

Estudios de Desarrollo Sostenible

INFRAESTRUCTURA VIAL: RETOS Y OPORTUNIDADES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO



SECTORES Y SOSTENIBILIDAD

Sostenibilidad • CAMBIO CLIMÁTICO • Sector Infraestructura • Criterios ASG

Infraestructura vial: Retos y oportunidades ante el cambio climático

Índice

Infraestructura vial: Retos y oportunidades ante el cambio climático	5
1. Contexto colombiano	8
2. Retos y oportunidades de mitigación	9
2.1. Emisiones actuales y esperadas.....	9
2.1.1. Emisiones del sector en Colombia	10
2.2. Planes de mitigación	11
2.2.1. Materiales de construcción	11
2.2.1.1. Cemento.....	11
2.2.1.2. Acero.....	12
2.2.2. Ciclo de vida de los proyectos	13
2.2.2.1. Medidas tomadas a nivel internacional.....	14
2.2.2.2. Medidas implementadas en Colombia	15
3. Retos y oportunidades de adaptación	16
3.1. Exposición del sector a riesgos climáticos.....	17
3.1.1. Exposición de la infraestructura vial en Colombia.....	18
3.2. Cambios en la planeación de los proyectos	19
3.2.1. Infraestructura verde.....	19
3.2.2. Construcción de una infraestructura resiliente	20
3.3. Infraestructura adaptativa en Colombia	21
4. Una oportunidad para el desarrollo de la infraestructura vial sostenible	23
Anexo	24

ESTUDIOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Infraestructura vial: Retos y oportunidades ante el cambio climático

Juan Camilo Pardo

Analista de Sectores y Sostenibilidad
 (+57-601) 3538787 Ext. 69973
juan.pardo@corficolombiana.com

Maria Camila Orbezo

Directora de Análisis Sectorial y Sostenibilidad
 (+57-601) 3538787 Ext. 70497
maria.orbezo@corficolombiana.com

Diana Valentina Lopez

Practicante de Investigaciones
diana.lopez@corficolombiana.com

- La infraestructura juega un rol central en el desarrollo socioeconómico global y sus necesidades actuales y futuras son amplias. No obstante, su construcción, bajo los procesos actuales, tiene afectaciones directas sobre el medio ambiente.
- Los materiales de construcción, la energía requerida para el transporte de insumos y trabajadores, el desarrollo del proceso constructivo y la operación y mantenimiento de los proyectos son fases en las que se emiten importantes cantidades de GEI a nivel global.
- El sector de transporte es responsable del 16% de los GEI globales, siendo el tercer sector de mayor contribución. En ausencia de medidas de mitigación, el ICCT prevé que las emisiones del sector crecerán 75% en los próximos 30 años.
- El acero y el cemento representan cerca de un 50% del total de las emisiones industriales a nivel global, pero estrategias como el uso de material reciclado, mejoras de eficiencia, uso de energías renovables, tecnologías CCUS y ajustes en diseño, son centrales para mitigar dichas emisiones.
- A su vez, los proyectos viales deben contemplar desde etapas tempranas medidas sobre la ubicación, trazados, diseño e ingeniería con consideraciones ambientales, para garantizar un beneficio ambiental y social neto positivo.
- Medidas sectoriales como los *Lineamientos de la Infraestructura Verde Vial* y la incorporación de la variable de cambio climático en las concesiones 5G adoptadas por Colombia van en la dirección correcta.
- En paralelo, la infraestructura vial es altamente vulnerable a las consecuencias del cambio climático, y será uno de los sectores más afectados por los choques físicos de la variabilidad y las alteraciones en la temperatura.
- Eventos climáticos en la última década han revelado las debilidades de la infraestructura existente y la magnitud de las consecuencias socioeconómicas que la interrupción de su correcta operación trae para toda la población.
- El horizonte de largo plazo, inherente en la planeación de la infraestructura vial, evidencia la importancia de incorporar planes de adaptación desde ya, para enfrentar condiciones climáticas cada vez más retadoras.

- **Colombia enfrenta un triple reto: las necesidades de mejora y ampliación de la infraestructura vial son apremiantes, su avance está sujeto a los compromisos ambientales adquiridos y, a la vez, el país debe tomar medidas de adaptación prioritarias, al ser altamente vulnerable al cambio climático**
- Iniciativas internacionales como el desarrollo de infraestructura resiliente e Infraestructura Verde, revelan la posibilidad de incorporar soluciones técnicas y naturales a los proyectos para enfrentar los nuevos desafíos.
- En Colombia, el Plan Vías-CC (Compatibles con el Clima) constituye una herramienta esencial para integrar la gestión del cambio climático, la gestión ambiental y la gestión del riesgo, garantizando la sostenibilidad del desarrollo futuro del sector.
- Avanzar en estrategias que permitan mitigar las emisiones asociadas a la infraestructura vial, así como adaptarlas a condiciones climáticas más desfavorables, es esencial en la consecución de nuestros Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Aunque el camino de la adaptación represente importantes retos en el mediano y largo plazo, es también una oportunidad para el desarrollo de una infraestructura vial resiliente y responsable con el medio ambiente.

ESTUDIOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Infraestructura vial: Retos y oportunidades ante el cambio climático

La construcción de infraestructura es fundamental para impulsar el desarrollo económico y social, la productividad, la generación de empleo, los encadenamientos sectoriales y la reducción de la pobreza (Pouliquen, 2000)¹. Mejoras en la infraestructura impactan directamente la competitividad y la eficiencia del aparato productivo, y por esta vía, permiten un mayor crecimiento económico de corto, mediano y largo plazo (Aschauer, 1989)².

En este sentido, la infraestructura desempeña un papel central en el logro de los objetivos de desarrollo globales. Su fomento y ampliación tiene efectos positivos sobre el 92% de las metas de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de forma directa y de forma indirecta³. En consecuencia, las necesidades actuales y futuras de infraestructura a nivel mundial son amplias (Naciones Unidas, 2021)⁴.

Según Global Infrastructure Hub (GIH) (2022)⁵, en 2020 se habría requerido una inversión total equivalente al 5% del PIB mundial⁶ (pública y privada) para cerrar la brecha de infraestructura existente. En efecto, las necesidades de ampliar la cobertura y calidad de la infraestructura a nivel internacional siguen siendo apremiantes, principalmente en los países en desarrollo y de bajos ingresos.

Dentro de las necesidades agregadas de infraestructura global, la infraestructura vial particularmente juega un papel trascendental. La construcción de carreteras ha traído mayores niveles de competitividad y productividad, reducción de tiempos y costos de transporte, generación de empleos y crecimiento económico, entre otros impactos positivos (Kulanthayan, 2019)⁷. En un estudio realizado por Mckinsey (2018)⁸, se estima que la construcción de infraestructura vial cuenta con una tasa de rendimiento socioeconómico del 20% en promedio a lo largo del tiempo. Es decir, cada dólar invertido genera un aumento de 20 centavos en el PIB anual a largo plazo. A su vez, de acuerdo con la Comisión Europea (2017)⁹, el valor agregado generado directamente por la

¹ Pouliquen, L. (2000). Infrastructure and Poverty. [Enlace al documento](#)

² Aschauer, D. (1989). Is public expenditure productive? Journal of Monetary Economics, 23, 177- 200.

³ Por ejemplo, de forma directa la infraestructura impacta el ODS No. 9: Industria, innovación e infraestructura y de forma indirecta el ODS No. 10: Reducción de las desigualdades.

⁴ Naciones Unidas (2021). Infrastructure for climate action, 13-17. [Enlace al documento](#)

⁵ Global Infrastructure Hub (2022), Global trends in private investment in infrastructure, Infrastructure Monitor 2022. [Enlace al documento](#)

⁶ En particular, se hace referencia a inversiones en generación de energías renovables y no renovables, transporte, telecomunicaciones, infraestructura social, agua, desechos, y almacenamiento, transmisión y distribución de energía.

⁷ Kulanthayan, S et al (2019). Road infrastructure development and economic growth, IOP Conference. [Enlace al documento](#)

⁸ Mckinsey & Company (2018). A better road to the future Improving the delivery of road infrastructure across the world, Interim report, 5-6. [Enlace al documento](#)

⁹ European Commission (2017). EU transport in figures. [Enlace al documento](#)

construcción de carreteras representa del 3% al 5% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial.

En el contexto colombiano, la infraestructura vial tiene una gran relevancia para la conectividad del país. El país tiene un número importante de centros urbanos y productivos están ubicados en el centro del territorio, distanciados de los accesos marítimos, por lo cual el acceso interno y a los puertos ha sido determinante para la expansión del mercado nacional y exportador. En efecto, el 80% del transporte de carga se movilizó por carretera en 2019 y su importancia ha aumentado en los últimos 20 años, tras haber representado el 70% del total en 2002 (MinTransporte, 2021)¹⁰. Debido a lo anterior, el presente documento se enfoca en evaluar los retos y las oportunidades del sector de infraestructura vial ante el cambio climático.

En el marco del cambio climático y los compromisos globales de reducción de emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI) adquiridos en el Acuerdo de París, que buscan limitar el calentamiento mundial por debajo de 2°C (preferiblemente 1,5°C) frente a los niveles preindustriales, la infraestructura vial es uno de los sectores centrales a abordar, dado el alto nivel de emisiones asociado.

