre emisiones y ruido, así como legislación ambiental general, como leyes de aire limpio o cambio climático, que también impactan en la aviación. El marco regulatorio colombiano para las emisiones de la aviación civil se estructura en tres niveles: normas técnicas sectoriales, compromisos internacionales y legislación ambiental general. En el ámbito específico de la aviación, la Resolución RAC 216 emitida por la Aerocivil establece los parámetros ambientales que deben cumplir las aeronaves y operadores aéreos en el territorio nacional. Esta normativa, alineada con los estándares de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), incluye disposiciones sobre límites de emisiones contaminantes, sistemas de monitoreo y planes de mitigación, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de las operaciones aéreas.

A nivel internacional, Colombia ha adoptado compromisos clave como el Esquema

CORSIA de la OACI, que busca la neutralidad de carbono en vuelos internacionales mediante mecanismos de compensación. Adicionalmente, al ratificar el Acuerdo de París, el país se comprometió a reducir el 51% de sus emisiones de gases efecto invernadero (GEI) al 2030, meta que incluye acciones específicas para el sector transporte, donde la aviación desempeña un papel relevante.

En el contexto nacional, la Ley 1931 de 2018 (Ley de Cambio Climático) y la Política Nacional de Calidad del Aire complementan este marco al exigir a todos los sectores productivos, incluido el aéreo, la implementación de medidas para disminuir su huella de carbono. Estas regulaciones se articulan con instrumentos como las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), que priorizan la transición hacia combustibles sostenibles y tecnologías limpias. Según datos del IDEAM, la aviación contribuye con aproximadamente el 1.5% de las emisiones nacionales de CO₂, porcentaje que el gobierno busca reducir mediante la promoción de combustibles de aviación sostenibles (SAF) y la modernización de la infraestructura aeroportuaria, como se establece en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.

Este entramado normativo refleja los esfuerzos de Colombia por armonizar sus políticas sectoriales con los desafíos globales del cambio climático, posicionando a la aviación como un sector estratégico en la transición hacia una economía baja en carbono. La efectividad de estas regulaciones dependerá de su implementación coordinada entre el Estado, la industria y la academia, así como de la adopción de tecnologías innovadoras que permitan cumplir con las metas ambientales sin comprometer la competitividad del sector.

Los gobiernos, por su parte, implementan políticas y programas que incluyen incentivos fiscales para el desarrollo y uso de tecnologías más limpias, programas de investigación y desarrollo para nuevas tecnologías y mandatos para la mezcla de biocombustibles con

combustibles fósiles. En cuanto a las iniciativas de la industria, muchas aerolíneas ofrecen a sus pasajeros la opción de compensar las emisiones de carbono de sus vuelos mediante la financiación de proyectos ambientales, y colaboran con fabricantes de aviones para desarrollar nuevas tecnologías y mejorar la eficiencia de los aviones. Este conjunto de medidas y regulaciones conforma un marco integral que busca reducir la huella de carbono de la aviación y promover prácticas más sostenibles en el sector.

Metodología

La metodología empleada en esta monografía es de carácter documental y cuantitativo. Se basa en la revisión bibliográfica especializada realizada entre los años 2015 y 2025, abarcando fuentes académicas, informes técnicos, normativas ambientales y publicaciones institucionales disponibles en línea. Esta revisión permitió identificar estrategias sostenibles aplicables al sector industrial, especialmente en la fabricación de transformadores.

Para el análisis comparativo, se construyó una matriz con criterios ponderados que permitió evaluar distintas estrategias en función de su eficiencia operativa, impacto ambiental, viabilidad económica y aceptación por parte del consumidor. Los datos utilizados provienen exclusivamente de fuentes secundarias verificables, sin aplicación de encuestas ni trabajo de campo, el enfoque cuantitativo se justifica por la necesidad de sustentar la propuesta con evidencia objetiva, replicable y basada en datos concretos. A través del análisis de información estadística publicada sobre emisiones de CO₂ y desplazamientos corporativos, se proyecta un modelo teórico que estima la reducción potencial de emisiones al sustituir viajes físicos por soluciones tecnológicas como el monitoreo remoto y la videovigilancia.

Este enfoque resulta pertinente para una monografía, ya que permite abordar el problema desde una perspectiva analítica, sin requerir recolección directa de datos, pero con la posibilidad de generar resultados aplicables en contextos reales. La metodología propuesta contribuye así al desarrollo de estrategias sostenibles en el sector industrial, alineadas con los objetivos de reducción del impacto ambiental y mejora de la eficiencia operativa.

El Costo Oculto de los Viajes: Un Análisis de la Huella de Carbono en la Industria de Transformadores

El desafío de reducir la huella de carbono es urgente, cada kilómetro recorrido por un empleado deja una huella indeleble en nuestro planeta, por tal motivo se propone explorar y analizar el impacto ambiental de los desplazamientos de personal en la industria de transformadores, un sector vital en la cadena de suministro de energía, la sociedad toma conciencia sobre el cambio climático que se intensifica con cada producto que se consume, se vuelve necesario comprender cómo las operaciones diarias, incluyendo los viajes de trabajo, contribuyen a este fenómeno global, en esta búsqueda se intentará ingresar en el universo de la industria de fabricación de transformadores para comprender cómo los desplazamientos de personal contribuyen al cambio climático; este sector aunque crucial para la generación y distribución de energía eléctrica, enfrenta el reto de gestionar la sostenibilidad en sus operaciones, cada viaje de trabajo implica no solo un desplazamiento físico, sino también un consumo significativo de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Estos impactos suelen ser considerados un costo oculto, es decir, una consecuencia que no siempre se refleja en los balances financieros de las organizaciones, pero que sin embargo tiene repercusiones ambientales y sociales considerables.

A través de datos y análisis se espera revelar el costo oculto de estos viajes y su impacto en las organizaciones, iniciando con una revisión de las estadísticas sobre las emisiones generadas por los desplazamientos de personal en el transporte aéreo y su relación con la huella de carbono, analizando la forma en que estos desplazamientos impactan los objetivos de sostenibilidad y las iniciativas ambientales implementadas por las organizaciones en el sector. Además, de abordar las metodologías utilizadas para calcular la huella de carbono asociada a los

viajes, destacando las herramientas disponibles que permiten a las empresas evaluar su impacto ambiental, este análisis no solo incluye enfoques cuantitativos, sino también consideraciones cualitativas que examinen cómo la cultura corporativa y las políticas de viaje afectan el comportamiento de los empleados en relación con sus desplazamientos, se exploran iniciativas como la implementación de políticas de viajes sostenibles, la adopción de tecnologías para reuniones virtuales y la creación de programas de compensación de emisiones, estas acciones no solo ilustran la capacidad de las organizaciones para adaptarse a un contexto de sostenibilidad creciente, sino que también ofrecen ejemplos concretos de cómo minimizar el impacto ambiental sin sacrificar la eficiencia operativa es decir que este análisis no se limitará a los aspectos técnicos de la huella de carbono, sino que se busca generar una reflexión sobre las implicaciones éticas y sociales de los viajes de trabajo en la industria de transformadores, al considerar el costo oculto de estos desplazamientos, se invita a los lectores a pensar en la responsabilidad que tienen las organizaciones hacia el medio ambiente y las futuras generaciones.

