

Vías limpias y asequibles para combatir el cambio climático en Colorado

Informe resumido

Diciembre de 2025



Diseñado por SSG, diciembre de 2025.

Sustainability Solutions Group

*Imagen de la portada y contraportada:
Vista panorámica de Denver, Colorado. Foto
de aphotostory/stock.adobe.com*



Indian Peaks Wilderness, Colorado. Foto de John Fielder

Agradecimientos

El análisis y el informe fueron realizados por:

- Chris Strashok, SSG
- Sebastien Bonelli, SSG
- Yuill Herbert, SSG

Con el análisis de apoyo de:

- Wendy Jaglom-Kurtz, RMI

El informe fue encargado por los siguientes grupos:

- Fondo Educativo de Conservación Colorado
- GreenLatinos
- Rocky Mountain NAACP
- Proyecto de Eficiencia Energética del Suroeste (SWEEP)
- Western Resource Advocates (WRA)

SSG también desea expresar su gratitud a las siguientes organizaciones por los valiosos comentarios que proporcionaron para la elaboración de este informe:

- Condado de Boulder
- Comunidades de Colorado por la Acción Climática (CC4CA)
- Instituto Fiscal de Colorado
- CoPIRG
- Cultivando
- Earthjustice
- Eco-Cycle
- Fondo de Defensa Ambiental
- Environment Colorado
- Interwest Energy Alliance
- Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales (NRDC)
- Recableando América
- RMI
- Sierra Club
- The Nature Conservancy
- 350 Colorado

Resumen

El cambio climático ya está afectando a los coloradenses: incendios forestales más frecuentes, sequías y olas de calor cada vez más severas, empeoramiento de la calidad del aire y lluvias torrenciales y extremas que provocan graves inundaciones y miles de millones de dólares en daños y pérdidas económicas.¹

Colorado ha tomado medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El estado estableció por primera vez en 2019 unos objetivos de reducción de las emisiones de GEI basados en datos científicos, y ahora tiene como objetivo reducir las emisiones de GEI en un 26 % para 2025, un 50 % para 2030, un 65 % para 2035, un 75 % para 2040, el 90 % para 2045 y el 100 % para 2050 (todos ellos en relación con los niveles de emisiones de 2005).

Este estudio evalúa y compara los avances que se esperan de las políticas climáticas y energéticas existentes en Colorado y examina las medidas adicionales que podría adoptar el estado para garantizar el cumplimiento de los objetivos legales de reducción de GEI basados en datos científicos.

¹ Aunque estos fenómenos no pueden atribuirse exclusivamente al cambio climático, este aumenta su frecuencia y gravedad. En 2021, solo el incendio Marshall causó daños estimados en 2000 millones de dólares. Whelton, A. J., Seidel, C., Wham, B. P., Fischer, E. C., Isaacson, K., Jankowski, C., ... y Ley, C. (2023). El incendio Marshall: necesidades científicas y políticas para la respuesta ante desastres en los sistemas de agua. *AWWA Water Science*, 5(1), e1318.

Las principales conclusiones de este estudio son las siguientes:

- Los costes energéticos de los habitantes de Colorado aumentarían si se detuvieran o se revirtieran las políticas de energía limpia existentes.
- Sin medidas adicionales, Colorado no cumplirá los objetivos climáticos establecidos por ley.
- Cumplir los objetivos legales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es posible y económicamente beneficioso, además de reducir drásticamente la contaminación atmosférica local.
- En todos los escenarios en los que se alcanzan los objetivos de Colorado en materia de gases de efecto invernadero, las facturas energéticas de los habitantes de Colorado son más bajas en comparación con las facturas energéticas actuales y con las facturas previstas en virtud de las políticas actuales. Los escenarios que hacen hincapié en la eficiencia energética y la electrificación también reducen el número de hogares con cargas energéticas en Colorado.

Las medidas políticas adoptadas hasta la fecha han reducido las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en el sector del suministro eléctrico.

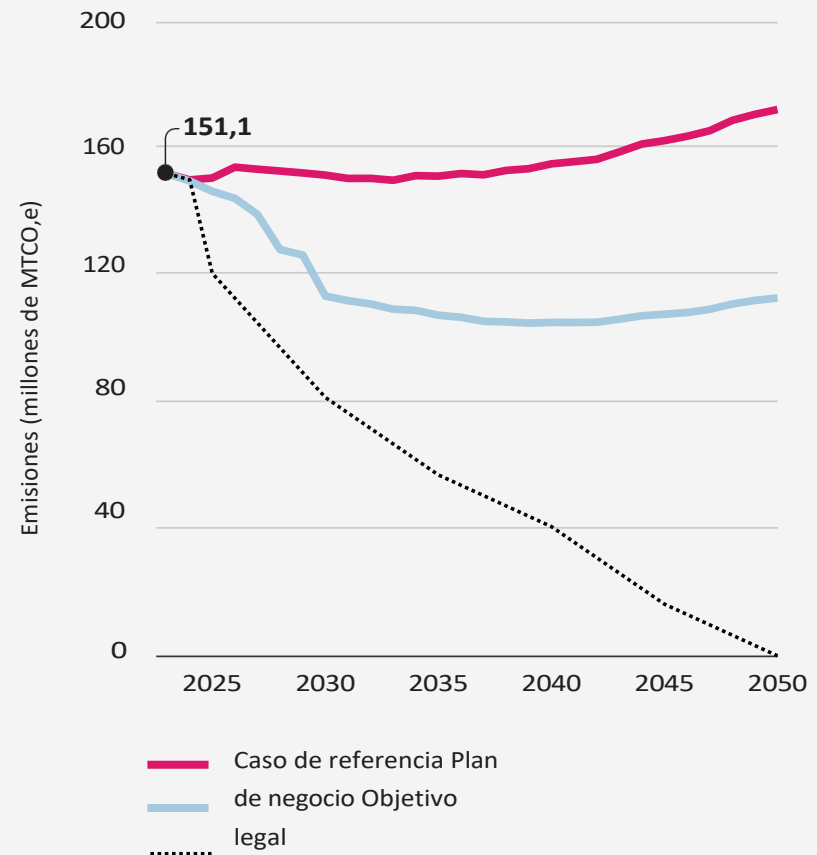
Sin embargo, a pesar de este importante avance, las emisiones han aumentado en otros sectores, como el del transporte, y, como resultado, las emisiones de Colorado en 2023 fueron comparables a las de 2005. Para 2030, se prevé que las políticas climáticas existentes en Colorado reduzcan las emisiones de GEI es en toda la economía en un 25 % con respecto a las emisiones de 2023, o en un 26 % con respecto a los niveles de 2005.

En los próximos años, la diferencia entre la trayectoria actual de las emisiones y los objetivos de GEI del estado se ampliará. A pesar de los importantes avances, se prevé que Colorado no alcance sus objetivos climáticos en 26 millones de MTCO_2e en 2025, 32 millones de MTCO_2e en 2030, 50 millones de MTCO_2e en 2035 y 64 millones de MTCO_2e en 2040, 91 millones de MTCO_2e en 2045 y 112 millones de MTCO_2e en 2050.

Resumen

Figura 1.

Trayectorias de emisiones previstas en los escenarios de referencia y de continuidad (BAP). El escenario de referencia representa una extrapolación del crecimiento demográfico y las tecnologías actuales, mientras que el escenario de continuidad aplica las políticas climáticas existentes.



El análisis indica que no alcanzar estos objetivos tiene amplios costes de pérdida de oportunidades, incluyendo mayores costes energéticos, mayores niveles de pobreza energética, mayores niveles de contaminación atmosférica, peores efectos sobre la salud y oportunidades perdidas de desarrollo económico. También señala el hecho de que son necesarias medidas adicionales para que el Estado alcance sus objetivos legales de reducción de emisiones basados en datos científicos.

El estudio modeló cuatro escenarios para cumplir los objetivos climáticos de Colorado para 2030 y 2050. Estos cuatro escenarios bajos en carbono («LC») demuestran que cumplir estos objetivos legales de reducción de emisiones de GEI es posible, económicamente beneficioso, y reduce drásticamente la contaminación atmosférica local. Las vías modeladas en los cuatro escenarios se basan en diversas hipótesis tecnológicas y políticas, e identifican concesiones mutuas en las tecnologías y el diseño de políticas.