En consecuencia, pese a la necesidad de ampliar la cobertura carretera, especialmente en los países en desarrollo y de bajos ingresos, su construcción tiene, bajo las condiciones y procesos actuales, un impacto negativo sobre el medio ambiente.

Según estimaciones de las Naciones Unidas (2021), aunque el transporte impacta positivamente el 45% de las metas de los 17 ODS, contribuye con el 16% de GEI a nivel internacional. La ejecución y operación de la construcción de carreteras está asociada a impactos directos, indirectos y acumulativos sobre el medio ambiente.

Según un ejercicio realizado por GIH (2022), en el mercado de la renta variable global, la huella climática que registra el sector de infraestructura es significativamente más alta en comparación con la de otros sectores (Tabla 1). En efecto, 1) los insumos que requiere la ejecución de las obras y la energía que se necesita para transportar materiales y trabajadores, 2) el proceso de construcción y 3) la etapa de operación y mantenimiento, son fases en las que se emiten importantes cantidades de GEI. Además, el ciclo de vida de estos proyectos tiene un impacto sobre la biodiversidad de los ecosistemas, la calidad de las aguas subterráneas y la generación de desechos.

Adicionalmente, la infraestructura vial es uno de los pilares más vulnerables a las consecuencias del cambio climático y será uno de los más afectados por los choques físicos de la variabilidad y las alteraciones en la temperatura. Por ejemplo, los fuertes cambios de temperatura, los aumentos en el nivel del mar o el cambio en los patrones de lluvia y tormentas podrían afectar las superficies de asfalto, dañar las obras por los detrimentos en las capas de hielo, ocasionar inundaciones en proyectos costeros, afectar el transporte de carga y pasajeros, y dañar activos importantes como los puentes, entre

¹⁰ Ministerio de Transporte (2021). Transporte en cifras-Estadísticas 2021. <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/15/estadisticas/>

otros impactos. Así, la infraestructura representa el 88% de los costos de adaptación previstos a nivel mundial (Naciones Unidas, 2021).

En los últimos años los eventos climáticos extremos han puesto de relieve sus debilidades. Cuando el huracán Sandy azotó la costa este de Estados Unidos en octubre de 2012, el metro, los aeropuertos y las carreteras se inundaron, los vientos destruyeron una cuarta parte de las torres de telefonía celular en el Noreste y la pérdida de electricidad obligó a una gran cantidad de torres a desconectarse después de agotar sus baterías de emergencia (McKinsey, 2020)¹¹.

En este contexto, el cambio climático ha amplificado los riesgos para un sector que se caracteriza por grandes inversiones en activos diseñados para operar en el largo plazo. Con el fin de mitigar estos posibles impactos, la infraestructura vial debe ser diseñada, estructurada y operada incorporando los cambios climáticos a los que pueden ser expuestos. A su vez, la infraestructura existente debe ser fortalecida con el fin de prevenir potenciales interrupciones. Por esto, **es necesario implementar desde ya planes de adaptación consistentes con escenarios de condiciones climáticas cada vez más retadoras.**

Por lo tanto, avanzar en estrategias que permitan mitigar las emisiones asociadas a la infraestructura existente y por construir, así como adaptar el sector a unas condiciones climáticas más desfavorables, es esencial en la consecución de ambos objetivos (cumplir con los compromisos climáticos del mundo y alcanzar los ODS).

Al respecto, es importante mencionar que, tanto en Colombia como en EE. UU. y Europa, la discusión sobre metas de reducción de emisiones de GEI del sector de infraestructura vial ha abordado a la fecha dos tipos de planteamientos: 1) las emisiones

Tabla 1. Huella climática de la renta variable global vs empresas de infraestructura listadas en el mercado de renta variable global

Conceptos	Mercado global de renta variable (índice MSCI ACWI)	Empresas de infraestructura en el mercado global de renta variable (índice MSCI ACWI)
Emisiones de CO ₂	90	380
Intensidad de carbono	152	786

Fuente: GIH.

¹¹ McKinsey Global Institute (2020). Will infrastructure bend or break under climate stress? [Enlace al documento](#)

del sector de transporte, entendido como modos de transporte (vehículos) y un uso más eficiente de los combustibles fósiles y 2) la reutilización y uso de materiales de construcción menos contaminantes, que se relaciona de forma más directa con el proceso constructivo. Si bien las estrategias a la fecha no abarcan metas específicas de reducción de emisiones para los proyectos de construcción de vías en agregado, el sector juega un rol muy importante en el logro de las metas nacionales y globales, por cuanto su ampliación, operación y mantenimiento está directamente asociada al impacto ambiental de ambos segmentos.

El objetivo de este estudio es discutir los retos y oportunidades de la infraestructura vial ante el cambio climático, abordando las distintas estrategias en materia de mitigación y adaptación, a la luz de experiencias internacionales y los avances ya incorporados en Colombia.

1. Contexto colombiano

La infraestructura vial colombiana enfrenta un panorama retador. En primer lugar, es necesario continuar con los esfuerzos para mejorar y ampliar nuestra red vial.

Según el Índice de Competitividad de la WEF, el país ocupa el puesto 104 entre 141 países en materia de calidad de la infraestructura de transporte terrestre, a pesar de que el 80% de la carga y el 88% de los pasajeros se movilizan bajo este medio (MinAmbiente, 2016)¹².

De acuerdo con la Comisión de Expertos en Infraestructura de Transporte, el país requiere una inversión de 257 billones de pesos para suplir sus necesidades en este sector. Pese a que su multiplicador económico es de 1,7, Colombia aún cuenta con una red vial limitada, que requiere de inversiones importantes para dinamizar las regiones y el desarrollo social (DNP, 2013)¹³.

A la vez, Colombia es un país vulnerable al cambio climático por su condición tropical, diversidad geográfica y por las condiciones socioeconómicas de la población (MinAmbiente, 2016). Aunque no es uno de los grandes emisores de GEI, sí recibe de forma directa las consecuencias de los cambios del clima, como las variaciones en temperatura y precipitación. Según los escenarios de cambio climático desarrollados por el IDEAM en el 2015, el cambio en los patrones de precipitaciones y temperaturas y el aumento del nivel del mar conllevan riesgos significativos para el sector carretero (UNDP, 2015)¹⁴.

Ahora bien, la necesidad de expansión y de adaptación de la infraestructura vial está sujeta a los compromisos ambientales del país. A mediados de 2021, el Gobierno Nacional lanzó la Estrategia Colombia Carbono Neutral (ECCN), cuya meta global es la

¹² Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. [Enlace al documento](#)

¹³ DNP (2013). CONPES. Proyectos viables bajo el esquema de asociaciones público-privadas: cuarta generación de concesiones viales. [Enlace al documento](#)

¹⁴ UNDP (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. [Enlace al documento](#)

reducción del 51% de las emisiones de GEI a 2030 con respecto a 2015 y alcanzar la carbono-neutralidad en el año 2050.

En particular, dentro del portafolio de metas de adaptación al cambio climático, de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés)¹⁵ del país al horizonte 2030, se busca mejorar los sistemas para la implementación de la gestión del riesgo en la infraestructura de transporte. En línea con los ODS de Colombia, se busca que el impacto sobre el ecosistema de la infraestructura sea abordado a la luz de proyectos ambientalmente responsables y sostenibles, y a la vez adaptables a los efectos de la variabilidad climática que se prevé (Ministerio de Transporte, 2020).

Ante esto, en el esfuerzo de continuar con el ritmo de ejecución y cierre de brechas de competitividad, el sector de la infraestructura vial no solo requiere medidas de adaptación frente al cambio climático, dada su vulnerabilidad, sino que a su vez debe contribuir de forma directa a la reducción de GEI del país.

2. Retos y oportunidades de mitigación

Según las Naciones Unidas (2021), las medidas de mitigación deben ser diseñadas para no afectar significativamente factores socioeconómicos como la pobreza y la productividad. Sin embargo, deben ser gestionadas para alcanzar los objetivos propuestos en el Acuerdo de Paris y los ODS.

Las medidas de mitigación de GEI abarcan estrategias orientadas a limitar o reducir, tanto como sea posible, las emisiones nuevas y mejorar los depósitos ya emitidos. Así, las herramientas de mitigación incluyen también tecnologías de Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono CUAC (o CCUS – Carbon Capture Utilisation, and Storage por sus siglas en inglés), que juegan un rol central en las estrategias de descarbonización de la economía global.

2.1. Emisiones actuales y esperadas

A nivel internacional, el sector transporte es el responsable del 16% de los GEI¹⁶ y el tercer mayor contribuyente a las emisiones, después del sector de energía y edificaciones. En algunos países su contribución a las emisiones totales es inclusive superior. De manera particular, el sector representa el 25% de las emisiones totales de GEI de la Unión Europea¹⁷.

Según el Consejo Internacional de Transporte Limpio (2019)¹⁸ (ICCT por sus siglas en inglés), las emisiones del sector de transporte crecerán un 75% dentro de los próximos 30 años, desde 12 gigatoneladas (Gt) en 2020 a 21 Gt en 2050, en un escenario de ausencia de esfuerzos de mitigación.