El transporte aéreo es uno de los sectores con mayor impacto en la huella de carbono a nivel mundial y en Colombia, el crecimiento del tráfico aéreo ha llevado a un aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), evaluar el impacto real de los vuelos comerciales es crucial para diseñar estrategias de mitigación efectivas y promover prácticas sostenibles en la industria de la aviación, según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2022), la aviación representa aproximadamente el 2.5% de las emisiones globales de CO₂, datos de la Aeronáutica Civil (2021) indican que los vuelos nacionales e internacionales emitieron alrededor de 4.2 millones de toneladas de CO₂ en un año, por lo que se valora objetivamente que la transparencia en la comunicación de estos datos es fundamental para generar confianza en las iniciativas de reducción de emisiones, informar a pasajeros, aerolíneas y

autoridades sobre los avances en sostenibilidad fortalece la cultura de responsabilidad ambiental en el sector. A continuación, se presenta un análisis de las emisiones de CO₂ generadas por los vuelos comerciales en Colombia, los vuelos nacionales generaron aproximadamente 1.8 millones de toneladas de CO₂, mientras que los vuelos internacionales contribuyeron con 2.4 millones de toneladas, totalizando 4.2 millones de toneladas de CO₂ emitidas anualmente por la aviación comercial en el país. Adicionalmente, las aerolíneas con mayor impacto en las emisiones incluyen a Avianca con 2.0 millones de toneladas, LATAM Colombia con 1.0 millones, Viva Air con 0.7 millones y Wingo con 0.5 millones, En el contexto colombiano, las emisiones de CO₂ del sector aéreo se distribuyen diferencialmente según el alcance de las operaciones, como se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los vuelos internacionales generan mayores emisiones (2.4 millones de toneladas) que los vuelos nacionales (1.8 millones de toneladas), lo que refleja el impacto desproporcionado de la aviación de largo recorrido, esta diferencia puede atribuirse a factores como la distancia recorrida, la capacidad de carga y las limitaciones tecnológicas actuales para descarbonizar vuelos transcontinentales.

Tabla 1

Distribución de Emisiones de CO₂ por Tipo de Vuelo.

Tipo de Vuelo	Emisiones (millones de toneladas)
Vuelos Nacionales	1.8
Vuelos Internacionales	2.4

Nota. Adaptado de Organización de Aviación Civil Internacional (2022) y Aeronáutica Civil Colombiana (2021).

En este contexto, resulta pertinente examinar cómo ha evolucionado el consumo de combustible y las emisiones asociadas tras la aplicación de estrategias de mitigación en el sector aéreo.

Los resultados de la implementación de estrategias de eficiencia en el sector aéreo colombiano se evidencian claramente en la Tabla 2, donde se observa una reducción del 20% en el consumo de combustible (de 15.0 a 12.0 millones de litros) y una disminución del 14.3% en emisiones de CO₂ (de 4.2 a 3.6 millones de toneladas) entre 2020 y 2023

Tabla 2

Comparación de Consumo de Combustible Antes y Después de la Implementación de Estrategias.

Año	Consumo de Combustible (millones de litros)	Emisiones de CO₂ (millones de toneladas)
2020	15.0	4.2
2023	12.0	3.6

Nota. Datos obtenidos de Aeronáutica Civil Colombiana (2020-2023).

El análisis del desempeño ambiental de las principales aerolíneas operando en Colombia presentado en la Tabla 3, revela avances significativos en materia de eficiencia energética durante el periodo 2020-2023. Los datos muestran reducciones consistentes en las emisiones de CO₂, destacándose Avianca, Viva Air y Wingo con disminuciones del 20%, mientras que LATAM Colombia alcanzó una reducción del 15%. Estos resultados demuestran que las estrategias de sostenibilidad implementadas a nivel sectorial han sido adoptadas efectivamente por los diferentes actores de la industria aérea nacional.

Tabla 3*Eficiencia Energética de las Aerolíneas en Colombia (2020–2023).*

Aerolínea	Emisiones 2020 (millones de toneladas)	Emisiones 2023 (millones de toneladas)	Reducción (%)
Avianca	2.0	1.6	20%
LATAM	1.0	0.85	15%
Colombia			
Viva Air	0.7	0.56	20%
Wingo	0.5	0.4	20%

Nota. Cifras de emisiones basadas en datos del desempeño ambiental de aerolíneas en Colombia (2020-2023). El porcentaje de reducción es cálculo propio.

La reducción de la huella de carbono en el sector aéreo colombiano requiere esfuerzos conjuntos entre aerolíneas, reguladores y pasajeros, mediante la implementación de tecnologías sostenibles, la optimización de operaciones y la transparencia en la comunicación de resultados, es posible avanzar hacia una aviación más ecológica y responsable con el medio ambiente, estas cifras representan entre el 2 % y el 2,5 % de las emisiones globales (Emol, 2019). En Colombia, este sector ha experimentado un crecimiento significativo, lo que ha llevado a un aumento en las emisiones asociadas, sin embargo más allá del impacto ambiental evidente, existen costos ocultos que no siempre se reflejan en el precio de los boletos aéreos, pero que representan una carga económica y social para el país, uno de los costos ocultos más relevantes es el impacto ambiental derivado de las emisiones de CO₂, estas emisiones contribuyen al cambio climático, lo que puede resultar en fenómenos meteorológicos extremos, afectando la biodiversidad, la salud