Todos los escenarios bajos en carbono reducen las facturas energéticas de los coloradenses. En el escenario «Business-as-Planned» (BAP), en el que todo sale según lo previsto, los clientes ahorran más de 25 000 millones de dólares durante el periodo 2026-2050 en relación con el escenario de referencia, un escenario que refleja la derogación de las políticas de energía limpia existentes. Sin embargo, los escenarios bajos en carbono proporcionan beneficios aún mayores, con un ahorro en los costes energéticos de entre 82 000 y 166 000 millones de dólares en comparación con el escenario de referencia. Todos los escenarios bajos en carbono muestran que las reducciones de GEI alineadas con los objetivos de Colorado proporcionan un beneficio económico neto que oscila entre 20 000 y 56 000 millones de dólares (VAN), en comparación con el escenario BAP, si se tienen en cuenta los costes de capital, funcionamiento, mantenimiento y energía. Cuando se incluyen los beneficios económicos asociados a la prevención de los efectos del cambio climático, los beneficios económicos netos superan los 600 000 millones de dólares en todos los escenarios bajos en carbono.

Todos los escenarios bajos en carbono demuestran beneficios económicos y beneficios para la calidad del aire, pero los diferentes escenarios ilustran las compensaciones entre los distintos enfoques políticos. Las principales conclusiones del análisis proporcionan la siguiente información:

- El escenario de bajas emisiones de carbono que da prioridad a las reducciones de emisiones de menor coste siempre que sea posible (LC 3 [menor coste]), en lugar de cumplir los requisitos de reducción de emisiones específicos de cada sector, tiene los costes de capital más bajos y los mayores beneficios económicos de los cuatro escenarios de bajas emisiones de carbono. En términos acumulativos, este escenario también logra las mayores reducciones de emisiones de GEI.
- Los escenarios que priorizan la electrificación y la eficiencia energética (LC 1 [E&E] y LC 3 [menor coste]) tienen costes más bajos que los escenarios que priorizan los combustibles bajos en carbono, como el hidrógeno verde y el gas natural renovable (LC 2 [combustibles LC]).
- Los escenarios bajos en carbono 1, 3 y 4 reducen drásticamente los contaminantes atmosféricos locales que afectan a la salud pública y al medio ambiente (monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de azufre) en comparación con el escenario BAP y el escenario de combustibles bajos en carbono (LC 2).



Para reducir las emisiones de carbono de acuerdo con los objetivos climáticos del estado y mejorar la asequibilidad de la energía, el estado y todos los agentes económicos deberán realizar inversiones estratégicas de capital a corto plazo. Este análisis muestra que dichas inversiones reportarán importantes beneficios a la población de Colorado, lo que se traducirá en **una menor contaminación atmosférica; una reducción de los riesgos, los impactos y los costes asociados al calentamiento climático adicional; una disminución de las facturas energéticas; y una reducción del número de hogares de Colorado con dificultades para pagar la energía.**

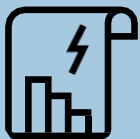
Recarga de un coche eléctrico durante el invierno. Foto de Marc Bruxelle / Shutterstock.com

Antecedentes

Sustainability Solutions Group (SSG) desarrolló este análisis para comprender el impacto de las políticas de energía limpia existentes en Colorado, así como cuatro escenarios que evalúan un conjunto de soluciones diseñadas para alcanzar los objetivos estatales de emisiones de gases de efecto invernadero basados en la ciencia y aplicables a toda la economía. El modelo examina los siguientes temas:



- Emisiones de GEI, incluidas las emisiones anuales y acumuladas.



- Impactos económicos, que incluyen los costes de capital y los costes o ahorros operativos continuos (medidos como valor actual neto); el coste por tonelada de reducción de emisiones de GEI; y los impactos en los costes energéticos de los hogares.



- Contaminantes atmosféricos locales, incluyendo las emisiones previstas por condado.

SSG modeló seis escenarios:

1. **Un escenario BAP** que evalúa el impacto de las políticas de energía limpia existentes. Este escenario incluye políticas que son aplicables en la actualidad, como los requisitos legales o reglamentarios, y excluye las políticas que son objetivos o que no son aplicables. Además, durante el proceso de modelización, el Congreso aprobó las resoluciones de la Ley de Revisión del Congreso que rechazan las exenciones para las regulaciones conocidas como: Advanced Clean Cars II, Advanced Clean Trucks y Low-NOx Omnibus, que exigen a los fabricantes de vehículos cumplan con las normas de emisiones para los vehículos nuevos. Esta acción del Congreso ha sido impugnada por California y otros estados por considerarla ilegal e inconstitucional. Como resultado, estas políticas fueron excluidas del escenario BAP debido al litigio en curso relacionado con las normas.
2. **Un escenario de referencia**, que supone un crecimiento demográfico y económico, pero sin cambios adicionales en las fuentes de energía de Colorado ni en el uso de la energía en edificios, transporte, electricidad o industria. En otras palabras, el escenario supone que la combinación actual de combustibles para la electricidad, el transporte, los edificios y la industria no cambia en los próximos 25 años. Este escenario está diseñado para proporcionar un punto de referencia para evaluar el impacto de las políticas existentes, tal y como se representa en el escenario BAP.

3. **Bajo en carbono 1 (LC 1 [E&E]):** Este escenario refleja un futuro de «alta eficiencia y alta electrificación». Da prioridad a las políticas relativas a la rápida descarbonización del sector eléctrico; la electrificación de los usos finales, incluyendo los edificios, el transporte y la industria; la profunda rehabilitación energética de los edificios existentes; y la alta eficiencia en los nuevos edificios.
4. **Bajo carbono 2 (LC 2 [combustibles LC]):** Este escenario refleja un futuro con «combustibles bajos en carbono». Incluye una electrificación y una eficiencia energética significativas, pero a un nivel inferior al del LC 1 (E&E), e incluye un mayor uso de combustibles bajos en carbono, como el gas natural renovable y el hidrógeno verde.
5. **Bajo en carbono 3 (LC 3 [menor coste]):** Este escenario se diseñó para dar prioridad a las reducciones de emisiones de menor coste. Cabe destacar que, dado que todos los escenarios bajos en carbono deben alcanzar emisiones netas cero en 2050, este escenario utiliza en última instancia casi todas las mismas medidas aplicadas en LC 1 (E&E), pero acelera las oportunidades de reducción de menor coste y retrasa la aplicación de las oportunidades de reducción relativamente más costosas.
6. **Bajo carbono 4 (LC 4 [sectores]):** Este escenario da prioridad al cumplimiento de una trayectoria de reducción de emisiones específica para cada sector, con intervenciones políticas y tecnológicas calibradas para cada sector con el fin de lograr esas reducciones específicas. Se aplican intervenciones tanto del LC 1 (E&E) como del LC 2 (combustibles LC) para alcanzar estos objetivos específicos de cada sector. Las reducciones de emisiones por sector se suman a los objetivos de toda la economía.

Todos los escenarios tienen en cuenta los efectos del aumento de la población y el crecimiento económico. El análisis de estos seis escenarios se diseñó para arrojar luz sobre los impactos de las diferentes decisiones políticas e intervenciones tecnológicas. LC 1 (E&E) y LC 2 (combustibles LC) pueden compararse para comprender las emisiones, los costes y otros impactos de las estrategias centradas en la electrificación en comparación con los combustibles bajos en carbono. LC 3 (menor coste) y LC 4 (sectores) destacan las implicaciones de exigir a cada sector que alcance determinados objetivos de emisión, frente a permitir la flexibilidad entre sectores y dar prioridad a las reducciones de menor coste.

Las siguientes secciones describen las conclusiones clave de la comparación de los resultados de los escenarios.

Emisiones y reducciones de GEI

Trayectoria actual de las emisiones de Colorado

En 2023, el primer año del análisis, las emisiones de GEI se estiman en 151 MMTCO₂ e, excluyendo las emisiones asociadas al uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF).² En 2023, las mayores fuentes de emisiones fueron el transporte (22 %), seguido de la electricidad (18 %) y el petróleo y el gas natural (18 %).³ Las emisiones de Colorado en 2023 fueron aproximadamente iguales a las emisiones del estado en 2005. A pesar de los avances de Colorado en la reducción de las emisiones del sector eléctrico, las emisiones de otros sectores, en particular el transporte, han aumentado desde 2005. Las emisiones estimadas en 2023 también son superiores a las emisiones de 2020, los datos de emisiones más recientes disponibles en el momento de la modelización, según se indica en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Colorado de 2024. Esto probablemente refleja que en 2020, como consecuencia de la COVID-19, las emisiones relacionadas con el transporte disminuyeron drásticamente, pero se recuperaron en 2023, cuando las restricciones de la era COVID y los patrones de conducción volvieron a los niveles anteriores.