¹⁵ Ministerio de Transporte (2020). Portafolio de metas de adaptación al cambio climático. [Enlace al documento](#)

¹⁶ En esta medición, el sector transporte comprende redes, activos y vehículos encargados de la circulación de personas y bienes, incluidas carreteras, ferrocarriles, aviones, barcos y movilidad urbana.

¹⁷ Comisión Europea (2020). Proporcionar un transporte eficiente, seguro y respetuoso con el medio ambiente. [Enlace al documento](#)

¹⁸ ICCT (2019). Vision 2050 A strategy to decarbonize the global transport sector by mid-century. [Enlace al documento](#)

Dada su relevancia, mitigar las emisiones asociadas a la actividad del sector es necesario para alcanzar los objetivos internacionales del Acuerdo de París. De acuerdo con la ICCT, para poder llegar a dicha meta, **las emisiones del sector de transporte deberán ser de 2,6 Gt en 2050, lo que representa una disminución de 87% frente al escenario proyectado sin esfuerzos.**

2.1.1. Emisiones del sector en Colombia

De acuerdo con las MinAmbiente (2022)¹⁹, el 59,1% de las emisiones del país en 2018 se originaron en el uso de la tierra, 30,7% en energía, derivadas del consumo de combustibles fósiles, dentro de las cuales el subsector transporte aportó el 41% y el subsector de industrias manufactureras y de la construcción el 14%, 6,8% en el segmento de manejo de residuos y 3,5% del total en procesos industriales. En particular, dentro de las emisiones del sector transporte, el 78% provinieron del transporte terrestre y el 41% de las generadas en procesos industriales derivaron del cemento.

En efecto, el Plan de Acción Sectorial de Mitigación (PAS) del Sector de Transporte destaca a esta rama como un actor importante en las emisiones nacionales. En particular, el transporte de carga y pasajeros²⁰ aporta el 12% de los GEI emitidos por el país (correspondientes a 20 millones de toneladas en el año 2009), siendo las emisiones generadas por los medios de transporte vial²¹ responsables del 90% de dicha cantidad (18 millones de toneladas) (Ministerio de Transporte, 2014)²².

Según las proyecciones del PAS a 2040, las emisiones del sector aumentarán hasta representar 42 millones de toneladas, dentro de las cuales las emisiones generadas por los medios de transporte vial participarían con un 80% (33,6 millones de toneladas). Bajo estas estimaciones, en tan sólo tres décadas las emisiones del transporte aumentarían un 87%, en línea con un crecimiento de la actividad productiva, un aumento de la población y un incremento de la demanda por carreteras.

Las metas NDC actualizadas del sector en Colombia plantean medidas de mitigación, como la promoción de la movilidad sostenible, la modernización del parque automotor de carga, potenciar el modo de transporte fluvial a través del Río Magdalena, diseño de ciudades que optimicen la movilidad y la rehabilitación del corredor férreo La Dorada-Chiriguaná, entre otras.

De forma complementaria, se han adoptado medidas y lineamientos sectoriales que abarcan al subsector de construcción de infraestructura. Dentro de las cuales, cabe destacar, la incorporación de la variable de cambio climático en las concesiones de infraestructura 5G y los lineamientos de la Infraestructura Verde Vial.

¹⁹ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022). Informe del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 1990-2018 y Carbono Negro 2010-2018 de Colombia. Tercer informe bienal de actualización de cambio climático, BUR3. Dirigido a la convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

²⁰ En este caso se incluyen las emisiones generadas por cada subsector; terrestre (90%), aéreo (4,5%), Fluvial (5,5%), férreo (0,37%).

²¹ Vehículos y redes para garantizar la movilidad de carga y pasajeros

²² Ministerio de Transporte. (2014). Plan de acción sectorial de mitigación (PAS) sector transporte. [Enlace al documento](#)

2.2. Planes de mitigación

Los planes de mitigación del sector de construcción de infraestructura vial se concentran en dos ejes principales: 1) El uso eficiente y preferencia por materiales de construcción con menor impacto ambiental y 2) las mejoras en el proceso de ejecución, operación y mantenimiento de los proyectos.

Debido a que el acero y el cemento representan cerca de un 50% del total de las emisiones industriales a nivel global, la descarbonización de ambos insumos es fundamental para alcanzar los compromisos fijados en el Acuerdo de París.

2.2.1. Materiales de construcción

2.2.1.1. Cemento

El cemento es el tercer mayor consumidor de energía industrial, el segundo mayor emisor industrial de CO₂ y representa alrededor del 7% de las emisiones de Dióxido de Carbono a nivel mundial. De acuerdo con la Asociación Global de Cemento y Concreto (2021)²³ (GCCA por sus siglas en inglés), las emisiones del sector a 2020 registraron 2,5 Gt de CO₂.

Las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía (2021)²⁴ (AIE) apuntan a que la demanda por este producto continúe aumentando, llegando a ser un 20% más alta en 2050 en comparación con 2020, cuando las emisiones alcanzarían 3,8 Gt de CO₂. Lo anterior en ausencia de esfuerzos para optimizar su uso en edificios y construcción de carreteras y su proceso de producción.

Según la GCCA (2021), con el fin de cumplir con el Acuerdo de París a 2050, las principales acciones a ser tomadas por los participantes del sector cementero para alcanzar las emisiones netas cero están relacionadas con:

1. El ahorro en el proceso de producción de Clinker²⁵.
2. El reemplazo del cemento Portland por otras alternativas más sostenibles.
3. La captura y almacenamiento de carbono.
4. La eficiencia en la producción de hormigón²⁶.
5. El uso de fuentes de energía limpias.
6. La eficiencia en el diseño y la construcción de las obras (Gráfico 1).

Las proyecciones de la GCCA destacan que para 2030 las emisiones del sector serán un 25% menores con respecto a 2020, si estas medidas son implementadas efectivamente. Según sus estimaciones, con las acciones propuestas se evitaría que casi 1,1 Gt de CO₂

²³ Global cement and concrete association (2021). [Enlace al documento](#)

²⁴ International Energy Agency (2021). Net zero by 2050 a roadmap for the global energy sector. [Enlace al documento](#)

²⁵ Es un producto obtenido por medio del calcinamiento de caliza y arcilla, utilizado para la fabricación de cemento. El ahorro en el proceso de producción se presentaría utilizando fuentes de energía más limpias para su fabricación y materiales reciclados.

²⁶ Mezcla de cemento, arena y piedras, utilizado frecuentemente en el refuerzo del acero.

entre en la atmósfera, frente a un escenario sin cambios. No obstante, este esfuerzo deberá ser particularmente fuerte en los principales productores de cemento a nivel mundial: China (58%), India (7%) y Estados Unidos (4%).

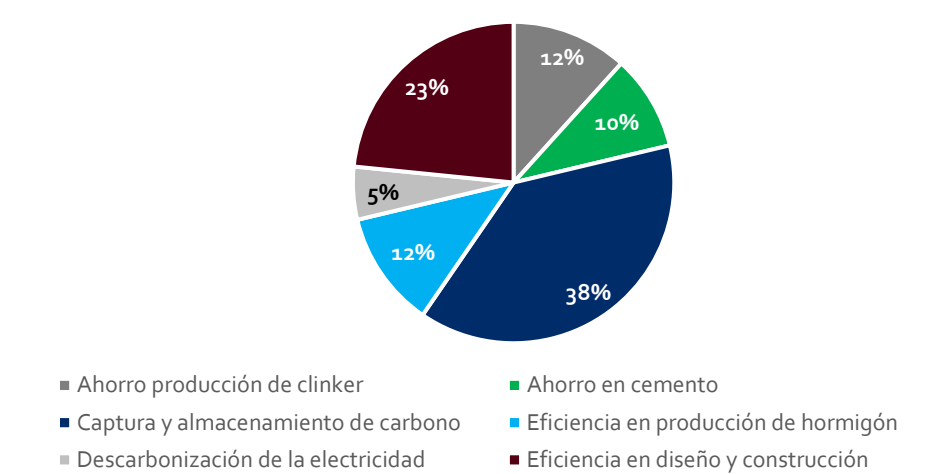
2.2.1.2. Acero

El acero es uno de los principales insumos que se utiliza en el proceso de la construcción de infraestructura vial. Sin embargo, el acero se encuentra entre los tres materiales de mayores emisiones de CO₂ a nivel global. Según cifras de la Asociación Mundial del Acero (2021)²⁷ (WSA por sus siglas en inglés), las emisiones registradas por este material en 2020 representaron entre el 7% y el 9% de los GEI y el 22% de las emisiones industriales de la Unión Europea.

Las proyecciones de la WSA sugieren que la demanda de acero crecerá un 12% para 2050, y las estimaciones de la AIE evidencian que la producción crecería de 1,9 Gt de CO₂ en 2019 a 2,5 Gt CO₂ en 2050. Por lo cual, es necesario satisfacer las condiciones la demanda requerida al tiempo que se realizan esfuerzos por reducir las emisiones asociadas a ello.

Según las estimaciones realizadas por la AIE (2021), las emisiones directas del sector siderúrgico deben caer un 50% para 2050 en relación con 2020 (0,9 Gt de CO₂), para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París²⁸. Para ello, se deben implementar un conjunto de estrategias de mitigación.