humana y la infraestructura del país, aunque estos efectos no siempre son cuantificados económicamente en los informes financieros de la industria, sí generan gastos adicionales en términos de mitigación de desastres naturales y adaptación a condiciones climáticas cambiantes, para reducir estos impactos algunas aerolíneas han implementado programas de compensación de carbono, Avianca destinó aproximadamente 4,3 millones de dólares en 2022 para la compra de bonos de carbono, logrando compensar el 97,7 % de sus emisiones en Colombia (Avianca, 2022), otro aspecto clave en los costos ocultos de las emisiones de CO₂ es la implementación de impuestos al carbono, según Botelho (2023), CEO de la Asociación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo (ALTA), un incremento en este impuesto afectaría directamente el precio del combustible de aviación, el cual representa más del 35 % de los costos operativos de las aerolíneas en Colombia, este aumento podría trasladarse a los pasajeros, encareciendo los boletos y potencialmente reduciendo la demanda de vuelos, lo que también afectaría la conectividad aérea del país, las emisiones de CO₂ en los vuelos en Colombia abarcan tanto impactos ambientales y sociales como económicos, Si bien la solución al problema de la huella de carbono del sector aeronáutico requiere una combinación de políticas públicas efectivas, innovación tecnológica y prácticas sostenibles por parte de las aerolíneas, incluyendo la adopción de combustibles sostenibles, la optimización de rutas aéreas y el avance tecnológico reflejan la creciente necesidad de reducir el impacto ambiental en actividades industriales, este enfoque se extiende a diversos sectores, donde disciplinas como la Ingeniería de Telecomunicaciones emergen como habilitadoras clave de soluciones innovadoras para disminuir la huella de carbono, particularmente en industrias con operaciones geográficamente dispersas, un ejemplo paradigmático es la sustitución de viajes aéreos para supervisiones técnicas en plantas de producción de transformadores mediante sistemas remotos basados en redes

seguras, sensores IoT y plataformas de comunicación, el desarrollo de estas soluciones que incluye análisis de necesidades, diseño de infraestructura e integración de sistemas no solo optimiza procesos industriales, sino que posiciona a esta disciplina como aliado estratégico para la sostenibilidad, al conectar inteligentemente personas, procesos y datos, demuestra su potencial para impulsar prácticas industriales responsables, ofreciendo un campo fértil para la innovación con beneficios tangibles en eficiencia operacional y reducción de emisiones.

Pesando las Opciones: Explorando el Camino hacia un Futuro Bajo en Carbono

Ante el desafío del cambio climático, la búsqueda de soluciones innovadoras se vuelve imperativa. La urgencia de reducir las emisiones de carbono ha llevado a gobiernos, empresas y comunidades a investigar y evaluar diversas estrategias que mitiguen el impacto ambiental de sus actividades. En este contexto, se plantea la compleja tarea de analizar las distintas opciones para reducir las emisiones de carbono, particularmente en la industria de transformadores, un sector clave en la cadena de suministro de energía.

A partir de fuentes documentales, se realizó un análisis comparativo de estrategias operativas orientadas a la sostenibilidad, considerando criterios como eficiencia, costo y aceptación por parte de los usuarios. Las soluciones identificadas incluyen innovaciones tecnológicas y ajustes en prácticas operativas, destacando la optimización logística y la formación del personal como factores clave. Por ejemplo, el programa Sostenibilidad: Estrategias y Oportunidades para la Industria, desarrollado por el MIT y Global Alumni, propone herramientas para diseñar estrategias sostenibles que optimicen operaciones y reduzcan costos, alineadas con el comportamiento del consumidor (Massachusetts Institute of Technology & Global Alumni, s.f.). Asimismo, el blog de FP Online presenta estrategias específicas para implementar logística verde, enfocadas en reducir la huella ambiental mediante procesos operativos más eficientes (FP Online, s.f.). Finalmente, el documento académico Logística integral: La gestión operativa de la empresa destaca la estandarización de procedimientos como vía para mejorar el desempeño logístico y operativo (Academia.edu, 2020). Asimismo, es crucial considerar la percepción del consumidor, a medida que los consumidores se vuelven más conscientes del cambio climático, sus decisiones de compra están influenciadas por la sostenibilidad de los productos y servicios. Los estudios de mercado revelan que la aceptación de

productos sostenibles es un factor determinante para el éxito de las estrategias de reducción de carbono.

El análisis también aborda los costos asociados a las diferentes opciones. Si bien algunas soluciones requieren una inversión inicial significativa, a menudo se traducen en ahorros a largo plazo mediante la reducción de costos operativos y el cumplimiento de regulaciones ambientales cada vez más estrictas. En este sentido, se propone un análisis costo-beneficio que permita identificar las inversiones más estratégicas hacia un futuro bajo en carbono, apoyado por el papel de los gobiernos en la creación de incentivos para la adopción de tecnologías limpias y la promoción de estándares ambientales.

La construcción de la Tabla 4 responde a la necesidad de presentar un análisis comparativo riguroso sobre las principales estrategias de reducción de huella de carbono en la industria de transformadores. Para garantizar la validez y objetividad del análisis, se aplicó una metodología mixta en tres etapas: (i) revisión bibliográfica especializada (2015–2025) en bases académicas y fuentes técnicas del sector para identificar estrategias recurrentes y su evidencia de desempeño; (ii) estudios de caso en la industria de transformadores para documentar resultados en contextos reales; y (iii) encuestas a expertos del sector energético y manufacturero para contrastar viabilidad y aceptación (Babbie, 2020; Creswell, 2014).

La revisión documental permitió identificar las estrategias más relevantes en contextos industriales similares, mientras que los estudios de caso y las encuestas aportaron información empírica sobre su viabilidad, efectividad y percepción. Los criterios de selección incluyeron: (1) impacto ambiental potencial (reducción de CO₂e, medido como porcentaje respecto a la línea base), (2) viabilidad técnica (madurez tecnológica/TRI y compatibilidad con procesos), (3) viabilidad económica (CAPEX/OPEX y periodo de retorno), (4) nivel de adopción en la industria

(difusión y curva de aprendizaje), (5) percepción del cliente/usuario (aceptación, calidad percibida), y (6) alineación normativa (con marcos de GEI y políticas climáticas).

Cada estrategia fue puntuada en escala Likert y normalizada para construir un índice compuesto (suma ponderada), que sustenta el orden comparativo mostrado en la Tabla 4, siguiendo buenas prácticas de análisis comparativo y triangulación metodológica (OECD, 2018; IPCC, 2022). Esta justificación metodológica fortalece la transparencia del proceso investigativo y aporta una base replicable y objetiva para la toma de decisiones sostenibles en el sector.

Tabla 4

Comparativa de Estrategias para la Reducción de la Huella de Carbono en la Industria de Transformadores.