² En todos los escenarios, existe incertidumbre sobre las emisiones asociadas al uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF), que se cree que se deben en gran medida a los cambios en las emisiones asociadas a los bosques de Colorado. En 2023, las emisiones de LULUCF se estimaron en aproximadamente 13 MMTCO₂e. Aunque el resto de este análisis excluye las emisiones de LULUCF, pone de relieve una laguna crítica tanto en la investigación como en las políticas que debe abordarse.

³ SSG se basó en diversas fuentes de datos para estimar las emisiones de GEI de 2023, ya que existe un desfase de varios años entre el momento en que se producen las emisiones y el momento en que los datos se hacen públicos. SSG se basó en parte en los datos de emisiones notificados (para fuentes puntuales), así como en el consumo de combustible (para el transporte y los edificios), etc. Para más detalles, véase el informe completo.

De cara al futuro, las políticas climáticas actuales de Colorado dan lugar a reducciones significativas de las emisiones en relación con el escenario de referencia, pero no alcanzan los objetivos de reducción de emisiones de GEI del estado. Tal y como se modela en el escenario BAP, con la política actual, las emisiones de Colorado son 141 MMTCO₂ e en 2025 y disminuirán a 112 MMTCO₂ e en 2050. Se prevé que, en cada año intermedio, Colorado se enfrente a una desviación entre su trayectoria actual y sus objetivos de reducción de emisiones.

Estas diferencias alcanzan

26 MMTCO₂ e en 2025
32 MMTCO₂ e en 2030,
50 MMTCO₂ e en 2035,
64 MMTCO₂ e en 2040,
91 MMTCO₂ e en 2045,
y 112 MMTCO₂ e en 2050
(Figura 2).

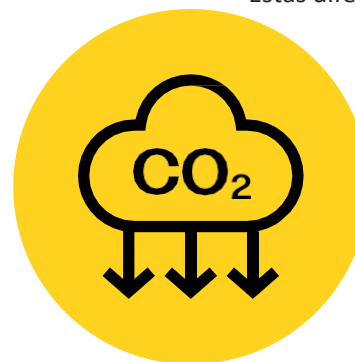
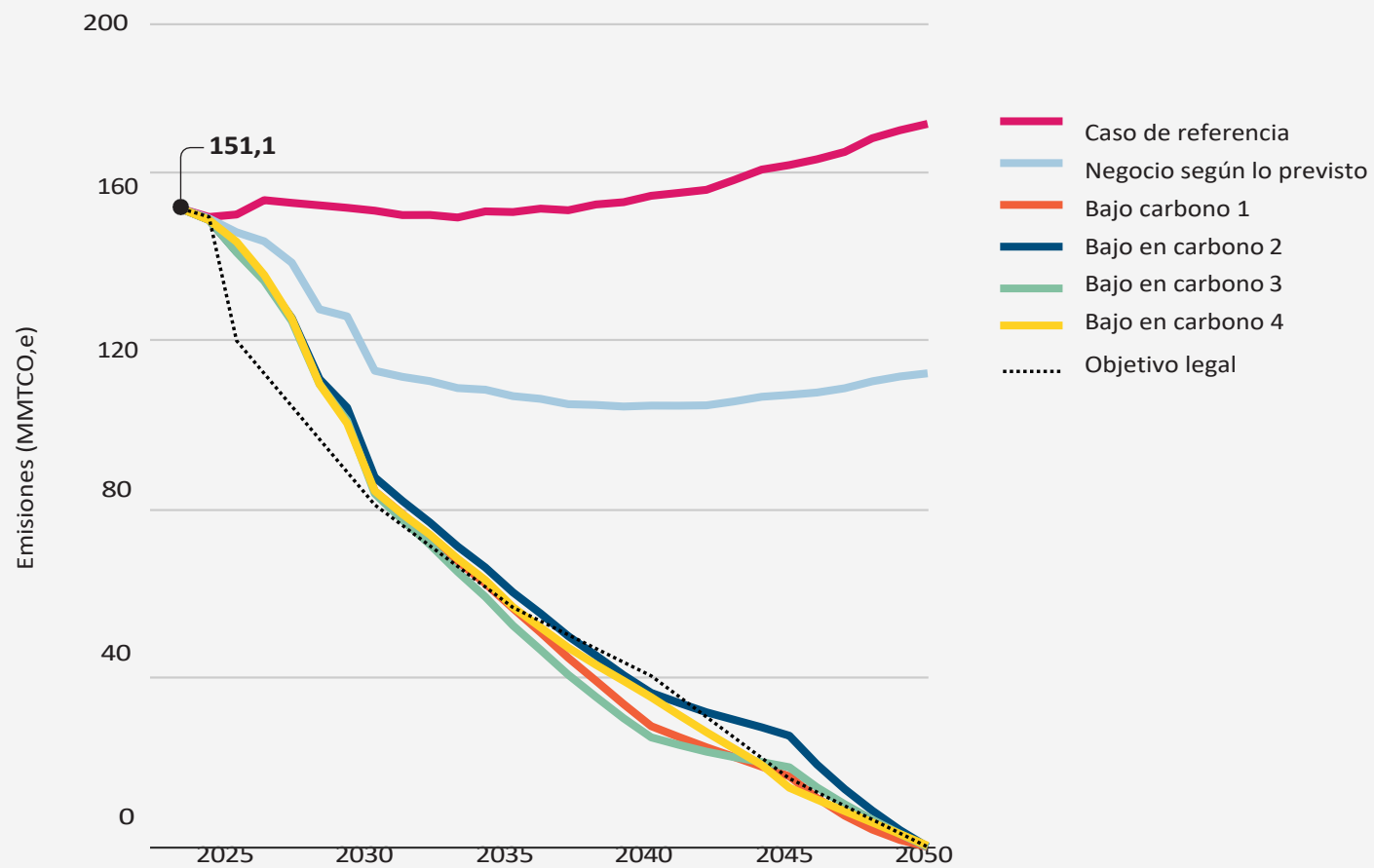


Figura 2.

Trayectorias de emisiones proyectadas según los escenarios de referencia y BAP y los cuatro escenarios bajos en carbono. También se muestran los objetivos legales de reducción de emisiones de Colorado para toda la economía.



Escenarios bajos en carbono

Los cuatro escenarios bajos en carbono alcanzan en gran medida los objetivos climáticos de Colorado entre 2030 y 2050, pero ninguno de ellos alcanza el objetivo económico global para 2025 ⁴. Los diferentes escenarios bajos en carbono logran distintos niveles de reducción de emisiones acumuladas. Por ejemplo, el LC 3 (menor coste) reduce las emisiones acumuladas en 61 MMTCO₂ e más que el LC 4 (sectores) entre 2026 y 2050. El LC 3 (menor coste), que se diseñó para cumplir los objetivos climáticos de toda la economía de Colorado al menor coste, también tiene las emisiones acumuladas más bajas de los cuatro escenarios bajos en carbono.

Todos los escenarios de bajas emisiones de carbono comparten ciertas características. En primer lugar, el sistema energético de bajas emisiones de carbono es un sistema energético eficiente en comparación con el escenario BAP. El consumo total de energía (medido en millones de unidades térmicas británicas o MMBtu) se reduce casi a la mitad entre 2023 y 2050 en los escenarios de bajas emisiones de carbono, a pesar del importante crecimiento demográfico del estado. En segundo lugar, el sistema energético con bajas emisiones de carbono está dominado por la electricidad. Entre 2023 y 2050, el consumo de electricidad se duplica o casi se duplica en cada escenario, ya que la electricidad alimenta cada vez más los hogares, las empresas y el transporte. Sin embargo, en relación con el escenario BAP, el consumo de electricidad de la red en los escenarios LC aumenta entre un 2 % y un 8 % para 2050, excepto en el LC 2, que tiene un aumento del 14 %. Las acciones clave en todos los escenarios incluyen la descarbonización de la red eléctrica y la electrificación del transporte, los edificios residenciales y comerciales, y la industria. Colorado tiene reservas de las fuentes de energía de las que dependen los escenarios bajos en carbono: solar, geotérmica y eólica.