Gráfico 1. Porcentaje de contribución al logro de cero emisiones en 2050 del sector cementero



Fuente: GCCA.

²⁷ World steel association (2021), Climate change and the production of iron and steel. [Enlace al documento](#)

²⁸ Para ello, es importante destacar que China es el principal productor de acero del mundo (50%) y, según las declaraciones del Gobierno Chino en febrero de 2022, antes de llegar a la carbono-neutralidad, se necesita garantizar la seguridad energética y la estabilidad de sus cadenas de producción.

Según Climate Bonds Initiative (CBI) (2022)²⁹, la producción de acero fabricado con chatarra reciclable puede disminuir rápidamente el volumen de emisiones de GEI. Según sus cálculos, **la cantidad de emisiones por tonelada a partir de chatarra reciclable es un tercio en comparación con el esquema de producción convencional.**

De igual forma, aumentar la participación de la energía eléctrica de fuentes renovables para la elaboración de acero es fundamental, debido a la menor intensidad de emisiones en el proceso de fabricación del metal. Según CBI, **el 60% de la electricidad que usa el sector deberá ser producida a partir de energías renovables al año 2030 (hoy es 41%).**

Adicionalmente, dado que el acero es 100% reciclable, darle un uso eficiente puede reducir las emisiones de CO₂ en un 58%, la contaminación del aire en un 86% y la contaminación del agua en un 40%. En cuanto a la captura y almacenamiento de carbono, la AIE propone que los GEI generados en la producción de acero se purifique y se pueda reutilizar, como el hidrógeno, en el almacenamiento de energía o en la generación de combustible renovable.

Según las estimaciones de la AIE (2020)³⁰, 1) las mejoras tecnológicas y 2) el aumento de la eficiencia en el uso del material (reciclaje) representarán el 90% de la reducción acumulativa de las emisiones del sector a 2030, cumpliendo con el escenario del Acuerdo de París. En su estimación a 2050, aunque las proporciones cambian, ambos componentes continúan siendo los más relevantes (Gráfico 2).

2.2.2. Ciclo de vida de los proyectos

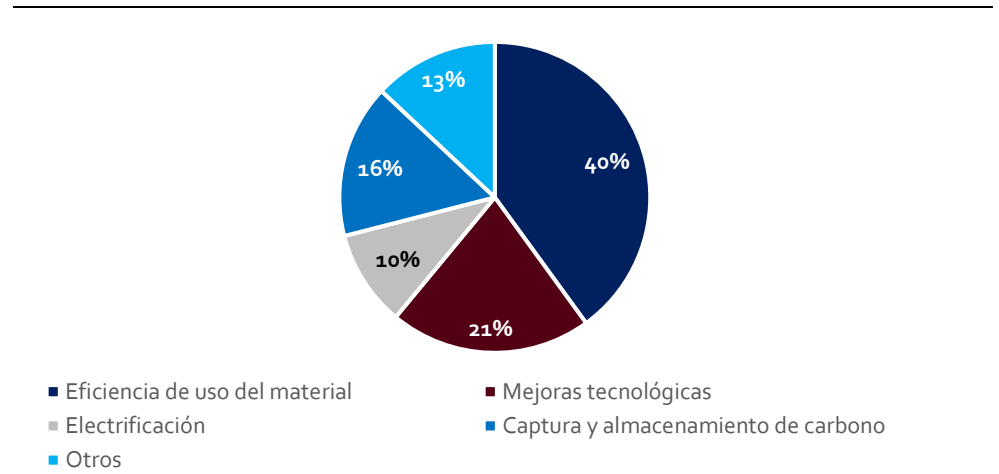
En el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura vial se generan emisiones y afectaciones directas sobre las condiciones ecosistémicas, como, por ejemplo: 1) la pérdida o alteración de las características físicas y químicas del suelo, 2) la contaminación de las fuentes de agua, 3) la generación de escombros y residuos sólidos, 4) la afectación de la oferta de recursos minerales y forestales, y 5) la pérdida de fauna, entre algunos de los daños más comunes.

Por lo cual, además de las emisiones e impactos ambientales asociados a los materiales de construcción, se han propuesto medidas para mitigar dichos impactos ambientales negativos en el contexto mundial y local.

²⁹ Climate bonds (2022). A green future for steel. [Enlace al documento](#)

³⁰ International Energy Agency (2020) Iron steel technology roadmap Towards more sustainable steelmaking. [Enlace al documento](#)

Gráfico 2. Reducción acumulativa de emisiones GEI directas entre 2020 y 2050 del sector de fabricación de acero



Fuente: AIE.

2.2.2.1. Medidas tomadas a nivel internacional

De acuerdo con las Naciones Unidas (2021), **desde las etapas más tempranas de los proyectos se deben contemplar consideraciones ambientales y de desarrollo sostenible, y se deben incorporar medidas de ubicación, trazados, diseño e ingeniería, para garantizar que la ejecución de los proyectos genere un beneficio ambiental neto positivo.** En esta línea, internacionalmente se han propuesto por ejemplo las siguientes acciones:

1. **Uso de datos geoespaciales y capacidad de modelación:** El uso de tecnologías en las fases de diseño y planeación, construcción, y operación y mantenimiento que permitan la optimización de recursos.

Por ejemplo, el Building Information Modelling (BIM) es una herramienta digital que permite un mejor entendimiento y capacidad para mitigar riesgos, al poder visualizar y analizar toda la información (geológica, hidrológica, geotérmica, ambiental, de predios) en un modelo 3D a partir de dispositivos inteligentes (Enriquez, 2018)³¹. Al centralizar la información de construcción y gestión de infraestructura, permite desarrollar el diseño preliminar de la vía, visualizando su interacción con el entorno, identificando superposiciones con humedales, parques nacionales y posibles conflictos por adquisición de predios, entre otras circunstancias³².

2. **Consideración de las características geográficas y priorización de las soluciones bajas en carbono:** Previo al inicio de la fase de construcción, se debe evaluar la topografía por donde pasa la vía, las condiciones de los suelos y las corrientes de agua. Por ejemplo, aprovechando las condiciones locales tales como un buen estado

³¹ Henriquez, P et al (2018). BIM, las tres letras de la construcción inteligente. [Enlace al documento](#)

³² Esta herramienta ya ha sido adoptada con éxito en Reino Unido, Corea del Sur, Francia, países escandinavos y EEUU, entre otros, por un poco más de una década.

de la vegetación, se puede permitir el desarrollo de corredores de transporte de menores emisiones relativas de carbono. Este tipo de acciones no se incorporan aun de forma generalizada.

3. **Garantizar criterios de sostenibilidad en los materiales:** La incorporación de criterios de emisiones en compras de materiales para minimizar la huella de carbono de los proyectos. Las Naciones Unidas recomienda implementar criterios basados en: 1) el ahorro de energía y 2) el uso de energías alternativas en su proceso de fabricación y en el transporte de materiales y trabajadores.
4. **Integración de principios de economía circular:** Los criterios de reutilización contribuyen a la reducción de emisiones. Por ejemplo, haciendo uso de asfalto y concreto reciclado, de modo que se pueda reducir la cantidad de GEI emitidos en el ciclo de vida de los proyectos. La reutilización de asfalto es una estrategia que se ha tomado en algunos estados de EE. UU. (Florida, Ohio, Missouri y Texas) desde hace un poco más de una década (West, 2014)³³.

Aunque a la fecha aún no se tienen estimaciones de cuál puede ser el impacto cuantitativo de estas medidas de mitigación en términos de emisiones, implementar estas recomendaciones traerá beneficios a través de toda la cadena de infraestructura vial, minimizando el efecto negativo sobre el medio ambiente y a la vez optimizando costos.

2.2.2.2. Medidas implementadas en Colombia

Según los **Lineamientos de Infraestructura Verde Vial** del MinTransporte y del MinAmbiente (2020)³⁴, los proyectos de construcción de carreteras que se diseñen y ejecuten en el país deben contemplar las medidas de manejo para mitigar los impactos ambientales que potencialmente puedan generar. Así, los lineamientos son clasificados de acuerdo con la etapa en la que se encuentren las obras de la siguiente forma:

1. **Etapa de prefactibilidad:** Identificar y seleccionar alternativas de proyectos que no afecten o que minimicen sus impactos sobre las Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA)³⁵, los corredores de conectividad ecológica, las áreas de distribución de fauna endémica o en condición de amenaza, y los cuerpos de agua.
2. **Factibilidad y diseños definitivos:** Elaborar estudios y diseños para incorporar lo evaluado en el punto 1, y agregar consideraciones de diseño para la generación de impactos ambientales netos positivos, formulando medidas de compensación en caso de registrar impactos negativos sobre los ecosistemas.

³³ West, C et al (2014). Case studies on successful utilization of reclaimed asphalt pavement and recycled asphalt singles in asphalt pavements. [Enlace al documento](#)

³⁴ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Lineamientos de infraestructura verde vial para Colombia (LIVV). [Enlace al documento](#)

³⁵ Hace referencia a áreas estratégicas en el ordenamiento, conservación y protección de los recursos naturales, Por ejemplo, el Río Magdalena.