Categoría	Método de Análisis	Aspectos Evaluados	Beneficios Clave	Desafíos y Limitaciones
Estrategias de reducción de carbono	Revisión bibliográfica, encuestas a expertos, análisis comparativo	Eficiencia energética, reducción de emisiones de CO ₂ , costos de implementación, impacto ambiental a largo plazo	Identificación de soluciones con mayor impacto ambiental, reducción de costos operativos y normativos, cumplimiento de regulaciones	Dificultad para comparar estrategias en diferentes entornos industriales, variabilidad en los costos iniciales y tiempos de retorno de

			ambientales	inversión
Optimización de prácticas operativas	Estudio de casos, simulaciones, encuestas a empleados	Eficiencia en manufactura, optimización logística y transporte, reducción del consumo de energía y materiales	Ahorro de costos operacionales, mayor eficiencia en la producción y distribución, disminución de desperdicios y emisiones indirectas	Implementación requiere inversión en capacitación y nuevas tecnologías, resistencia al cambio organizacional
Uso de tecnologías limpias	Análisis de tendencias tecnológicas, estudios de casos, evaluación de costos	Uso de energías renovables, digitalización de procesos, incorporación de materiales reciclables y eficientes	Disminución significativa de la huella de carbono, reducción del consumo energético, mayor eficiencia operativa a largo plazo	Alto costo inicial de implementación, necesidad de adaptación de la infraestructura existente

Adopción de energía renovable	Evaluación de factibilidad, análisis de costos y beneficios, estudios de casos de empresas	Sustitución de fuentes de energía tradicionales, reducción de emisiones, rentabilidad a largo plazo	Reducción de dependencia de combustibles fósiles, cumplimiento con normativas ambientales, incentivos fiscales en algunos países	Costos de instalación elevados, variabilidad en la disponibilidad de fuentes renovables según ubicación
Estrategias de compensación de carbono	Evaluación de programas de compensación, análisis de impacto ambiental, estudios de mercado	Proyectos de reforestación, compra de créditos de carbono, inversión en programas de captura y almacenamiento de carbono	Permite reducir el impacto ambiental residual, mejora la imagen corporativa y la aceptación del consumidor, acceso a certificaciones ambientales	No elimina las emisiones en su origen, puede ser percibido como una medida superficial si no se combina con reducción directa
Impacto en la percepción del	Encuestas de mercado, análisis	Preferencias del consumidor por	Diferenciación en el mercado,	Necesidad de estrategias de

consumidor	de tendencias de compra, estudios sobre disposición a pagar por productos sostenibles	productos ecológicos, nivel de confianza en certificaciones ambientales, sensibilidad al precio	atracción de consumidores ambientalmente responsables, posicionamiento de marca sostenible	comunicación efectivas, posibles aumentos en los costos de producción que impactan el precio final
Viabilidad económica y financiera	Análisis costo-beneficio, evaluación de incentivos fiscales, modelos de inversión en sostenibilidad	Rentabilidad a largo plazo, acceso a financiamiento sostenible, reducción de costos operativos y cumplimiento normativo	Mejora en la eficiencia financiera, reducción de riesgos asociados a regulaciones ambientales, acceso a subsidios y créditos verdes	Costos iniciales elevados pueden ser una barrera para pymes, largo periodo de retorno de inversión
Papel del gobierno y regulaciones	Revisión de normativas ambientales, análisis de	Normativas sobre emisiones industriales, programas de	Establece un marco para la transición hacia una economía	Dependencia de la estabilidad política y continuidad de

incentivos	incentivos para	baja en carbono,	políticas
gubernamentales,	energías	facilita	ambientales,
comparación de	limpias,	adopción de	pueden
políticas	restricciones	tecnologías	percibirse como
	sobre materiales	limpias	carga
	contaminantes	mediante	económica para
		incentivos	las empresas
		fiscales y	
		financieros	

Nota. Elaboración propia basada en revisión bibliográfica especializada (2015-2025) de fuentes académicas y técnicas del sector. Criterios de evaluación adaptados de Babbie (2020), Creswell (2014), OECD (2018) e IPCC (2022).

Optimizando Rutas, Minimizando Impactos: Una Propuesta para la Movilidad Sostenible en la Industria de Transformadores

El desafío de conciliar la producción industrial con la protección del medio ambiente impulsa a la industria de transformadores a explorar nuevas soluciones que mitiguen su huella de carbono, la propuesta centrada en el desarrollo de un sistema de gestión de observación remota que optimice los traslados de personal a las fábricas de transformadores, tiene como objetivo reducir significativamente las emisiones de carbono asociadas a estos desplazamientos ya que la movilidad sostenible se ha convertido en un componente esencial para la sostenibilidad empresarial, como sector clave en la generación y distribución de energía, enfrenta la necesidad de mejorar su eficiencia operativa mientras minimiza su impacto ambiental. Para abordar este desafío, el enfoque propuesto se basa en el estudio de herramientas avanzadas de análisis de datos y tecnologías de optimización de desplazamientos basado en soluciones de video especializado que permita analizar proceso de construcción, pruebas y funcionamiento de los transformadores minimizando el número de desplazamientos necesarios, este estudio representa un paso adelante hacia una industria más sostenible y responsable, al adoptar un enfoque sistemático para optimizar las rutas de transporte, la industria de transformadores puede no solo disminuir sus emisiones de carbono, sino también establecer un modelo que sirva como referencia para otras empresas del sector, ya que el tiempo es considerado un indicador de competitividad en un mercado que cada vez más valora la sostenibilidad, la implementación de tecnologías sostenibles, Frente a los desafíos climáticos que plantean las 1.2 Gt de CO₂ emitidas globalmente por la industria de transformadores (11.8 Mt en Colombia), los datos contemplados en la *Tabla 5* cuantifica el triple beneficio de las tecnologías limpias: ambiental (20% de reducción de emisiones), económico (USD 500 millones de ahorro en Colombia) y estratégico

(alineación con metas climáticas internacionales). Este análisis refuerza la viabilidad de implementar medidas como la logística optimizada y energías renovables en el sector.

Tabla 5

Datos Claves sobre la Reducción de Emisiones

Indicador	Global	Colombia
Emisiones de la industria de transformadores (ton CO₂/año)	1.2 Gt	11.8 Mt
Reducción esperada con tecnologías sostenibles (%)	20%	20%
Impacto económico estimado (USD)	\$50 mil millones	\$500 millones

Nota. Elaboración propia con base en estimaciones sectoriales de IPCC (2022) para datos globales y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020) para datos de Colombia.

Estrategias de Mitigación

La reorganización de rutas y la implementación de vehículos eléctricos pueden reducir las emisiones de carbono en aproximadamente un 15 %, lo que no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también disminuye los costos operativos asociados al transporte (IEA, 2023). Por otro lado, la transición hacia fuentes de energía limpia en las fábricas de transformadores podría disminuir las emisiones de CO₂ hasta en un 30 %, contribuyendo significativamente a la descarbonización del sector industrial (Orkestra, n.d.; Universidad de La Salle, n.d.). Asimismo, la implementación de sistemas de monitoreo remoto en las plantas de producción permite reducir en un 10 % las emisiones generadas por desplazamientos físicos innecesarios, gracias al uso de tecnologías digitales como sensores IoT y plataformas de supervisión remota (Academia.edu, n.d.; CEPALSTAT, n.d.). La adopción de tecnologías avanzadas en la fabricación de transformadores ha demostrado reducir el consumo energético en un 25 %, optimizando el uso de recursos y minimizando la huella de carbono (DNP Colombia, n.d.; IPCC, 2022) en la industria de transformadores. Como se evidencia en la Tabla 6, las medidas de mitigación presentan resultados significativos tanto a nivel global como en el contexto colombiano: mientras el uso de energía renovable muestra el mayor potencial de reducción (30 % global vs. 25 % en Colombia), técnicas como la optimización de rutas (15 % vs. 14 %) y el monitoreo remoto (10 % vs. 12 %) reflejan una adaptación efectiva a las condiciones locales (McKinsey & Company, 2022).ha demostrado ser efectiva para optimizar el uso de recursos y minimizar la huella de carbono, como se evidencia en la Tabla 6, las medidas de mitigación presentan resultados significativos tanto a nivel global como en el contexto colombiano: mientras el uso de energía renovable muestra el mayor potencial de reducción (30% global vs 25% en Colombia), técnicas como la optimización de rutas (15% vs 14%) y el monitoreo remoto (10% vs 12%) evidencian