⁴ Las emisiones en el escenario LC 2 (combustibles LC) son ligeramente superiores al objetivo estatal para 2045.

Todos los escenarios bajos en carbono se basan en estrategias de eliminación de carbono para alcanzar emisiones netas cero entre 2045 y 2050. La eliminación de carbono compensa las emisiones residuales en sectores difíciles de descarbonizar, como la agricultura y los procesos industriales. Los escenarios con mayores cantidades de combustibles líquidos bajos en carbono, como el LC 2 (combustibles LC), dependen en mayor medida de la eliminación de carbono en los últimos años. Dado que las estrategias de eliminación de carbono atmosférico, como la captura directa del aire, son novedosas y relativamente poco probadas a gran escala, una mayor dependencia de estas estrategias añade riesgo e incertidumbre a la eficacia y al coste de alcanzar los objetivos estatales en materia de gases de efecto invernadero. Acelerar las medidas para reducir las emisiones de GEI aumenta las reducciones acumulativas de la contaminación por GEI y minimiza la dependencia de estrategias inciertas de eliminación de carbono para alcanzar el objetivo de cero emisiones netas.



Las diferencias entre los escenarios bajos en carbono también son ilustrativas. LC 1 (E&E) modela altos niveles de eficiencia, incluyendo la remodelación de edificios residenciales y comerciales existentes, la construcción de sistemas energéticos distritales, la instalación de paneles fotovoltaicos (PV) en tejados y el apoyo al cambio de modo de transporte (por ejemplo, de los desplazamientos en vehículos de un solo pasajero a las bicicletas eléctricas y el transporte público). LC 2 (combustibles LC) tiene niveles más bajos de inversión en la remodelación de edificios residenciales, pero niveles comparables de inversión en electrodomésticos residenciales. LC 2 (combustibles LC) también tiene menos inversión en medidas de cambio de modo de transporte, como el ferrocarril de pasajeros y las bicicletas eléctricas, pero incluye inversiones en transporte rural.

Como resultado, la demanda de electricidad y las millas recorridas por los vehículos (VMT) son notablemente más altas en el LC 2 (combustibles LC) en comparación con los otros escenarios de bajas emisiones de carbono. Tanto el LC 3 (menor coste) como el LC 4 (sectores) comparten muchas similitudes con el LC 1 (E&E), pero tienen niveles más bajos de inversión en la rehabilitación de edificios residenciales.

Por último, el hidrógeno verde se utiliza en los cuatro escenarios de bajas emisiones de carbono, ya sea en el sector industrial (LC 1 [E&E]) o en los sectores industrial y del transporte (LC 2 [combustibles LC], LC 3 [menor coste] y LC 4 [sectores]). La figura 3 ilustra las reducciones de emisiones previstas en el escenario BAP y las reducciones incrementales adicionales modelizadas en LC 3 (menor coste); las reducciones acumuladas también se describen en la tabla 1.



Cañón del río Dolores en el condado de Montrose, Colorado. Foto de John Fielder

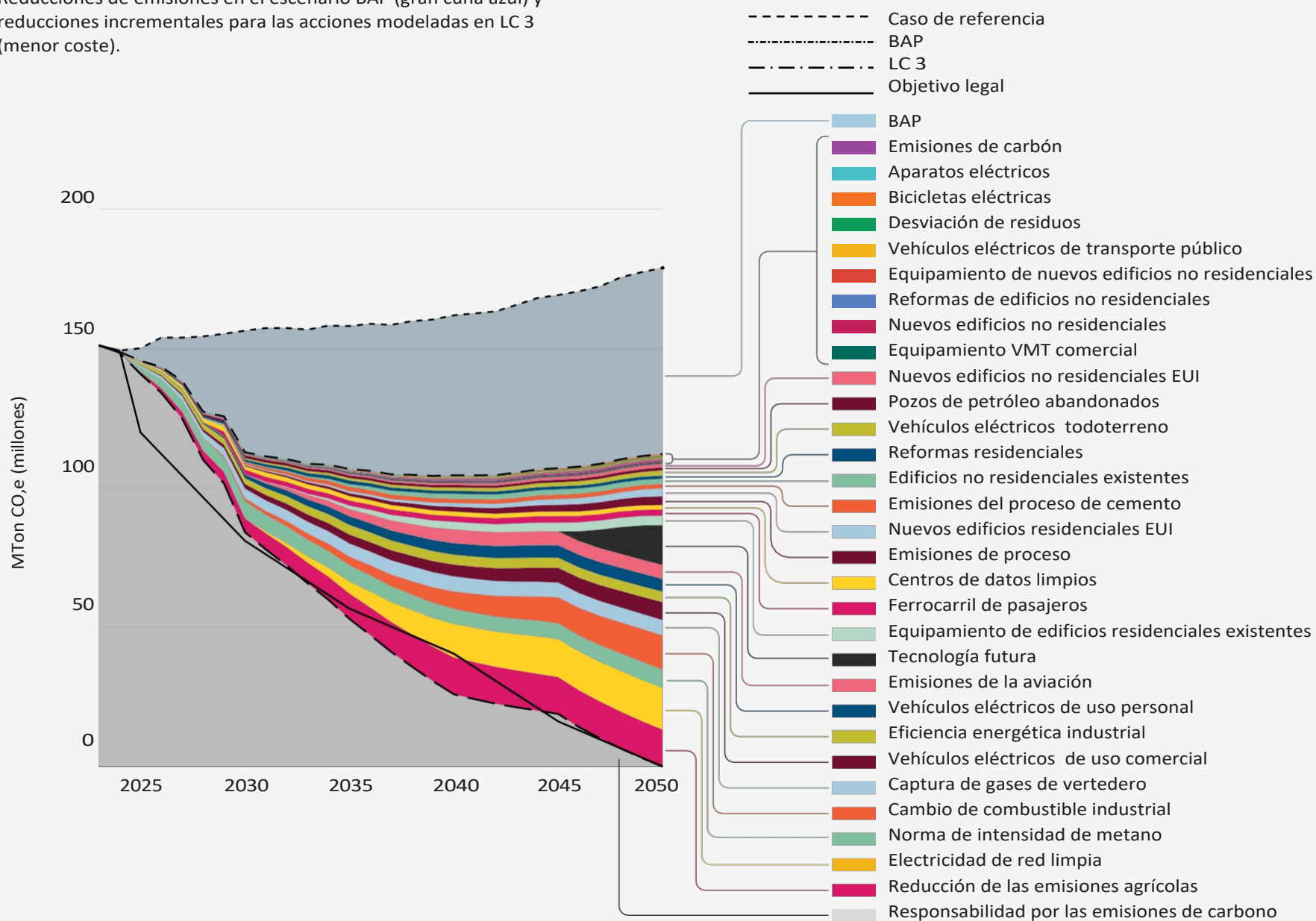
Tabla 1.

Acciones prioritarias clave y reducciones acumulativas de emisiones de MMTCO₂ e modeladas (2023-2050) para medidas seleccionadas en el marco del LC 3.

Sector	Acciones prioritarias clave	Reducción acumulada (2023-2050) en millones de MTCO ₂ e
Transporte	Electrificación de vehículos personales y comerciales	169
	Reducir las emisiones de la aviación	78
	Promover formas alternativas de transporte, incluyendo autobuses, trenes y bicicletas eléctricas	49
	Reducir las millas recorridas por los vehículos	10
Industria	Cambio de combustible industrial.	133
	Eficiencia energética industrial	79
	Emisiones de procesos	30
Agricultura	Reducción de emisiones mediante una combinación de las siguientes medidas: • Labranza cero/labranza reducida • Fertilizantes de mayor eficiencia (EEF)/gestión de nutrientes 4R • Digestores de estiércol • Inhibidores de metano entérico (por ejemplo, Bovaer, algas marinas) • Pastoreo rotativo mejorado • Agroforestería/plantación de árboles (cinturones de protección, riberos) • Enmienda del suelo con biocarbón	245
Electricidad	Descarbonizar la generación de electricidad	193
	Garantizar que los nuevos centros de datos se alimenten con energía limpia	39
Residencial y comercial	Electrificar los usos finales, incluyendo la calefacción de espacios y el calentamiento de agua.	95
	Mejorar la eficiencia energética de los edificios existentes y establecer normas de eficiencia rigurosas para los edificios nuevos	83
Petróleo y gas	Reducir las fugas de metano procedentes de la producción de petróleo y gas	163
Residuos	Desviar los residuos y capturar el gas de los vertederos	118

Figura 3.