3. **Construcción:** Minimizar la afectación sobre los cuerpos de agua, la flora y fauna involucrada y optimizar el uso de materiales con criterios de sostenibilidad, es decir, que sean reutilizables o que tengan un sello de fabricación sostenible.
4. **Operación y mantenimiento:** Empezar estrategias y acciones para preservar y consolidar los corredores de conectividad ecológica, realizar un inventario de cuerpos de agua y registrar el monitoreo de la flora y fauna silvestre.

Lo anterior está encaminado a orientar la estructuración de los proyectos de infraestructura carretera, con el fin de que contemplen, desde las etapas más tempranas de su planificación, consideraciones ambientales y de desarrollo sostenible para mitigar el efecto de su ciclo de vida sobre el medio ambiente.

Adicionalmente, **los concesionarios encargados del desarrollo de la infraestructura vial bajo la modalidad de APP tienen ahora la obligación de incluir la variable de cambio climático en el desarrollo de sus proyectos.** Lo anterior se ha incorporado ya en los contratos multimodales de quinta generación (5G), donde el concesionario tiene la obligación de desarrollar un programa de aporte sostenible, para garantizar la reducción de GEI y contrarrestar el cambio climático.

Específicamente, para el cumplimiento de este programa, el concesionario debe desarrollar estudios de vulnerabilidad climática y riesgo por cada unidad funcional, incorporar medidas de adaptación y mitigación en el diseño, construcción y operación de las vías e identificar los puntos más vulnerables a las amenazas del cambio climático.

Con la implementación de este programa, se traslada al concesionario el deber de monitorear y prevenir los impactos del cambio climático que inciden en la gestión del riesgo de los proyectos, e idear mecanismos y estrategias que garanticen la reducción de emisiones. Esto, además de contribuir a la mitigación del cambio climático, facilitará la financiación de algunos proyectos al añadir inversionistas con un enfoque ambientalmente responsable (para ver mayor detalle sobre medidas de mitigación implementadas en Colombia ver *Anexos*).

3. Retos y oportunidades de adaptación

Pese a los esfuerzos de mitigación de emisiones, los impactos de los choques climáticos ya se sienten y continuarán intensificándose en los años que vienen.

Según las Naciones Unidas (2021), los países en desarrollo son los más vulnerables a unas condiciones climáticas más extremas debido a: 1) su alta exposición a los desastres climáticos, 2) su poca capacidad de resiliencia y 3) su baja capacidad adaptativa.

En este contexto, para hacer frente a las amenazas del cambio climático, la infraestructura vial debe mejorar su capacidad de resistencia. La problemática radica en que, hasta el momento, el diseño de carreteras ha tenido en cuenta las condiciones climáticas como la precipitación, el viento o la temperatura históricas. No obstante, los cambios acelerados que se están produciendo evidencian la necesidad de nuevas

previsiones, que incorporen indicadores relacionados con una mayor probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, no contemplados hasta ahora (CAF, 2018)³⁶.

La adaptación al nuevo contexto requerirá un costo adicional. Las desafiantes condiciones climáticas impactarán dónde se construye la infraestructura vial, cómo se diseña y cómo se opera. También habrá una necesidad de infraestructura adicional, dedicada a la protección del clima, tal como mejores defensas contra el mar y protección contra inundaciones, interconexiones en el suministro de agua y adaptación, para mejorar la resiliencia de la infraestructura existente.

A raíz de esto, la finalidad de los planes de adaptación es reducir la vulnerabilidad frente a los choques climáticos e incrementar la capacidad de respuesta. Así, en caso de que la planificación y el diseño sigan ejecutándose sin tener en cuenta las nuevas condiciones, es probable que los proyectos no logren superar la vida útil para la cual fueron diseñados. Es primordial contar con vías capaces de soportar grandes lluvias o sequías, así como el aumento del nivel del mar y de otros cuerpos de agua. Para ello, es fundamental el desarrollo de políticas públicas de adaptación aplicables a unas condiciones más complejas.

3.1. Exposición del sector a riesgos climáticos

El cambio climático afecta en gran medida el sector de infraestructura vial. Entre los factores que causan alteraciones están incluidos: 1) las modificaciones de las lluvias, 2) el aumento de la temperatura, 3) el incremento del nivel del mar y otros cuerpos de agua, y 4) el cambio en el régimen de precipitaciones, entre otros. En efecto, **la mayor frecuencia y magnitud de estos eventos durante los próximos años acelerará el desgaste de las estructuras, lo que resulta en la necesidad de adaptar las obras a unas condiciones más desafiantes**³⁷.

El diseño estructural de los proyectos de infraestructura vial, en la mayoría de los casos, se ha basado en los modelos climáticos previos; sin considerar las posibles alteraciones extremas que se puedan presentar ahora con mayor frecuencia, lo que resultaría en mayores costos de adaptación y costos económicos ante la ocurrencia de algún evento extremo.

Como resultado de lo anterior, **la infraestructura resiliente, planificada, diseñada, construida y operada para funcionar en condiciones altamente cambiantes se ha vuelto crucial para planificar un futuro incierto** (Hoffman, 2020)³⁸. Para resistir, responder y restaurarse rápidamente ante los choques climáticos, según las Naciones Unidas (2021), los proyectos deberían ser construidos teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes riesgos:

³⁶ CAF (2018). Carreteras, cambio climático y medidas de adaptación. [Enlace al documento](#)

³⁷ A modo de ejemplo, cuando el huracán Sandy en 2012 impactó la Costa Este de Estados Unidos y los países del Caribe (Haití, Jamaica, Cuba y Bahamas) causó fuertes inundaciones y provocó el daño de vías principales, carreteras y puentes. 6 años después, el huracán Leslie (España, Francia y Portugal) en el 2018 generó daños en la infraestructura vial, disminuyó la circulación de vehículos e impactó en particular las estructuras de puentes.

³⁸ Hoffman, B (2020). La infraestructura resiliente es crucial al planificar para un futuro incierto. [Enlace al documento](#)

1. **Malformaciones en las vías:** agrietamientos y ablandamiento del asfalto debido a las altas temperaturas.
2. **Deslizamientos,** sobrecarga en los drenajes e incremento de la erosión de la tierra por una mayor precipitación.
3. **Hundimientos:** se presentan por la erosión de los materiales de soporte de la estructura debido a la variación del estado de la humedad del suelo.
4. **Huecos:** ocasionados por una depreciación en la superficie del pavimento, generada por la propagación y fisuras causadas e intensificadas por agentes climáticos.

En una época de agravamiento de los riesgos climáticos y de desastres, los países no tienen otra opción que planificar mejor e invertir más en infraestructura resiliente, para afrontar los desafíos que plantea la expansión de la red vial y sostener el crecimiento económico.

3.1.1. Exposición de la infraestructura vial en Colombia

Según el Índice de Exposición de Desastre de choques climáticos (IED) del BID (2013)³⁹, Colombia es de los países con menor vulnerabilidad en la región cuando se tiene en cuenta eventos climáticos relacionados con 1) inundaciones, 2) lluvias y tormentas, y 3) deslizamientos (Ver Gráfico 3). Sin embargo, estos resultados no sugieren que el país sea inmune a los desastres naturales.

La inundación ocasionada por el fenómeno de La Niña en 2010-2011 refleja claramente dicha vulnerabilidad. Ante lo ocurrido se afectaron más de 1.600 kilómetros de infraestructura vial, equivalentes al 9,7% de la red primaria, se vieron impactados 92 puentes de la red nacional, y se requirió la rehabilitación de más de 53 tramos viales nacionales. En total, estos daños se estimaron en 3,23 billones de pesos (MinAmbiente, 2016).

Según cálculos del Ministerio de Transporte (2015)⁴⁰, el riesgo frente al cambio climático de la red vial primaria para el 2040 muestra que: 1) el 39% de las vías analizadas (5.800 kilómetros) presentan un nivel alto y muy alto, 2) el 32% (5.200 kilómetros) un nivel medio y 3) solo el 29% (5.600 kilómetros) un nivel bajo y muy bajo. Además, los aumentos de temperatura impondrán presiones importantes al año 2040 y 2070 sobre las carreteras costeras del caribe y algunas vías en la zona andina y cordillera oriental. Según sus estimaciones, en 2100 estas presiones se habrán extendido sobre casi toda la red vial primaria existente. En particular, los cambios de temperatura modificarán el ciclo del agua, la humedad relativa y tendrán un gran impacto sobre el entorno de las vías.

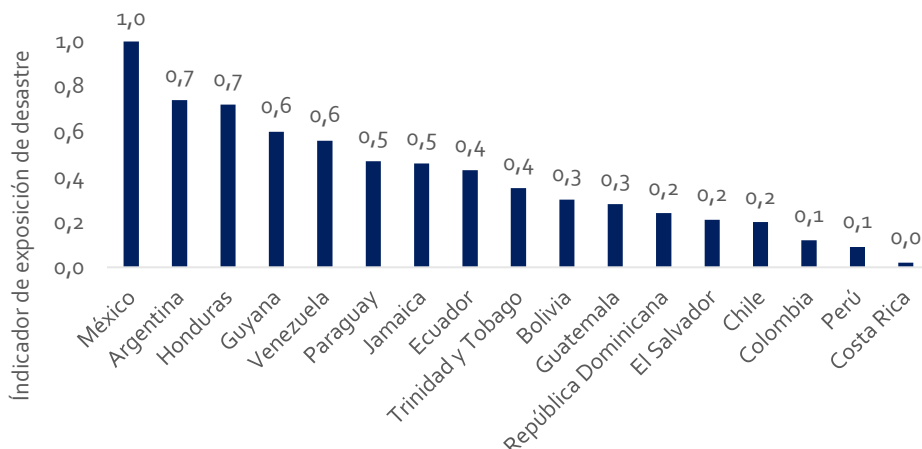
De la misma forma, el DNP (2014)⁴¹ encontró que las vías estarían cerradas el 5,9% del tiempo entre 2010 y 2100 por efectos de deslizamientos asociados a la precipitación.