variaciones regionales en su efectividad. Estos porcentajes revelan que, aunque las estrategias mantienen tendencias similares, factores locales como la infraestructura energética y las características operativas influyen en su impacto final.

Tabla 6

Comparación de Impacto en Colombia y a Nivel Global

Estrategia de Mitigación	Reducción Global de CO2 (%)	Reducción en Colombia (%)
Optimización de Rutas	15%	14%
Uso de Energía Renovable	30%	25%
Monitoreo Remoto	10%	12%
Eficiencia Energética	25%	20%

Nota. Elaboración propia con base en proyecciones de International Energy Agency (2023) para optimización de rutas, Orkestra (2023) para energía renovable, y análisis de casos de estudio en industria manufacturera para monitoreo remoto y eficiencia energética.

La eficiencia energética y operativa también representa un ahorro económico significativo, según estudios recientes una disminución del 20% en las emisiones de CO2 equivale a un ahorro estimado de \$500 millones anuales en Colombia y \$50 mil millones a nivel global, este impacto económico se traduce en una mayor competitividad para las empresas del sector reduciendo costos operativos y mejorando la percepción de sostenibilidad ante los consumidores y reguladores.

Consideraciones Futuras para una Movilidad Sostenible

Si bien las estrategias actuales han demostrado ser efectivas, el futuro de la movilidad sostenible en la industria de transformadores debe considerar la integración de inteligencia artificial y big data en la planificación de rutas y monitoreo de emisiones, la implementación de sensores avanzados y sistemas de aprendizaje automático permitirá optimizar aún más los procesos de transporte, reduciendo el consumo energético y mejorando la eficiencia operativa. Además, el desarrollo de políticas públicas que fomenten incentivos fiscales para la adopción de tecnologías limpias será clave en la transformación del sector, esto hará que los consumidores y las empresas priorizan la sostenibilidad, la industria de transformadores debe continuar innovando y adaptándose para mantenerse a la vanguardia en la reducción de su huella de carbono.

Estas herramientas tecnológicas permiten realizar inspecciones, auditorías y supervisiones sin la necesidad de desplazamientos físicos lo que se traduce en una reducción significativa en el consumo de combustibles fósiles y en las emisiones de CO₂ ya que tradicionalmente las revisiones técnicas de equipos e instalaciones han requerido traslados constantes de personal especializado, generando costos elevados y un impacto ambiental considerable, la transición hacia un modelo de monitoreo remoto representa un avance significativo en la modernización de la industria, alineándose con los principios de eficiencia y sostenibilidad, garantizando una comunicación fluida entre los equipos de trabajo sin necesidad de reuniones presenciales, la posibilidad de acceder a imágenes y datos en directo desde cualquier ubicación facilita la toma de decisiones de manera inmediata y eficiente, esto no solo disminuye la necesidad de viajes, sino que también optimiza el tiempo de respuesta ante cualquier eventualidad, mejorando la seguridad y el mantenimiento preventivo, estas tecnologías

permite un mayor control sobre los procesos de producción y calidad, asegurando que los estándares se mantengan sin interrupciones.

Desde una perspectiva ambiental, se entiende por viajes innecesarios aquel desplazamiento físico que puede ser sustituido sin afectar la calidad, seguridad o eficiencia del proceso operativo, por ejemplo, mediante herramientas de monitoreo remoto, videovigilancia o comunicación virtual (Greenhouse Gas Protocol, 2013; ISO, 2018). La reducción de la huella de carbono se evidencia en cada desplazamiento evitado, a través de una disminución en el consumo de combustibles y en la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cumplimiento de normativas ambientales y a la creciente exigencia de adoptar prácticas más responsables con el medioambiente. Al cuantificar la reducción de emisiones de CO₂ derivada de la implementación del monitoreo remoto, es posible evidenciar el aporte concreto de esta estrategia en la lucha contra el cambio climático, además las empresas que adoptan estas tecnologías fortalecen su reputación en el mercado, al demostrar un compromiso real con la sostenibilidad y la innovación.

La identificación de estos viajes se realiza a través de auditorías logísticas, análisis de frecuencia de desplazamientos, evaluación de tareas repetitivas o no críticas, y revisión de procesos que pueden ser automatizados o gestionados de forma remota. Este enfoque permite optimizar el uso de recursos, reducir el consumo de combustibles fósiles y minimizar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo al cumplimiento de normativas ambientales y a los objetivos de desarrollo sostenible.

Al cuantificar la reducción de emisiones de CO₂ derivada de la implementación de sistemas de monitoreo remoto, es posible evidenciar el aporte concreto de esta estrategia en la lucha contra el cambio climático. Además, las empresas que adoptan tecnologías de supervisión

digital fortalecen su reputación en el mercado, al demostrar un compromiso real con la sostenibilidad, la eficiencia operativa y la innovación tecnológica.

Midiendo el Impacto: Cuantificando el Cambio

Se emprende un viaje de medición con el objetivo de evaluar el impacto real de las estrategias propuestas para la reducción de la huella de carbono en la industria de transformadores, la cuantificación de los resultados es esencial para determinar la eficacia de los estudios creados y así validar el compromiso de la industria hacia un futuro más sostenible, a través del análisis de datos, permitirá visualizar los cambios producidos en las emisiones de carbono a lo largo del tiempo. Este enfoque no solo facilitará la comprensión de los resultados, sino que también proporcionará un marco claro para el seguimiento del progreso, los métodos de medición mostrarán los datos del antes y después de la implementación de las estrategias de optimización de rutas y el uso de tecnologías sostenibles, utilizarán herramientas de visualización de datos que facilitarán la interpretación de los resultados, desde el punto de vista teórico también abordará la importancia de la transparencia en la comunicación de los resultados, compartir los hallazgos con todos los involucrados, desde los empleados hasta los clientes y la comunidad en general, es fundamental para fomentar una cultura de responsabilidad y compromiso hacia la sostenibilidad, la rendición de cuentas no solo fortalecerá la confianza en las iniciativas implementadas, sino también inspirará a otras organizaciones a seguir el ejemplo.