Reducciones de emisiones en el escenario BAP (gran cuña azul) y reducciones incrementales para las acciones modeladas en LC 3 (menor coste).



Impactos económicos

En general, los escenarios bajos en carbono suponen un ahorro para los contribuyentes, los operadores y otras partes interesadas en todo Colorado. Todos los escenarios bajos en carbono requieren una inversión de capital incremental, pero el análisis no identifica **qué actor** proporciona el capital ni el mecanismo para impulsar ese capital. Además, este tipo de inversiones suelen financiarse. Por ejemplo, las inversiones en viviendas de mayor rendimiento pueden repartirse a lo largo del tiempo para alinearlas con el ahorro en costes de mantenimiento y energía. Un banco ecológico puede ofrecer préstamos a bajo interés a residentes o empresas que deseen invertir en bombas de calor o en infraestructura de recarga de vehículos eléctricos (VE). Las empresas eléctricas pueden invertir capital del sector privado en nuevos recursos de electricidad limpia. El Estado puede recaudar ingresos para financiar programas mediante un programa que grave un impuesto o una tasa sobre la contaminación,⁵ o puede aplicar regulaciones de emisiones que estimulen la inversión privada en la reducción de la contaminación. En resumen, las inversiones en energía limpia pueden financiarse a través de una variedad de mecanismos y fuentes.

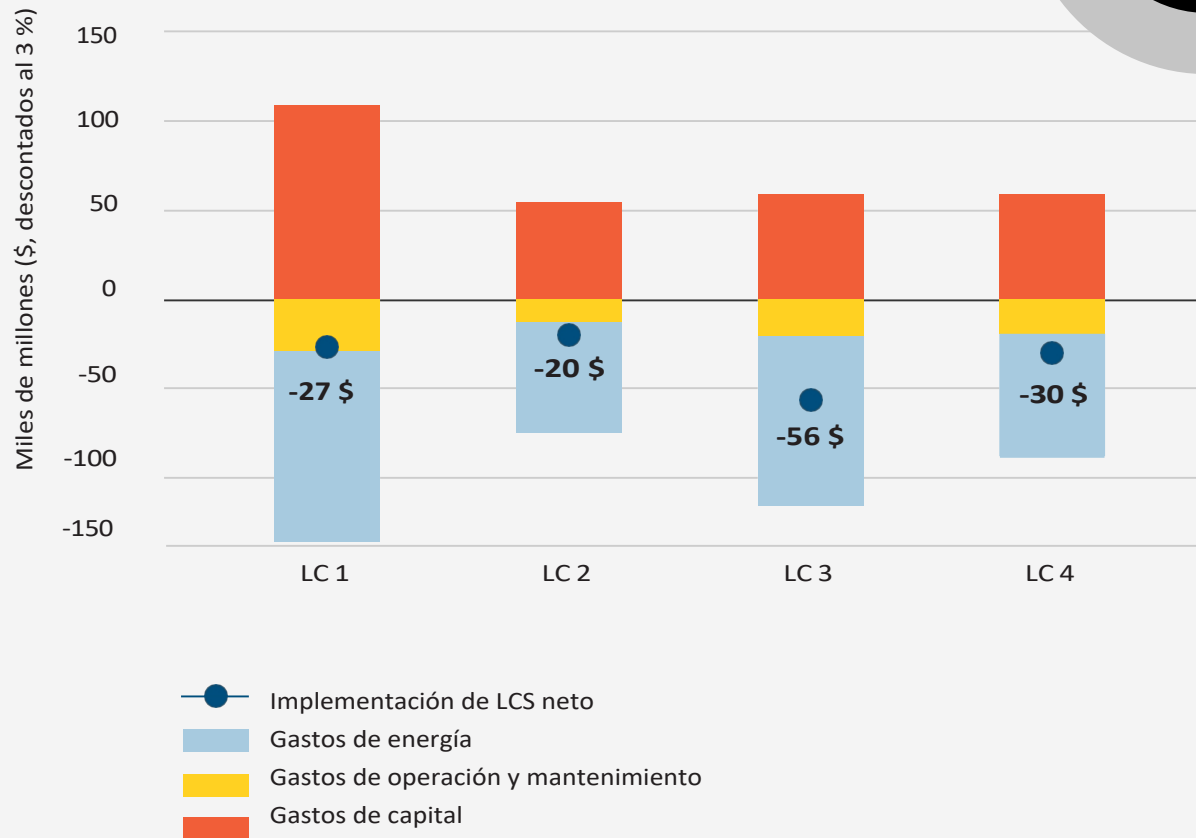
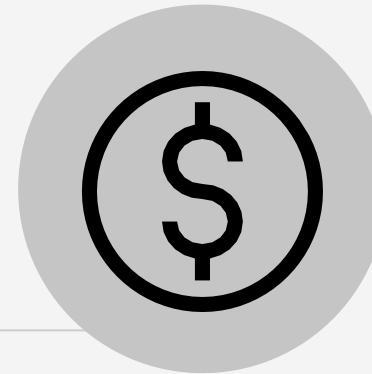
⁵ Este análisis no evaluó mecanismos políticos específicos para recaudar ingresos de conformidad con los requisitos de la Carta de Derechos del Contribuyente de Colorado.

Cada escenario, incluidos el escenario de referencia y los escenarios BAP, requiere inversiones de capital iniciales. Los escenarios bajos en carbono generan ahorros en forma de reducción de las facturas de energía y de los costes anuales de operación y mantenimiento (O&M). La figura 4 ilustra los valores actuales de los costes energéticos, los costes de O&M y los costes de capital en relación con el escenario BAP, así como el valor actual neto del escenario (azul oscuro).⁶ Durante el periodo de 25 años modelizado (2025-2050), LC 2, LC 3 y LC 4 tienen cada uno unas inversiones de capital medias anuales de entre 3000 y 3300 millones de dólares; en comparación, LC 1 (E&E) tiene unos costes de capital medios anuales más elevados, de 5900 millones de dólares (sin descontar). LC 1 (E&E) y LC 3 (menor coste) tienen los mayores ahorros medios anuales en O&M y costes energéticos, con 2900 millones de dólares y 2.600 millones de dólares, respectivamente. Con financiación, cada escenario de bajas emisiones de carbono, excepto el LC 4 (sectores), tiene beneficios económicos netos desde el primer año.

⁶ El análisis del valor actual neto utiliza una tasa de descuento del 3 %. Los valores negativos representan ahorros, mientras que los valores positivos indican costes.

Figura 4.

Valor actual de los costes y ahorros derivados de las inversiones de capital, los costes energéticos y los costes de operación y mantenimiento. Los puntos azul oscuro representan los costes netos. Los valores negativos representan ahorros, mientras que los valores positivos representan costes. Los costes se descuentan a una tasa del 3 %.



En términos netos, LC 3 (menor coste) demuestra el mayor beneficio económico: cada tonelada de CO₂ e reducida genera un beneficio neto de 35 dólares. En otras palabras, **la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ahorra dinero a los habitantes de Colorado** al reducir los gastos anuales en energía y O&M. La tabla 2 muestra el ahorro de costes por tonelada

de CO₂ reducido en relación con el escenario BAP. La columna central muestra los beneficios económicos, excluyendo el coste social del carbono; si se incluye el coste social del carbono, todos los escenarios muestran un beneficio global aún mayor derivado de la reducción de las emisiones.

Tabla 2.
Coste (ahorro) asociado a la reducción de las emisiones de GEI en cada escenario de bajas emisiones de carbono.
Los costes negativos representan ahorros. Todas las cifras son valores actuales netos, calculados utilizando una tasa de descuento del 3 %.