³⁹ BID (2013). Climate Change and Extreme Weather Events in Latin America: An Exposure Index. Technical Note. No. IDB-TN-490.

⁴⁰ Ministerio de Transporte (2015). La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático. Estudio de riesgo climático para la red vial primaria de Colombia a nivel nacional. Resumen Ejecutivo.

⁴¹ DNP (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia. [Enlace al documento](#)

Gráfico 3. Índice de Exposición de Desastre (IED)



Fuente: BID. Puntaje = 1 son las zonas más expuestas.

Esto representaría un enorme costo económico y social para el país, por lo que contar con vías capaces de soportar grandes lluvias o sequías, así como el aumento del nivel del mar y de otros cuerpos de agua, es fundamental.

3.2. Cambios en la planeación de los proyectos

Las etapas de evaluación, diseño y planificación juegan un papel fundamental en el futuro de los proyectos de infraestructura vial en el marco del cambio climático.

Puesto que durante estas fases se establecen los objetivos de las obras, se presentan las condiciones ambientales y se identifican las prioridades para el desarrollo de los proyectos, incluir la vulnerabilidad frente a los choques climáticos es fundamental. En efecto, durante las fases tempranas de los proyectos se incorporan prácticas y criterios para lograr una infraestructura verde y resiliente.

Ante esto, es importante tener presente los esfuerzos que se han ejecutado tanto a nivel internacional como a nivel local, con el fin de tener un marco de referencia de planeación y diseño de los proyectos de cara a los próximos años.

3.2.1. Infraestructura verde

Según la Comisión Europea (2014)⁴² (CE), la *infraestructura verde* puede definirse como una red planificada de zonas naturales y seminaturales, diseñada y gestionada para proporcionar una amplia oferta de servicios ecosistémicos⁴³ y proteger la biodiversidad de las zonas donde se realice la construcción de los proyectos.

Este tipo de infraestructura es complementaria a los proyectos tradicionales y describe un sistema interconectado de elementos naturales (árboles, humedales, corrientes

⁴² Comisión Europea (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. [Enlace al documento](#)

⁴³ Los servicios ecosistémicos son la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad humana. Por ejemplo, proporcionar alimentos, agua, regular enfermedades y el clima, ofrecer recreativos y culturales, entre otros.

agua) desde el punto de vista de los servicios que proporciona a las personas, como regulación hidrológica o control de la erosión. Particularmente, en las etapas de planificación y diseño se integran consideraciones ambientales para evitar o para minimizar los impactos sobre los ecosistemas involucrados.

En este sentido, la Comisión Europea (2014)⁴⁴ destaca a la *infraestructura verde* como una herramienta de eficiencia, que aporta múltiples beneficios en materia social⁴⁵, económica⁴⁶ y medioambiental⁴⁷. En contraste con la infraestructura gris, dentro de su objetivo también se encuentra aumentar la captura de carbono, mejorar la calidad del aire y crear hábitats adicionales para la vida silvestre.

No obstante, uno de los grandes retos asociados al desarrollo de infraestructura verde es que su implementación es relativamente nueva. Por lo cual, el proceso de ejecución no está exento de desafíos en términos de referentes e indicadores estandarizados de ejecución.

En Europa se ha demostrado que la infraestructura verde ha contribuido al crecimiento económico de la región, promoviendo enfoques innovadores y creando nuevos negocios ecológicos. En particular, los empleos verdes⁴⁸ representan alrededor del 5% del mercado laboral. En este sentido, se reconoce que la infraestructura verde contribuye a una serie de políticas cuyo objetivo se puede alcanzar mediante soluciones naturales⁴⁹.

Como muestra de esto, se han iniciado mejoras en la red vial con la ejecución de puentes verdes sobre las autopistas o ecoductos. Este grupo de infraestructura cuenta con puentes elevados de vegetación, con el fin de conectar las zonas separadas por las obras de infraestructura vial⁵⁰. De este modo, se garantiza la seguridad de la fauna y la captura de dióxido de carbono.

3.2.2. Construcción de una infraestructura resiliente

Durante la fase de planeación de los proyectos de infraestructura vial es necesario construir una base sólida de adaptación al cambio climático basada en la información disponible, y en la contextualización topográfica de las obras. Según la Oficina de Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (2015)⁵¹ (UNDRR por sus siglas en inglés), la resiliencia de la infraestructura comprende la 1) prevención, 2) absorción, 3) recuperación y 4) adaptación oportuna y eficiente de las estructuras y

⁴⁴ Comisión Europea (2014), Construir una infraestructura verde para Europa. [Enlace al documento](#)

⁴⁵ 1) Mejora del manejo del agua pluvial, 2) reducción del ruido, 3) condiciones térmicas más agradables, 4) regeneración en el paisaje, y 5) disminución en problemas de salud respiratoria.

⁴⁶ 1) Aumento en las tasas de empleo e, 2) incremento en el valor de las propiedades que se encuentran alrededor del proyecto.

⁴⁷ 1) Mitigación en las islas de calor; las islas de calor son producidas por la gran cantidad de hormigón y demás materiales absorbentes de calor en las infraestructuras, 2) aumento en la captación de dióxido de carbono, 3) ahorro de energía y reducción en las emisiones de GEI, 4) reducción en la emisión de partículas en suspensión en el aire, y 5) mejoras en la biodiversidad.

⁴⁸ Hace referencia a empleos creados en el proceso de transición hacia una economía verde generando reducciones las presiones sobre el capital natural.

⁴⁹ Por ejemplo, su rol es reconocido en el VII Programa de Acción en materia de Medioambiente (EAP), en la política regional 2014-2020, en la Directiva marco del agua, en la Directiva sobre nitratos y en la Directiva sobre inundaciones.

⁵⁰ Como muestra de esto, en Girona (España) se encuentra un puente verde constituido por 60 metros de largo y 20 de ancho que cuenta con barreras protectoras en los laterales del puente. Su objetivo principal es unir dos zonas boscosas divididas, que son atravesadas por una de las principales vías del país.

⁵¹ Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (2015). Con pasos firmes hacia infraestructuras resilientes. [Enlace al documento](#)

funciones esenciales de la infraestructura vial que podría estar expuesta a choques climáticos.

Para cumplir el objetivo de adaptar la infraestructura a los nuevos retos, Mendoza, et al (2019)⁵² destacan 5 etapas que debe incluir el proceso de planeación dentro de los proyectos:

- 1. Identificación del riesgo:** Se basa en dos enfoques: 1) analizar toda la red que pueda estar en riesgo, e 2) identificar los lugares de riesgo en los tramos carreteros previamente analizados.
- 2. Evaluación de la vulnerabilidad:** La vulnerabilidad se define en función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático, así como la variación a la que cada tramo del proyecto está expuesto. Los autores recomiendan evaluar el grado en que se podría ver afectada la obra por los choques climáticos y su capacidad de adaptación, para construir un indicador de vulnerabilidad de cada tramo.
- 3. Análisis de riesgo:** Consiste en determinar las probabilidades de ocurrencia y la consecuencia de los eventos de riesgo identificados previamente.
- 4. Determinación de las medidas de adaptación:** Planteamiento de la medida de adaptación conforme al riesgo identificado. Una vez elegida la medida de adaptación, se debe optimizar su medición para garantizar la resiliencia de cada uno de los tramos elegidos.
- 5. Priorización de las medidas de adaptación:** Evaluar los proyectos de inversión y asignar prioridades para las medidas de adaptación, seleccionadas, a través de criterio económicos, técnicos, sociales y ambientales.

De acuerdo con la UNDRR (2015), la infraestructura resiliente requiere tanto la creación de capacidad para cada una de las fases de la gestión de riesgos, como el reconocimiento de: 1) la naturaleza cambiante de los riesgos y la incertidumbre, 2) las condiciones cada vez más desafiantes de los riesgos, y 3) la necesidad de utilizar métodos interdisciplinarios y sistémicos, que consideren tanto el ciclo de vida de la infraestructura vial como su carácter multisectorial.

3.3. Infraestructura adaptativa en Colombia

Gran parte de la red vial construida en el país se encuentra en alto riesgo de vulnerabilidad frente a los choques climáticos (ver sección 3.1.1). Como se expuso previamente, el fenómeno de la Niña 2010-2011 tuvo afectaciones directas y ocasionó restricciones a la conectividad terrestre e impactos subsecuentes a demás sectores de la economía. Así, su ocurrencia demostró que los fenómenos climáticos extremos generan grandes costos sociales y económicos para el país.