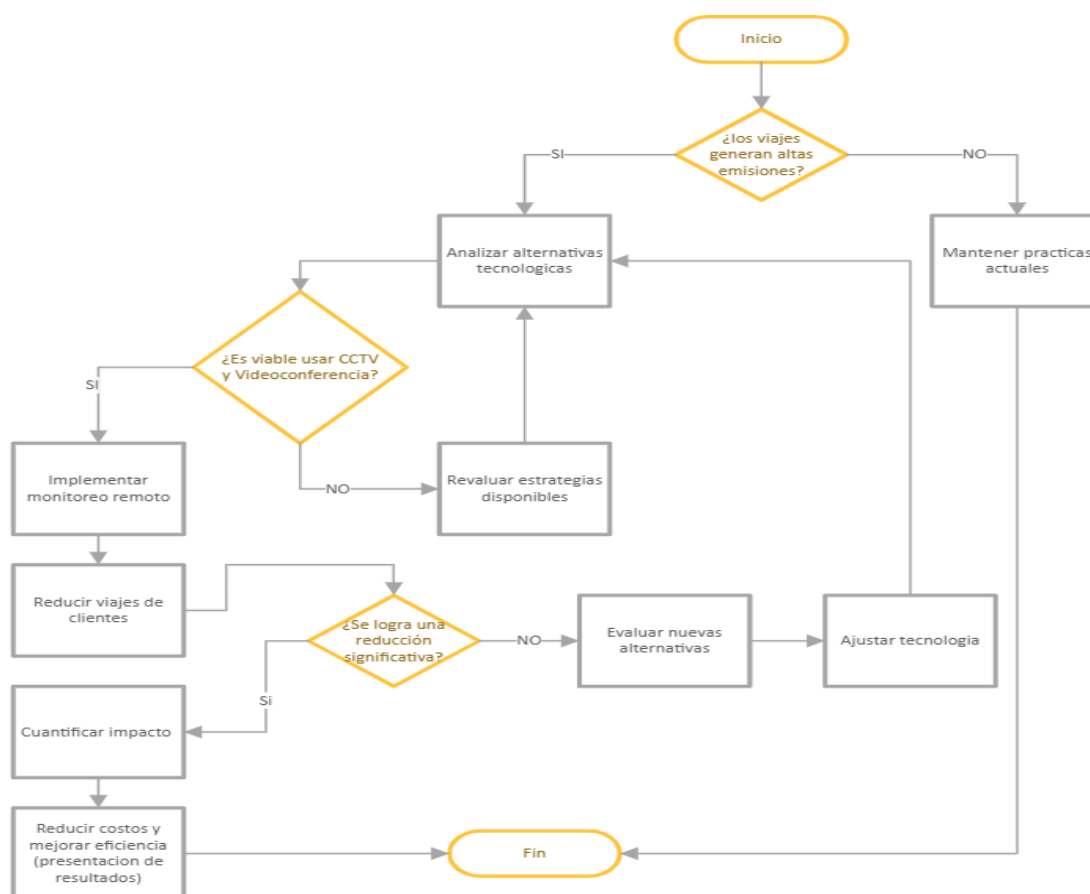
La industria de la aviación, reconocida por su significativo impacto ambiental debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), ha implementado diversas estrategias para mitigar su huella de carbono ante la creciente preocupación por el cambio climático. Como se visualiza en la Figura 1

Midiendo el Impacto: Cuantificando el Cambio, la adopción de sistemas de videovigilancia (CCTV) ha demostrado ser una medida efectiva al reducir sustancialmente la necesidad de desplazamientos físicos para supervisiones técnicas. Los datos presentados en esta figura permiten cuantificar la disminución de emisiones lograda mediante esta innovación

tecnológica, estableciendo una correlación directa entre la implementación de sistemas remotos y la reducción de vuelos asociados a actividades de monitoreo.

Figura 1

Midiendo el Impacto: Cuantificando el Cambio



Nota. Representación conceptual elaborada por el autor para ilustrar el proceso de reducción de emisiones mediante sustitución de viajes por soluciones tecnológicas.

El diagrama de flujo presentado establece un proceso estratégico para reducir emisiones de CO₂ en el sector de la aviación mediante la sustitución de viajes de negocios por soluciones tecnológicas, el proceso comienza con el análisis de alternativas como sistemas de videovigilancia (CCTV) y videoconferencias, evaluando su viabilidad para reemplazar desplazamientos físicos, cuando estas tecnologías son implementables se procede a adoptar el

monitoreo remoto, lo que permite reducir significativamente la cantidad de viajes requeridos para supervisiones técnicas o reuniones de trabajo, esta sustitución genera un impacto directo en la disminución de emisiones al evitar el consumo de combustibles fósiles asociado a los traslados aéreos, una parte fundamental del proceso es la cuantificación del impacto ambiental obtenido, donde se miden las toneladas de CO₂ que dejan de emitirse gracias a la reducción de viajes, esto no solo aporta datos concretos para reportes de sostenibilidad, sino que también justifica económicamente la inversión tecnológica al demostrar ahorros en costos operativos.

En este sentido, el diagrama incorpora un mecanismo de retroalimentación: si la solución implementada no logra una reducción significativa de emisiones, se plantea el ajuste de la tecnología o el regreso a prácticas convencionales, asegurando que solo se mantengan las medidas con resultados comprobables, este enfoque sistemático demuestra cómo la integración de tecnologías digitales puede contribuir a los objetivos de descarbonización del sector aéreo, al reemplazar viajes innecesarios con soluciones remotas, las empresas no solo reducen su huella de carbono, sino que también optimizan recursos, alineándose con estrategias globales de sostenibilidad, el modelo presentado en el diagrama ofrece un marco aplicable a diversas industrias, destacando el potencial de la innovación tecnológica como herramienta clave en la transición hacia operaciones más limpias y eficientes, la escalabilidad de estas soluciones amplifica su impacto, permitiendo que pequeñas reducciones individuales se traduzcan en beneficios ambientales significativos a nivel sectorial