Escenario	Coste/ahorro neto por MTon de GEI (\$/MTCO ₂ e) de contaminación reducida, en relación con el BAP (negativo significa ahorro)	
	Sin coste social del carbono	Con el coste social del carbono
LC 1 (alta eficiencia, alta electrificación)	-17	-439
LC 2 (combustibles con alto contenido de carbono)	-14	-423
LC 3 (estrategias de menor coste priorizadas)	-35	-471
LC 4 (alcanzar objetivos específicos del sector)	-19	-464

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero reduce las facturas de energía y la carga energética. Tres escenarios bajos en carbono —LC 1 (E&E), LC 3 (menor coste) y LC 4 (sectores)— reducen el número de hogares con carga energética en un 27 % para 2050. LC 2 (combustibles LC), que hace hincapié en los combustibles bajos en carbono, como el gas natural renovable (RNG) y el hidrógeno verde, no reduce el número de hogares con carga energética. LC 1 (E&E), LC 3 (menor coste) y LC 4 (sectores) también reducen los gastos energéticos de los hogares entre un 19 % y un 22 % aproximadamente entre 2025 y 2050, mientras que LC 2 (combustibles LC) reduce las facturas energéticas en un 9 %. En otras palabras, las políticas que

dan prioridad a los combustibles bajos en carbono generan menos beneficios económicos que las políticas que dan prioridad a la electrificación. La figura 5 muestra la variación en los gastos energéticos de los hogares, por condado, entre 2025 y 2050 en los escenarios «Business-as-Planned», LC 1 (E&E) y LC 3 (menor coste). En 2025, los hogares de muchos condados pagan, de media, 5000 dólares al año en facturas de energía. En los escenarios LC 1 (E&E) y LC 3 (menor coste), las facturas anuales de energía son mucho más bajas en todo el estado, con un coste medio de energía por hogar de entre 1000 y 3000 dólares en 2050 (todo ello expresado en dólares de 2025).

Figura 5.

Coste medio de la energía por hogar en 2023 y en 2050 según los escenarios BAP, LC 1 (E&E) y LC 3 (menor coste).

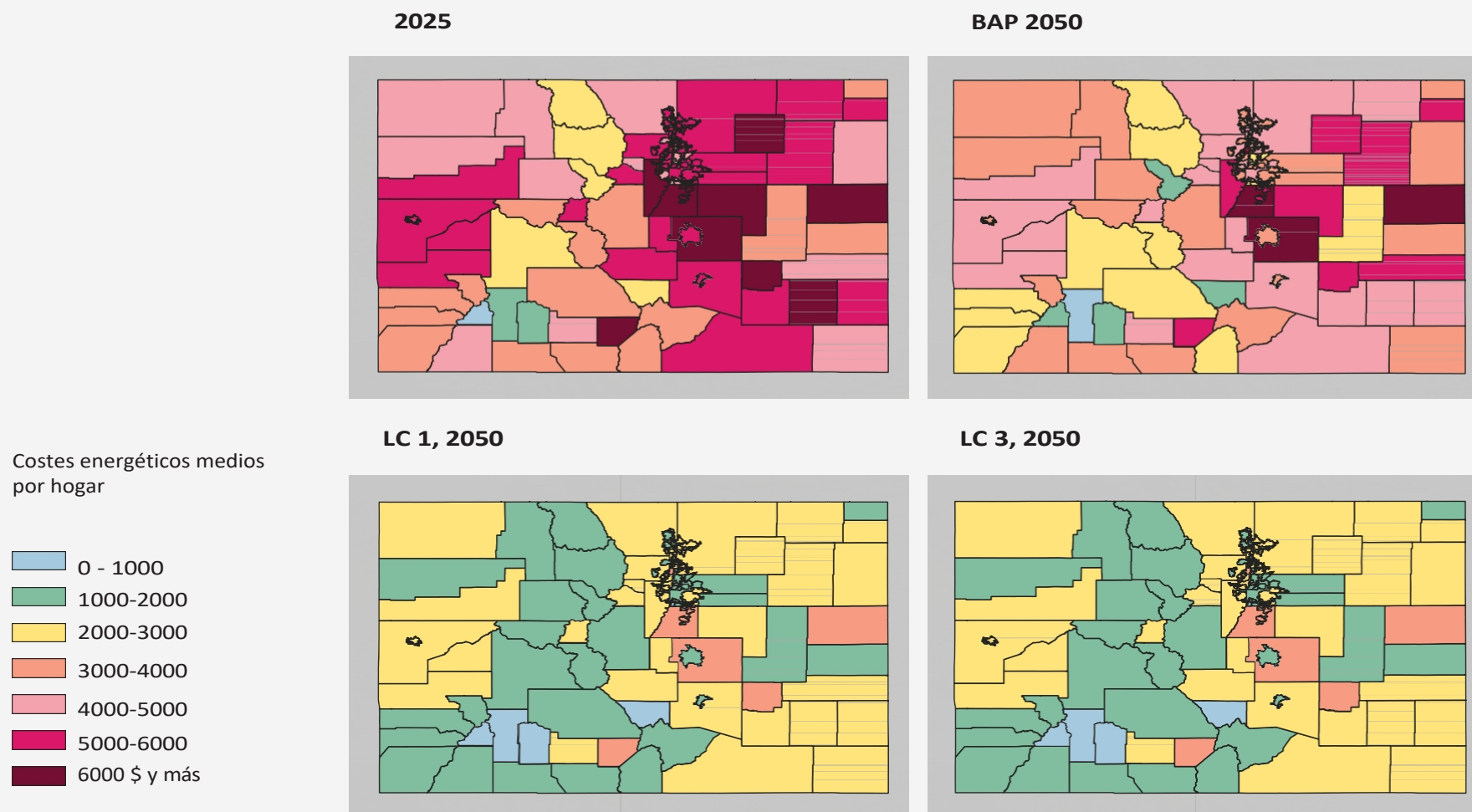
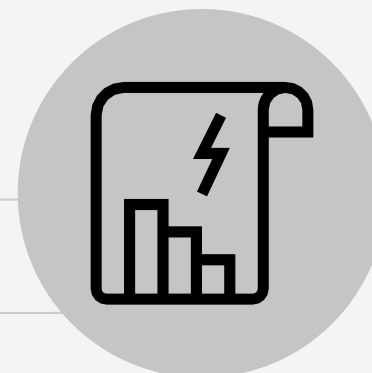
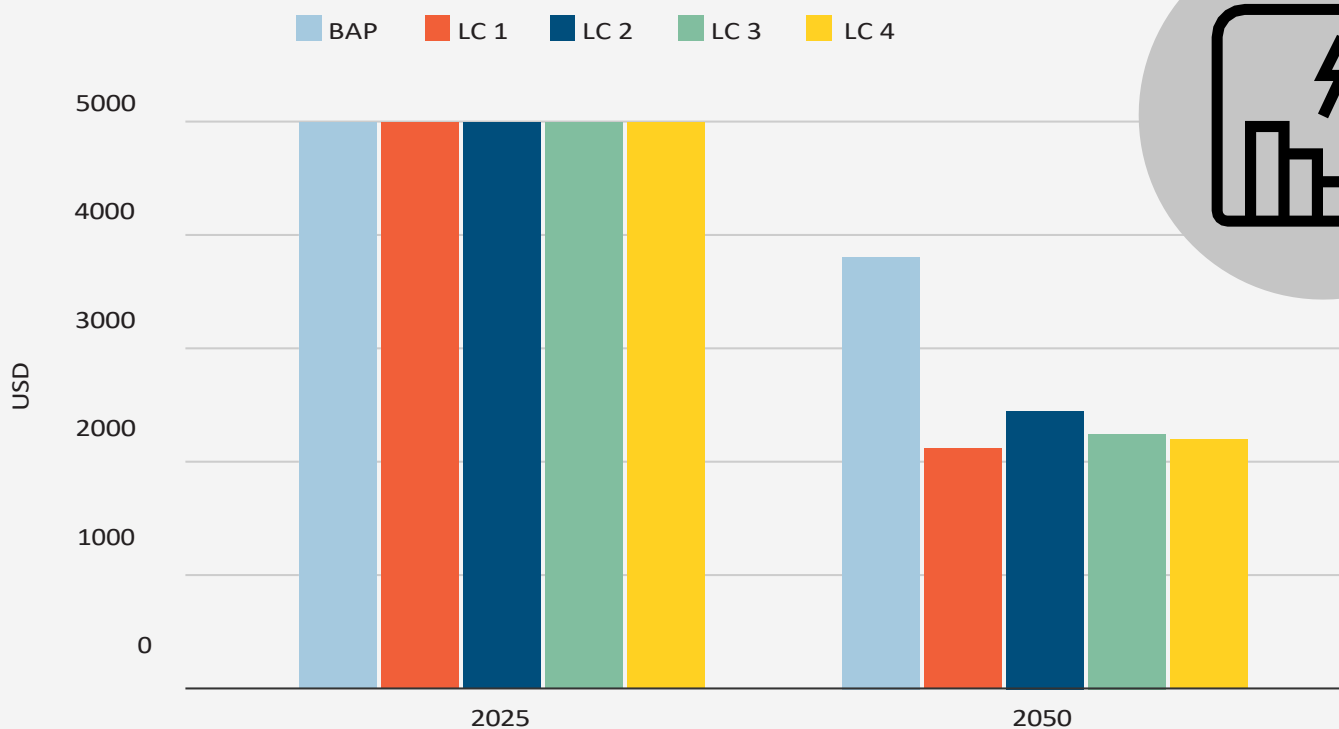


Figura 6.