⁵² Mendoza, F (2019). Marco Metodológico para la adaptación de la infraestructura carretera ante el cambio climático en México. [Enlace al documento](#)

Dado que la frecuencia y magnitud de estos fenómenos aumentará, es imprescindible que el sector de infraestructura vial implemente estrategias y ejecute medidas para anticipar los daños generados por los choques climáticos, prevenga los riesgos asociados y se prepare de manera efectiva.

Frente a esto, el **Plan de Adaptación al Cambio Climático** (PNACC) del DNP y el MinAmbiente, busca crear las condiciones y brindar recomendaciones para reducir la vulnerabilidad del país, e incrementar la capacidad de respuesta a los impactos de los choques climáticos. En particular, para el sector de infraestructura vial el PNACC destaca las siguientes recomendaciones para las fases de evaluación, diseño y planeación (MinAmbiente, 2016)⁵³:

1. Diseñar nuevas obras de infraestructura (vías y puentes) con características y materiales que le otorguen resiliencia frente al cambio climático.
2. Evaluar mecanismos de protección financiera de riesgos a las obras de infraestructura vial.
3. Mejorar la integración de la planificación del transporte con la generación de políticas de planificación rural y ordenamiento del territorio.

De igual manera, dentro de los **Lineamientos de Infraestructura Verde Vial** del MinTransporte y del MinAmbiente, mencionados en la sección 2.2.2, se enfatizan una serie de recomendaciones para el proceso de adaptación de las nuevas obras durante las fases de planeación y diseño:

1. **Evaluar e identificar las opciones de adaptabilidad** a los choques climáticos.
2. Estudiar y **aprovechar las condiciones locales** como la topografía, el clima y la vegetación para que se permitan desarrollar las condiciones de adaptabilidad más costo-eficientes.
3. **Reutilizar materiales** como la grava, la ceniza, el acero y el hormigón en la fase de construcción.

Con estas recomendaciones, se busca definir las líneas prioritarias para la adaptación al cambio climático en el país, encaminadas a la reducción del riesgo, y los impactos asociados al cambio climático, así como al aprovechamiento de oportunidades. De igual modo, el plan define las acciones de adaptación que requiere la red primaria del sector.

Adicionalmente, se crea una hoja de ruta que irá actualizándose cada 5 años en función de los nuevos avances y descubrimientos. En particular, **este plan se convierte en una herramienta continua de innovación para la adaptación de vías primarias, que busca contribuir a integrar la gestión del cambio climático, la gestión ambiental y la gestión del riesgo, con el fin de garantizar la sostenibilidad y el desarrollo del sector.**

⁵³Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. [Enlace al documento](#)

En resumen, el Plan Vías CC recomienda 5 ejes de acción para adaptar la infraestructura nueva y existente a los nuevos retos climáticos. Estos ejes son:

- 1) Vías adaptadas con materiales más sostenibles y consideraciones climáticas más exigentes.
- 2) Gestión eficiente de la información y el conocimiento.
- 3) Fortalecimiento de la capacidad institucional.
- 4) Sensibilización, educación y comunicación de los agentes involucrados en el proceso de planeación, ejecución y operación de las vías.
- 5) Actualización normativa que se ajuste a las condiciones más desafiantes.

Como resultado de lo anterior, el plan plantea la generación de un *Mapa Nacional de Vulnerabilidad y Riesgo* asociado a los choques climáticos, que actúe como punto de partida y que permita identificar y priorizar los tramos viales más vulnerables, que están expuestos a un mayor riesgo. Esto facilitará al sector implementar las medidas de adaptación requeridas.

Este plan ha generado una base sólida con información que se refleja en el Estudio de riesgo climático para la red vial primaria de Colombia a *Nivel Nacional*, el cual cuenta con la evaluación de 16 mil kilómetros de carreteras, divididos en 306 tramos, lo que le ha permitido al DNP y al Ministerio de Transporte priorizar los tramos viales de alto riesgo y hacer un análisis para establecer las medidas de adaptación adecuadas.

Así, los diferentes programas fortalecen el entendimiento de lo que es el riesgo climático y cómo impactará el sector a futuro. Además de tener información de las principales áreas de riesgo asociadas al cambio climático, sus resultados sirven para tomar decisiones en materia de planificación de la infraestructura vial y así adoptar las medidas de adaptación adecuadas (para mayor detalle sobre medidas de adaptación implementadas en Colombia ver *Anexo*).

4. Una oportunidad para el desarrollo de la infraestructura vial sostenible

El cambio climático es considerado un reto y a la vez una gran oportunidad para innovar en la forma como se planifican los temas sectoriales, las ciudades y los países. En efecto, **el desarrollo compatible con el clima permite enfocar la acción de manera más integral, incluyendo la adaptación y la mitigación del cambio climático como un incentivo para lograr un desarrollo sostenido y duradero.**

Aunque el camino de la adaptación represente importantes retos en el mediano y largo plazo, es también una oportunidad para seguir mejorando y transformando los procesos de desarrollo de la infraestructura vial. En particular, la adaptación permitirá transformar la planificación del sector y de la infraestructura hacia una visión de largo plazo, incorporando horizontes de transformación de 20, 30 y 50 años, en función de unas condiciones climáticas más desafiantes.

A pesar de que los costos de adaptación iniciales sean altos, se convierten en inversiones de largo plazo. Así, las entidades que reglamentan y coordinan la operación del sector tienen la oportunidad de orientar la manera de construir infraestructura vial en Colombia, generando oportunidades de desarrollo, generación de empleos, competitividad y crecimiento económico.

Además, el cambio climático y la adaptación permiten integrar la investigación científica, así como la innovación en las prácticas a través de soluciones tecnológicas, biotecnológicas y mejores diseños. La promoción de una reorganización de las estructuras institucionales del sector y un mejor entendimiento y capacidad de respuesta del Estado y del sector privado ante los desafíos de este siglo es otra de las grandes oportunidades que tiene el sector en el marco del cambio climático.

Anexo

A. Medidas de mitigación puestas en marcha - Colombia

La política ambiental colombiana plantea que el Estado debe proteger la integridad ambiental, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental. Por esto, el decreto 1220 del 2005 define cuáles son los tipos de proyectos de infraestructura que requieren licenciamiento ambiental en Colombia.

Se debe precisar que la licencia ambiental es una autorización que otorga la autoridad ambiental para la ejecución de proyectos, obras o actividades que de acuerdo con la ley puedan producir deterioro en los recursos naturales o realizar modificaciones en el paisaje. Estas llevan implícito los permisos, autorizaciones y/o concesiones para el uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales renovables, que sean necesarios para el desarrollo y operación de un proyecto, obras o actividades.

Proyecto Tipo 1: Se consideran de alto impacto ambiental (construcción y ampliación de vías, construcción de elementos del sistema integrado de transporte masivo, construcción de obras y equipamiento de alcance metropolitano)

Proyecto Tipo 2: Construcciones con impacto moderado en el medio ambiente, no trascienden el área de influencia directa (construcción de ciclorrutas, puentes peatonales, plazas, restauración de edificios públicos, zonas comunales, construcción de estructuras de contención)

Proyecto Tipo 3: Se consideran de bajo impacto (tala de árboles, construcción de gradas en escenarios deportivos, instalación de señalización)

En Colombia, existen diferentes entidades ambientales que emiten y regulan la normatividad ambiental, como el Congreso de la República, Ministerio de Ambiente y

Desarrollo Sostenible, Corporación Autónoma Regional, IDEAM y las secretarías ambientales de cada ciudad o municipio. Las siguientes normas vigentes son algunas de las que deben cumplir las empresas en Colombia en materia de gestión ambiental:

1. **Resolución 1561 de 2019:** Establece los términos de referencia para elaborar los estudios de impacto ambiental, para poder tramitar las licencias ambientales de los proyectos de explotación de materias de construcción.
2. **Resolución 1447 de 2018:** Reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional frente a la reducción y remoción de emisiones de gases de efecto invernadero.
3. **Ley 1931 de 2018:** Define las directrices para la gestión de cambio climático de las personas públicas y privadas.
4. **Ley 1844 de 2017:** Adopta el acuerdo de París del convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
5. **Decreto 870 de 2017:** Crea el sistema de pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación
6. **Ley 1450 de 2011:** Plan de desarrollo- Artículo 223-226 directrices para los estudios de impacto ambiental.
7. **Decreto 2820 de 2010:** Reglamenta el tema de las licencias ambientales en el sector de hidrocarburos, minero, construcción, sector eléctrico, energía nuclear, sector marítimo y portuario, red vial, fluvial y terrestre.
8. **Ley 1023 de 2005:** Establece las guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación.
9. **Ley 23 de 1973:** Expide el código de recursos naturales y protección al medio ambiente para todo el territorio colombiano (artículos del 1-20).

B. Medidas de adaptación puestas en marcha -Colombia

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 ordenó la formulación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático para lograr el desarrollo sostenible.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)

A partir del 2012, Colombia inició su estrategia de adaptación al cambio climático mediante el PNACC. Desde entonces el PNACC define las líneas de acción para la adaptación al cambio climático, desarrolla las herramientas metodológicas, realiza el acompañamiento en procesos de planificación y formula las estrategias de adaptación.