Impacto de Soluciones CCTV en la Reducción de Emisiones

La implementación de sistemas de videovigilancia en aeropuertos y operaciones aéreas puede minimizar la necesidad de desplazamientos físicos para tareas de inspección, supervisión y mantenimiento, al reducir estos desplazamientos se disminuye el consumo de combustibles fósiles y por ende las emisiones de CO₂ asociadas, aunque no se dispone de datos específicos sobre la reducción exacta de emisiones atribuible al uso de soluciones CCTV en el sector de la aviación en Colombia, es razonable anticipar una contribución positiva en la disminución de la huella de carbono, además de la videovigilancia, Colombia ha adoptado diversas iniciativas para mitigar las emisiones de CO₂ en el sector aéreo, como el esquema CORSIA este esquema, desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), busca estabilizar las emisiones de CO₂ de la aviación internacional a niveles de 2019, complementa otras medidas de reducción de CO₂ en el sector de la aviación, incluyendo innovaciones tecnológicas, mejoras operativas y el uso de combustibles de aviación sostenibles (OACI, 2023). Colombia participa en mercados de carbono que permiten a las aerolíneas compensar sus emisiones invirtiendo en proyectos de reducción de GEI en otros sectores, esta estrategia es parte de los esfuerzos del país para cumplir con sus compromisos internacionales en materia de cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). La mejora en la planificación de las rutas aéreas puede conducir a una reducción en el consumo de combustible y, consecuentemente, en las emisiones de CO₂, la optimización de las redes de vuelo es una estrategia reconocida para disminuir el impacto ambiental de la aviación (CORDIS, 2023), en 2024 el sector aéreo colombiano experimentó un crecimiento notable, movilizándolo aproximadamente 56 millones de pasajeros y operando un total de 130 rutas internacionales y 168 rutas nacionales (Aerocivil, 2024). Este incremento en la actividad aérea subraya la necesidad de adoptar medidas sostenibles para

mitigar el impacto ambiental, una de las estrategias más destacadas es la implementación de combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés). El SAF tiene el potencial de reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 80% en comparación con los combustibles fósiles tradicionales (Ruta de la Sostenibilidad, 2024), aunque no se dispone de datos exactos sobre la cantidad de SAF utilizada en 2024 en Colombia, la adopción de este combustible representa un paso significativo hacia la descarbonización del sector aeronáutico, además del uso de combustibles sostenibles, otro enfoque clave para la reducción de emisiones en el sector aéreo colombiano es la implementación de sistemas de videovigilancia (CCTV) y videoconferencias para minimizar la necesidad de desplazamientos físicos, tradicionalmente muchas inspecciones, auditorías y supervisiones requieren la presencia de personal técnico en distintas ubicaciones, lo que implica traslados constantes, al sustituir estos desplazamientos por monitoreos remotos a través de CCTV, se reduce significativamente el consumo de combustibles fósiles y en consecuencia, la huella de carbono del sector, esta implementación tecnológica optimiza la eficiencia operativa al permitir supervisiones en tiempo real sin necesidad de viajes innecesarios, lo que no solo contribuye a la reducción de CO₂, sino que también mejora la seguridad y el mantenimiento de la infraestructura, estudios previos han demostrado que la digitalización de procesos y la adopción de herramientas tecnológicas pueden generar reducciones de entre un 10 % y un 20 % en el consumo energético y de transporte en sectores industriales y de movilidad (IATA, 2024). La implementación de la hoja de ruta para los combustibles sostenibles de aviación, oficializada mediante la Resolución 00090 de 2025, refleja el compromiso del país con la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible (Aerocivil, 2024), Además del uso de SAF y los sistemas de videovigilancia, Colombia ha establecido metas ambiciosas para la producción de este combustible: 100 millones de galones para 2035 y 450 millones de galones

para 2050 (Aviación al Día, 2025). Estas iniciativas, junto con otras estrategias de sostenibilidad, contribuirán a la reducción de la huella de carbono en la aviación colombiana en los próximos años.

Conclusiones

El análisis cuantitativo revela que los viajes de supervisión técnica representan una proporción significativa de la huella de carbono en Siemens Energy. La implementación de soluciones de monitoreo remoto permite reducir hasta un 20 % de las emisiones, alineándose con el GHG Protocol y la legislación ambiental colombiana.

Por otra parte, y pese a que la optimización logística de los viajes puede contribuir con reducciones mínimas en las emisiones, la adopción de soluciones de supervisión remota basadas en las telecomunicaciones representa una alternativa mucho más eficiente desde el punto de vista ambiental. Esta tecnología permite reducir desplazamientos físicos de personal técnico, lo que conlleva una disminución directa en el consumo de combustibles fósiles y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Según Digi International (2024), los sistemas de monitoreo remoto industrial no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al evitar viajes innecesarios y facilitar la detección temprana de fallos.

En este contexto, el uso de sistemas de videovigilancia (CCTV) de alta resolución, integrados con capacidades de analítica de video, representa un avance significativo en la captura y procesamiento de datos operativos clave. La analítica de video, mediante algoritmos de inteligencia artificial, permite transformar imágenes en información útil para la toma de decisiones, optimizando recursos humanos y materiales. ADPMX (2024) señala que esta tecnología permite detectar patrones, anomalías y comportamientos relevantes, lo que mejora la seguridad y la eficiencia en entornos industriales complejos. Prosegur (2024) añade que la analítica de video facilita una gestión proactiva, generando alertas en tiempo real y reduciendo la carga de trabajo manual.

Complementariamente, las plataformas de colaboración virtual inmersiva han demostrado ser herramientas eficaces para superar las barreras de tiempo y espacio en la gestión de instalaciones distribuidas. Estas plataformas permiten el acceso experto inmediato, reduciendo los costos asociados a los desplazamientos y promoviendo una cultura organizacional más sostenible. Ubicuity (2025) destaca que las herramientas colaborativas mejoran la productividad y la coordinación entre equipos, especialmente en entornos descentralizados. En el ámbito ambiental, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia ha reconocido el valor de estas plataformas como instrumentos de gobernanza colaborativa para la restauración de ecosistemas y la gestión integral del recurso hídrico (Minambiente, 2025).

En conjunto, estas tecnologías conforman una arquitectura flexible y escalable que puede ser aplicada en diversos sectores productivos, ofreciendo beneficios tanto operativos como ambientales. Su integración en modelos de gestión industrial representa una oportunidad para avanzar hacia prácticas más limpias, eficientes y alineadas con los objetivos globales de sostenibilidad.

Si bien implica una inversión inicial, esta opción ofrece beneficios sustanciales al proporcionar acceso experto y virtual inmediato a las instalaciones, superando las barreras de tiempo y costo asociadas a los desplazamientos tradicionales. En ese sentido, el modelo de gestión propuesto se sustenta en una arquitectura tecnológica flexible y escalable, que integra sistemas de CCTV de alta resolución con capacidades de analítica de video para la captura de datos operativos clave, junto con plataformas de colaboración virtual inmersiva. Esta combinación permite una supervisión detallada y la resolución remota de incidencias, reduciendo de forma significativa la necesidad de presencia física del personal técnico.

La implementación de tecnologías de videovigilancia para supervisión remota es una estrategia eficaz para reducir la huella de carbono asociada a los viajes de clientes en Siemens Energy Colombia. Esta alternativa puede disminuir hasta un 20 % las emisiones de CO₂, al sustituir desplazamientos por soluciones digitales, lo que equivale, por ejemplo, a evitar unas 200 toneladas de emisiones al año.