Costes energéticos medios por hogar (2025 y 2050).



Este análisis utiliza una tasa de descuento social del 3 %. Una tasa de descuento más alta otorga menos valor a los ahorros o costes futuros: el uso de una tasa de descuento más alta otorga menos valor a los ahorros futuros en energía y O&M, y más valor a los gastos de capital a corto plazo. Incluso cuando se utiliza una tasa de descuento más alta del 6 %, LC 3 (menor coste) proporciona un fuerte beneficio neto para la reducción de emisiones (valor actual neto de -13 \$/tonelada de CO₂ e evitada).

LC 4 (sectores) también tiene un beneficio neto, aunque inferior al de LC 3 (menor coste); LC 1 (E&E) tiene un coste neto; y LC 2 (combustibles LC) básicamente alcanza el umbral de rentabilidad. La tasa de descuento es análoga al interés que una persona o empresa pagaría por un préstamo. Dado que algunos escenarios pasan de beneficios positivos a costes netos cuando se aplica una tasa de descuento más alta, es fundamental facilitar préstamos o financiación a bajo interés para proyectos con bajas emisiones de carbono.

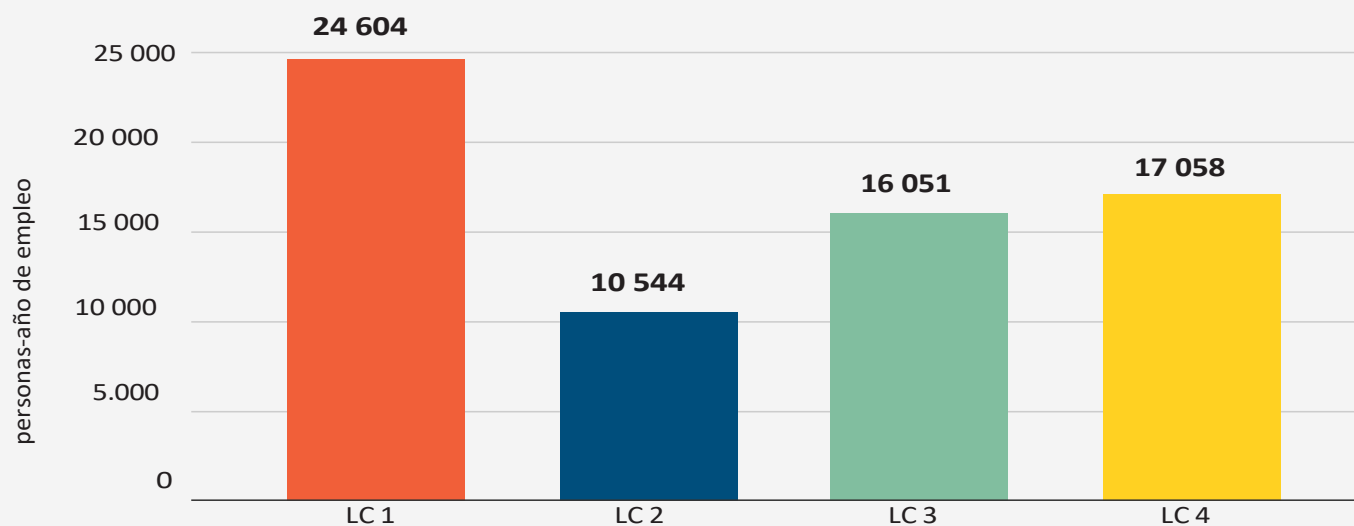
Por último, las medidas e inversiones en energía limpia ofrecen nuevas oportunidades de empleo. La LC 1 (E&E) genera una media de 24 600 puestos de trabajo al año, lo que supone más que la LC 2 (combustibles LC) (10 500), la LC 3 (menor coste) (16 100) y la LC 4 (sectores) (17 100) (Figura 7). Las proyecciones de empleo se calculan sobre la base del aumento incremental de los gastos de capital en cada uno de los sectores.

La descarbonización de la economía de Colorado también supondrá un ahorro para los coloradenses. Todos los escenarios bajos en carbono tienen importantes beneficios económicos netos para los habitantes de Colorado. El LC 3 (menor coste) ofrece el mejor rendimiento financiero, ya que requiere la mitad de la inversión de capital que el LC 1 (E&E) y supone el doble de ahorro por MTCO₂ e de emisiones reducidas. Además, los escenarios bajos en carbono proporcionan resiliencia frente a futuras fluctuaciones en los precios de la energía.



Figura 7.

Promedio anual de años-persona de empleo (2025-2050).



Contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos locales son en gran medida consecuencia de la combustión de combustibles fósiles. La contaminación atmosférica local, como el ozono troposférico (smog) y las partículas PM_{2,5}, puede provocar problemas de salud como el asma, especialmente en las poblaciones vulnerables. En la actualidad, gran parte de la cordillera frontal de Colorado, conocido como Front Range, no cumple con las normas federales de calidad del aire en lo que respecta al ozono.

Los cuatro escenarios bajos en carbono dan lugar a reducciones de los contaminantes atmosféricos locales. En los escenarios LC 1 (E&E), LC 3 (menor coste) y LC 4 (sectores), los contaminantes atmosféricos locales se reducen drásticamente para 2040 y se eliminan prácticamente para 2050. En el LC 2 (combustibles LC), los contaminantes atmosféricos locales se reducen en relación con el escenario BAP, pero se mantienen en 2040 y 2050 porque el escenario incluye niveles más altos de combustión de RNG en el sector del transporte y en los sectores residencial y comercial. La tabla 3 enumera los contaminantes por escenario en 2050. La figura 8 muestra la contaminación atmosférica per cápita por condado en 2050, donde el azul indicaría niveles más bajos per cápita y el amarillo representa niveles más altos de contaminación per cápita.

En las instalaciones industriales, las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos locales se reducen como resultado de la conversión de los procesos basados en combustibles fósiles a electricidad e hidrógeno verde, o del uso de la captura y el secuestro de carbono. Incluso si las instalaciones industriales exportan sus productos (por ejemplo, petróleo refinado) a otros estados, la contaminación atmosférica se elimina casi por completo para 2050 en los escenarios LC 1 (E&E), LC 3 (menor coste) y LC 4 (sectores).



La I-70 de Colorado a su paso por Denver. Foto de Kristina Blokhin/stock.adobe.com

Tabla 3.

Contaminantes atmosféricos locales (millones de toneladas), por escenario, en 2050.

	CO	HC	NOx	PM10	PM2_5	SO ₂	COV
BAP	441 200	9.472	92 424	22 080	14 634	4.768	41 865
LC1	10 377	39	1.935	2.551	2.347	178	2.371
LC2	241 759	60	13 329	5.605	4.847	299	20 638
LC3	2.183	43	844	1.345	942	147	1048
LC4	2.207	43	884	1.345	942	147	1050

Basándose en la reducción de los contaminantes atmosféricos, se determinaron los costes de médicos anuales evitados utilizando el modelo COBRA⁷ de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Los cuatro escenarios muestran un ahorro sustancial en los costes sanitarios, como se ilustra en la tabla 4.

Muchos de estos costes los soportan actualmente las personas que viven en zonas muy contaminadas y en comunidades desproporcionadamente afectadas (DIC), como se muestra en los mapas siguientes.

Tabla 4.

Costes médicos medios anuales evitados (millones de dólares estadounidenses, 2025-2050) por escenario.