Sus objetivos específicos son:

Objetivo 1: Gestionar el conocimiento sobre el cambio climático y sus potenciales consecuencias sobre las comunidades, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, y en la economía del país

Objetivo 2: Incorporar la adaptación al cambio climático en la planificación del desarrollo territorial y sectorial.

Objetivo 3: Promover la transformación del desarrollo para la adaptación al cambio climático con criterios de competitividad, sostenibilidad y equidad.

Más recientemente, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 definió la estrategia de Crecimiento Verde en el cual se busca fortalecer la planificación del desarrollo con criterios de adaptación al cambio climático.

Para el 2030, Colombia buscará enfocar sus esfuerzos en materia de adaptación hacia la articulación de otras metas globales, que aportan al aumento de la resiliencia:

1. Sinergias entre adaptación y mitigación.
2. Adaptación basada en socio-ecosistemas.
3. Articulación de la adaptación al cambio climático y gestión de riesgo, incluyendo el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana.
4. Adaptación de infraestructura básica y sectores de la economía.
5. Incorporación de consideraciones de adaptación y resiliencia en la planificación sectorial, territorial y desarrollo.
6. Fortalecimiento de las capacidades institucionales.
7. Promoción para la educación en cambio climático para generación de cambios de comportamiento.
8. Consolidación de territorios de paz con consideración de cambio climático.

Equipo de investigaciones económicas

Jose Ignacio López

Director Ejecutivo de Investigaciones Económicas

(+57-601) 3538787 Ext. 70009

jose.lopez@corficolombiana.com

Macroeconomía y Mercados

Julio César Romero

Economista Jefe

(+57-601) 3538787 Ext. 70231

julio.romero@corficolombiana.com

Laura Daniela Parra

Analista de Economía Local

(+57-601) 3538787 Ext. 70020

laura.parra@corficolombiana.com

Diego Alejandro Gómez

Analista de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 69628

diego.gomez@corficolombiana.com

Maria Paula Gonzalez

Analista de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 69987

paula.gonzalez@corficolombiana.com

Laura Gabriela Bautista

Analista de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 70496

gabriela.bautista@corficolombiana.com

Jenny Julieth Moreno

Practicante de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 70906

jenny.moreno@corficolombiana.com

Felipe Espitia

Especialista de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 70495

felipe.espitia@corficolombiana.com

Renta Variable

Andrés Duarte Pérez

Director de Renta Variable

(+57-601) 3538787 Ext. 70007

andres.duarte@corficolombiana.com

Finanzas Corporativas

Rafael España Amador

Director de Finanzas Corporativas

(+57-601) 3538787 Ext. 70019

rafael.espana@corficolombiana.com

Jaime Andres Cardenas

Analista de Inteligencia Empresarial

(+57-601) 3538787 Ext. 69798

jaime.cardenas@corficolombiana.com

Diana Valentina Lopez

Practicante de Investigaciones

(+57-601) 3538787 Ext. 69973

diana.lopez@corficolombiana.com

Análisis Sectorial y Sostenibilidad

Maria Camila Orbezo

Directora de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 70497

maria.orbezo@corficolombiana.com

Jose Luis Mojica

Analista de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 69964

jose.mojica@corficolombiana.com

Juan Camilo Pardo

Analista de Sectores y Sostenibilidad

(+57-601) 3538787 Ext. 69973

juan.pardo@corficolombiana.com

ADVERTENCIA

El presente informe fue elaborado por el área de Investigaciones Económicas de Corficolombiana S.A. ("Corficolombiana") y el área de Análisis y Estrategia de Casa de Bolsa S.A. Comisionista de Bolsa ("Casa de Bolsa").

Este informe y todo el material que incluye no fue preparado para una presentación o publicación a terceros, ni para cumplir requerimiento legal alguno, incluyendo las disposiciones del mercado de valores.

La información contenida en este informe está dirigida únicamente al destinatario de la misma y es para su uso exclusivo. Si el lector de este mensaje no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución que se haga de éste se encuentra totalmente prohibida. Si usted ha recibido esta comunicación por error, por favor notifique inmediatamente al remitente.

La información contenida en el presente documento es informativa e ilustrativa. Corficolombiana y Casa de Bolsa no son proveedores oficiales de precios y no extienden ninguna garantía explícita o implícita con respecto a la exactitud, calidad, confiabilidad, veracidad, integridad de la información presentada, de modo que Corficolombiana y Casa de Bolsa no asumen responsabilidad alguna por los eventuales errores contenidos en ella. Las estimaciones y cálculos son meramente indicativos y están basados en asunciones, o en condiciones del mercado, que pueden variar sin aviso previo.

LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL PRESENTE DOCUMENTO FUE PREPARADA SIN CONSIDERAR LOS OBJETIVOS DE LOS INVERSIONISTAS, SU SITUACIÓN FINANCIERA O NECESIDADES INDIVIDUALES, POR CONSIGUIENTE, NINGUNA PARTE DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL PRESENTE DOCUMENTO PUEDE SER CONSIDERADA COMO UNA ASESORÍA, RECOMENDACIÓN PROFESIONAL PARA REALIZAR INVERSIONES EN LOS TÉRMINOS DEL ARTÍCULO 2.40.1.1.2 DEL DECRETO 2555 DE 2010 O LAS NORMAS QUE LO MODIFIQUEN, SUSTITUYAN O COMPLEMENTEN, U OPINIÓN ACERCA DE INVERSIONES, LA COMPRA O VENTA DE INSTRUMENTOS FINANCIEROS O LA CONFIRMACIÓN PARA CUALQUIER TRANSACCIÓN. LA REFERENCIA A UN DETERMINADO VALOR NO CONSTITUYE CERTIFICACIÓN SOBRE SU BONDAD O SOLVENCIA DEL EMISOR, NI GARANTÍA DE SU RENTABILIDAD. POR LO ANTERIOR, LA DECISIÓN DE INVERTIR EN LOS ACTIVOS O ESTRATEGIAS AQUÍ SEÑALADOS CONSTITUIRÁ UNA DECISIÓN INDEPENDIENTE DE LOS POTENCIALES INVERSIONISTAS, BASADA EN SUS PROPIOS ANÁLISIS, INVESTIGACIONES, EXÁMENES, INSPECCIONES, ESTUDIOS Y EVALUACIONES.

El presente informe no representa una oferta ni solicitud de compra o venta de ningún valor y/o instrumento financiero y tampoco es un compromiso por parte de Corficolombiana y/o Casa de Bolsa de entrar en cualquier tipo de transacción.

Corficolombiana y Casa de Bolsa no asumen responsabilidad alguna frente a terceros por los perjuicios originados en la difusión o el uso de la información contenida en el presente documento.

Certificación del analista

EL(LOS) ANALISTA(S) QUE PARTICIPÓ(ARON) EN LA ELABORACIÓN DE ESTE INFORME CERTIFICA(N) QUE LAS OPINIONES EXPRESADAS REFLEJAN SU OPINIÓN PERSONAL Y SE HACEN CON BASE EN UN ANÁLISIS TÉCNICO Y FUNDAMENTAL DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA, Y SE ENCUENTRA(N) LIBRE DE INFLUENCIAS EXTERNAS. EL(LOS) ANALISTA(S) TAMBIÉN CERTIFICA(N) QUE NINGUNA PARTE DE SU COMPENSACIÓN ES, HA SIDO O SERÁ DIRECTA O INDIRECTAMENTE RELACIONADA CON UNA RECOMENDACIÓN U OPINIÓN ESPECÍFICA PRESENTADA EN ESTE INFORME.

Información de interés

Algún o algunos miembros del equipo que participó en la realización de este informe posee(n) inversiones en alguno de los emisores sobre los que está efectuando el análisis presentado en este informe, en consecuencia, el posible conflicto de interés que podría presentarse se administrará conforme las disposiciones contenidas en el Código de Ética aplicable.

CORFICOLOMBIANA Y CASA DE BOLSA O ALGUNA DE SUS FILIALES HA TENIDO, TIENE O POSIBLEMENTE TENDRÁ INVERSIONES EN ACTIVOS EMITIDOS POR ALGUNO DE LOS EMISORES MENCIONADOS EN ESTE INFORME, SU MATRIZ O SUS FILIALES, DE IGUAL FORMA, ES POSIBLE QUE SUS FUNCIONARIOS HAYAN PARTICIPADO, PARTICIPEN O PARTICIPARÁN EN LA JUNTA DIRECTIVA DE TALES EMISORES.

Las acciones de Corficolombiana se encuentran inscritas en el RNVE y cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia, por lo tanto, algunos de los emisores a los que se hace referencia en este informe han, son o podrían ser accionistas de Corficolombiana.

Corficolombiana hace parte del programa de creadores de mercado del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, razón por la cual mantiene inversiones en títulos de deuda pública, de igual forma, Casa de Bolsa mantiene este tipo de inversiones dentro de su portafolio.

ALGUNO DE LOS EMISORES MENCIONADOS EN ESTE INFORME, SU MATRIZ O ALGUNA DE SUS FILIALES HAN SIDO, SON O POSIBLEMENTE SERÁN CLIENTES DE CORFICOLOMBIANA, CASA DE BOLSA, O ALGUNA DE SUS FILIALES.

Corficolombiana y Casa de Bolsa son empresas controladas directa o indirectamente por Grupo Aval Acciones y Valores S.A.