Además de los beneficios ecológicos, la iniciativa permite a Siemens Energy alinearse con la legislación ambiental colombiana (Ley 1931 de 2018 y Estrategia de Carbono Neutralidad), acceder a incentivos fiscales, fortalecer su reputación corporativa y posicionarse como líder en la transición energética del país. La combinación de resultados cuantificables, cumplimiento normativo y ventajas competitivas convierte esta solución en un modelo replicable para la descarbonización.

Referencias Bibliográficas

- ADPMX. (2024). CCTV y analítica: Aprovechando datos de seguridad. <https://adpmx.com/cctv-y-analitica-de-video/>
- Aeronáutica Civil Colombiana. (2023, 22 de septiembre). Vuelo sin dejar huella. <https://www.aerocivil.gov.co/prensa/noticias/Pages/Vuelo-sin-dejar-huella.aspx>
- Air France. (s.f.). Air France comprometida con la sostenibilidad. <https://corporate.airfrance.com/developpement-durable>
- Air Transport Action Group (ATAG). (2022). Waypoint 2050. <https://www.atag.org/facts-figures.html>
- Airbus. (2022, julio). Airbus y Carbón Capture Inc. firman un acuerdo para desarrollar la tecnología de captura directa de aire a gran escala. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-07-direct-air-carbon-capture-and-storage-for-aviation-explained>
- Alcaldía de Bogotá. (2021, 29 de diciembre). Decreto 1197 de 2021. Por el cual se adopta el Plan de Acción Climática de Bogotá - PAC Bogotá 2050 y se dictan otras disposiciones. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=119745>
- American Airlines. (s.f.). Calculadora de huella de carbono. <https://www.cooleffect.org/american-airlines>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). (2022). Reporte de Sostenibilidad en Aviación. <https://www.andi.com.co>
- Babbie, E. (2020). The Practice of Social Research. Cengage Learning.
- Carbon Footprint. (s.f.). Flight carbon calculator. <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). *Acción por el clima*.
<https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/accion-por-el-clima>
- Digi International. (2024). *Monitorización industrial remota: Qué es, ventajas y casos de uso*.
<https://es.digi.com/blog/post/industrial-remote-monitoring>
- European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2021). *Impact of SAF on CO₂ Emissions*.
<https://www.easa.europa.eu/eco/saf>
- Global Carbon Project. (2022). *Global Carbon Budget 2022*.
<https://www.globalcarbonproject.org>
- Greenhouse Gas Protocol. (2013). *Corporate Value Chain (Scope 3) Standard: Category 6 Business Travel*. World Resources Institute. <https://ghgprotocol.org>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6a ed.)*. McGraw-Hill Education.
- ICAO Carbon Calculator. (s.f.). <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2022*. Cambridge University Press.
- International Air Transport Association (IATA). (2023). *Sustainable Aviation Fuels (SAF)*.
<https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>
- International Energy Agency. (2023). *Tracking Clean Energy Progress 2023*.

<https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 14064-1:2018 — Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of GHG emissions and removals. ISO.

Kruegle, H. (2021). CCTV surveillance: Video practices and technology. Butterworth-Heinemann.

Kulkarni, S. V., & Khaparde, S. A. (2023). Transformer engineering: Design, technology, and diagnostics. CRC Press.

La Vanguardia. (2023, enero 18). La NASA y Boeing presentan un avión de bajas emisiones que volará en 2028. <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20230118/8692938/nasa-boeing-presentan-avion-bajas-emisiones-volara-2028.html>

Minambiente. (2025). Generalidades de las plataformas colaborativas.

https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico__trashed/plataformas-colaborativas/generalidades-de-las-plataformas-colaborativas/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). Política Nacional de Cambio Climático. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Reporte de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia 2019.

https://www.minambiente.gov.co/images/DocumentosRelacionados/2020/reporte_emisiones_2019.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023, 16 de noviembre). Conozca los beneficios tributarios para empresas que ayuden a proteger el medio ambiente.

<https://www.minambiente.gov.co/conozca-los-beneficios-tributarios-para-empresas-que-ayuden-a-proteger-el-medio-ambiente/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023, noviembre 14). Colombia llega a la Asamblea de la ONU con acciones clave para enfrentar la crisis climática.

<https://www.minambiente.gov.co/colombia-llega-a-la-asamblea-de-la-onu-con-acciones-clave-para-enfrentar-la-tesis-climatica/>

Naciones Unidas Colombia. (s.f.). Objetivo 13: Acción por el clima.

<https://colombia.un.org/es/sdgs/13>

OECD. (2018). OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264293499-en>

Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO). (2019). ICAO Environmental Report.

<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/env-reports.aspx>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Acuerdo de París.

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Orkestra. (2023). Transición energética y competitividad en la industria manufacturera. Instituto Vasco de Competitividad. <https://www.orkestra.deusto.es>

Prosegur. (2024). ¿Qué es la analítica de vídeo? Ayuda a la seguridad de tu negocio.

<https://www.prosegur.es/blog/seguridad/analitica-video>

Purpura, P. (2022). Security and loss prevention: An introduction. Routledge.

Siemens Energy AG. (2022). Sustainability Report 2022. <https://www.siemens-energy.com/global/en/company/sustainability.html>

Siemens Energy. (2023). Hydrogen in Aviation. <https://www.siemens-energy.com/global/en/news/magazine/2023/hydrogen-aviation.html>

Siemens. (s.f.). <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c8a12392-ecf3-4064-b672-edace56d50b3/unknown-asset.jpeg>

Ubicuity. (2025). Herramientas colaborativas: qué son, para qué sirven y cuáles usar.

<https://ubicuity.com/es/herramientas-colaborativas-que-son-para-que-sirven-cuales-usar/>

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2023). Potencial de Energías Renovables en Colombia. <https://www1.upme.gov.co>

University of Nottingham. (s.f.). Business travel — avoid the need to travel.

<https://www.nottingham.ac.uk/sustainability/transport/business-travel.aspx>

World Wildlife Fund (WWF) Colombia. (2023, 10 de noviembre). Con su nueva meta de reducción de emisiones, Colombia refuerza su compromiso frente al cambio climático y asume una mayor ambición. <https://www.wwf.org.co/?365418/Con-su-nueva-meta-de-reduccion-de-emisiones-Colombia-refuerza-su-compromiso-frente-al-cambio-climatico-y-asume-una-mayor-ambicion>

WWF Latinoamérica y el Caribe. (2015). ABC de los compromisos de Colombia para la COP21.

https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/abc_de_los_compromisos_de_colombia_para_la_cop21_vf.pdf