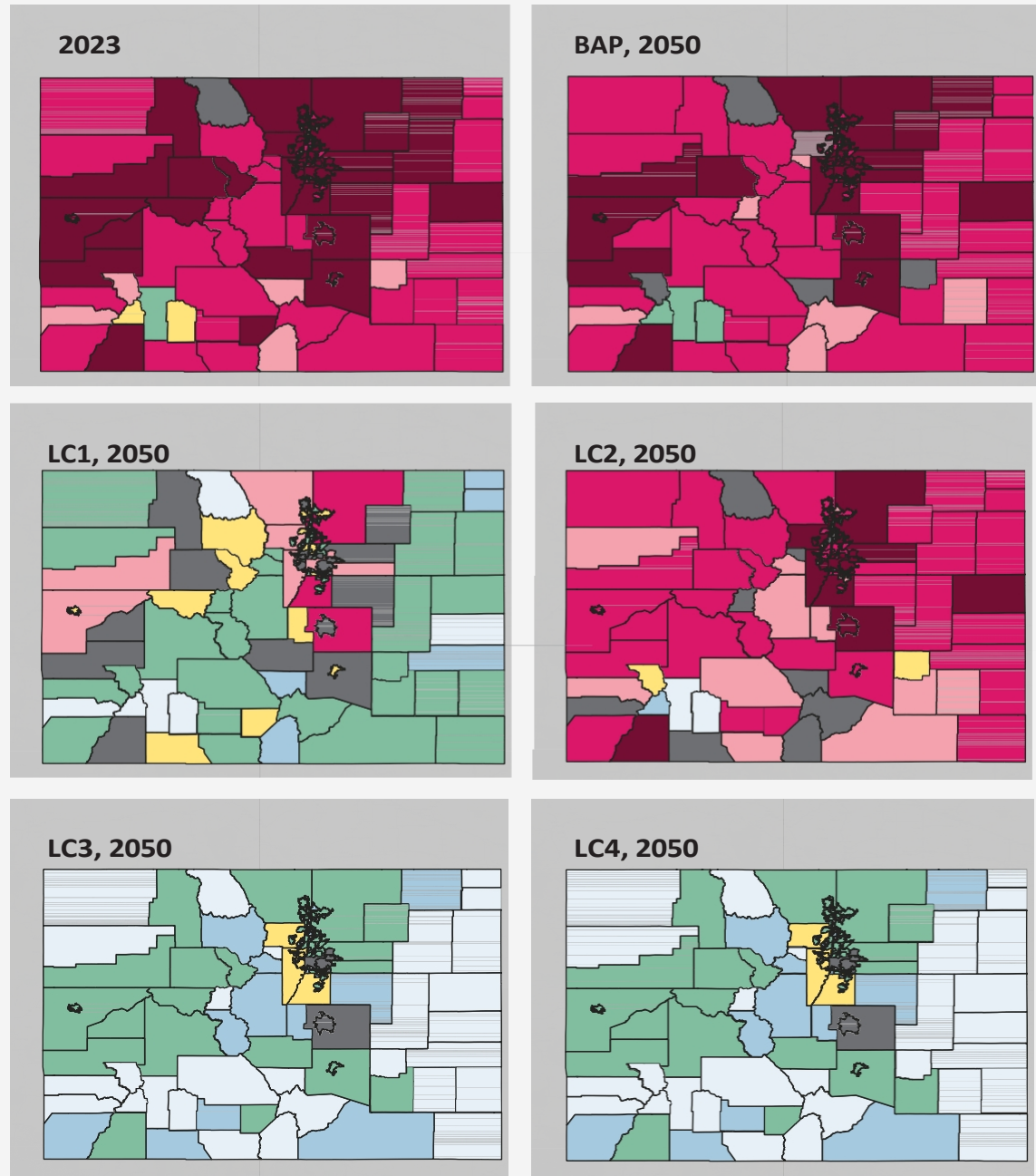
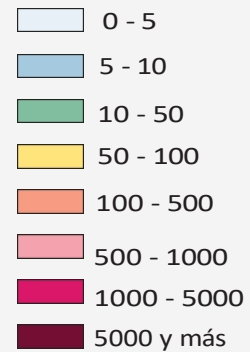
	LC1	LC2	LC3	LC4
Costes médicos evitados	2100	1980	2230	2160

⁷ El modelo de evaluación de riesgos COBRA (CO–Benefits Risk Assessment) de la EPA analiza cómo los cambios en la contaminación atmosférica derivados de las políticas y programas de energía limpia, incluida la eficiencia energética y las energías renovables, pueden afectar a la salud humana a nivel municipal, estatal, regional o nacional. [¿Qué es COBRA? | EPA de EE. UU.](#)

Figura 8.

Total de contaminantes atmosféricos locales por zona, en toneladas métricas.

Contaminantes atmosféricos criterio - MTon





Área silvestre Flat Tops, Colorado.
Foto de John Fielder



Glenwood Springs, Colorado.
Foto de MaciejBledowski/stock.adobe.com

Conclusiones

El logro de los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de Colorado proporcionará diversos beneficios: los coloradenses pagarán menos en facturas de energía y obtendrán una ganancia económica neta, y la contaminación atmosférica local se eliminará prácticamente por completo. Los escenarios bajos en carbono proporcionan información clave sobre cómo proceder:

- Las políticas climáticas que proporcionan reducciones significativas de las emisiones pueden reducir los costos energéticos para las familias de Colorado. La nueva inversión o reasignación de capital será fundamental para alcanzar los objetivos climáticos del estado. El estado puede recaudar ingresos para financiar esta inversión a través de un programa que grave con un impuesto o tasa la contaminación, o puede implementar regulaciones sobre las emisiones que estimulen la inversión privada en la reducción de la contaminación. Esta inversión reporta beneficios al reducir las facturas energéticas de los clientes, reducir el número de hogares con dificultades para pagar la energía y proporcionar beneficios económicos netos generales.
- Colorado debería establecer políticas para estimular las inversiones en soluciones de energía limpia, aumentar los ingresos para ayudar a cumplir los objetivos climáticos del estado y garantizar que los consumidores obtengan un beneficio económico inmediato de las inversiones en bajas emisiones de carbono.
- Las políticas climáticas pueden impulsar reducciones significativas de la contaminación atmosférica y beneficios para la salud. La promulgación de políticas que den prioridad a la reducción de la contaminación secundaria perjudicial, junto con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en las comunidades afectadas de manera desproporcionada, tal y como se definen en la Ley de Justicia Ambiental de Colorado, es esencial para un futuro climático justo.
- Las políticas que se centran en la electrificación de los hogares, las empresas y el transporte proporcionan mayores beneficios económicos y de contaminación que las políticas que dependen más de los combustibles bajos en carbono para alimentar esos usos finales, aunque el hidrógeno verde desempeña un papel modesto en cualquier futuro bajo en carbono.
- La eficiencia energética es importante en todos los escenarios. Dar prioridad a medidas como la rehabilitación energética profunda de viviendas residenciales tiene un alto coste inicial, pero reduce los gastos energéticos de los hogares, lo que aumenta la asequibilidad de la energía.
- Las estrategias que dan prioridad a las oportunidades de reducción de emisiones de menor coste, entre otras cosas permitiendo flexibilidad en los sectores en los que se logran esas reducciones, pueden permitir a Colorado acelerar la reducción de la contaminación y reducir en mayor medida la contaminación acumulada en general. Así lo demuestra el LC 3 (menor coste), diseñado para alcanzar los objetivos climáticos de toda la economía de Colorado al menor coste, que reduce al máximo las emisiones acumuladas de GEI de los cuatro escenarios de bajas emisiones de carbono.

- Las emisiones asociadas con LULUCF (silvicultura) son inciertas, tanto en términos de su magnitud como de las medidas para reducirlas. Se requieren inversiones adicionales en investigación para comprender mejor la fuente y el potencial de mitigación de estas emisiones.
- Todos los escenarios se basan en estrategias de eliminación de carbono en los últimos años para abordar las emisiones restantes en determinados sectores especialmente difíciles de reducir (por ejemplo, los procesos industriales). El nivel de dependencia de la eliminación de carbono varía: los escenarios que dependen en mayor medida de la eliminación de carbono (LC 2 [combustibles LC]) suponen un riesgo mucho mayor para los costes de los consumidores y para el cumplimiento de los objetivos legales en materia de GEI.

Aunque Colorado ha avanzado en la reducción de emisiones, según el escenario BAP, el estado no está en camino de alcanzar los objetivos de reducción establecidos por ley. Por lo tanto, se requieren esfuerzos adicionales para abordar la contaminación climática lo antes posible. Estos esfuerzos reportarán múltiples beneficios más allá de la reducción de las emisiones de GEI, en términos de ventajas económicas y reducción de la contaminación atmosférica en todo el estado.



Colorado Springs, Colorado. Foto de Neil/stock.adobe.com

Vías limpias y asequibles para combatir el cambio climático en Colorado

Informe resumido
Diciembre de 2025

