

Mejorando el Servicio de Autobuses y la Calidad del Aire en 6 Corredores de Transporte Público en la Ciudad de México

Evaluación de Impacto y Beneficios - Resultados Preliminares
Julio 2024 - Tiempo de lectura: 6 min

La Ciudad de México prioriza la creación de un sistema de movilidad sostenible que mejore la calidad de vida de sus habitantes. Por ello, ha implementado el “Programa de Sustitución de Unidades con 10 o más años de antigüedad que prestan el Servicio de Transporte Público Concesionado”, que busca modernizar la flota vehicular y la operación del servicio de transporte público que opera bajo concesiones.

La ciudad busca promover la modernización de los servicios en seis zonas importantes de la ciudad, en las que operan alrededor de 2,000 microbuses y autobuses que han cumplido su vida útil. Los proyectos principales incluyen el uso de autobuses diésel de mayor capacidad para pasajeros y menores emisiones. Estas medidas tienen el potencial de reducir la contaminación del aire y mejorar la salud de 4.5 millones de personas que residen en las colonias inmediatas y cercanas a los corredores.

Este informe describe la estimación inicial de los impactos y co-beneficios asociados a la renovación de flota vehicular en seis corredores de transporte público concesionado. Se utilizan datos disponibles hasta junio de 2024 para construir los escenarios potenciales. Para mayor información, consultar la nota metodológica al final del documento.

Un mejor servicio de transporte con autobuses mejorando la calidad del aire y ahorrando en emisiones

La Ciudad de México es una de las metrópolis más grandes del mundo. Su rápido crecimiento desde la década de 1950 hasta la actualidad ha resultado en una población total de más de 9 millones de habitantes, con 21 millones en el Área Metropolitana.¹ El crecimiento continuo de la ciudad ha contribuido al aumento de emisiones de contaminantes atmosféricos. Las mediciones de 2019 indican una concentración promedio de material particulado de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$,² lo que es más de 4 veces los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud.³ Los niveles de contaminación del aire fueron responsables de más de 4,400 muertes prematuras en 2021 en la ciudad.⁴

El Gobierno de la Ciudad de México ha avanzado significativamente en mejorar la calidad del servicio del transporte público a través de la oferta ampliada de infraestructura y los programas de renovación de flota. Con estas acciones estratégicas, alineadas con la visión de movilidad de Integrar, Mejorar y Proteger, que son los 3 ejes estratégicos que conforman el Programa Integral de Movilidad 2019 - 2024, la ciudad ha hecho frente al reto de reducir el impacto ambiental del sector transporte.

Una cuarta parte de los viajes de pasajeros en CDMX se realizan en vehículos privados, representando más de 4 millones de viajes diarios en automóviles y motocicletas⁵. El sector del transporte es responsable de las emisiones de alrededor de 17 millones de toneladas de CO₂ al año (2018), lo que representa el 53% del total de emisiones de GEI de la ciudad.⁶

La Ciudad de México está buscando soluciones para mejorar su sistema de transporte público concesionado, reducir las emisiones asociadas a la operación y con ello mejorar la calidad de vida de las personas usuarias. Además de algunos corredores y servicios zonales que ya han sido renovados y modernizados entre 2019 y 2024, la ciudad identificó



La contaminación del aire es responsable de alrededor de 4,400 muertes prematuras en la Ciudad de México cada año.



El 53% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector del transporte



El 24% de los viajes diarios se realizan en automóviles, motocicletas y taxis.

seis áreas clave con potencial para continuar con el programa de sustitución de unidades. Azcapotzalco, Av. Aztecas, Xochimilco, Tláhuac, Centro Histórico e Iztacalco-Neza se han priorizado para avanzar con la sustitución de vehículos, además de ser significativos desde una perspectiva de equidad e inclusión, al beneficiar a personas usuarias con un sistema de transporte que reduzca sus tiempos de viaje y mejore la experiencia en su traslado. En estas zonas circulan más de 2,000 microbuses y midibuses, que operan en numerosas rutas.

Los corredores de av. Aztecas y Xochimilco ya tienen definidos los reemplazos y serán implementados, mientras que para los cuatro corredores restantes, las medidas potenciales implican la adquisición de autobuses con mayor capacidad de pasajeros y menores emisiones. En este sentido, a fin de generar diversos escenarios de implementación que permitan estimar el impacto de los esquemas de sustitución de flota, este informe presenta dos alternativas: 1) optimización de las rutas con autobuses diésel más grandes y recientes (alternativa 1), y 2) optimización de las rutas y electrificación total de los vehículos (alternativa 2).

Mejorando 6 líneas de autobuses en la Ciudad de México

Azcapotzalco

Sustitución de vehículos pequeños (combi/vans, microbuses) por vehículos más grandes. Optimización de las rutas (kilometraje recorrido).

Centro Histórico

Sustitución de vehículos pequeños (combi/vans, microbuses) por vehículos más grandes.

Xochimilco*

Sustitución de vehículos pequeños (combi/vans, microbuses) por vehículos más grandes (vagonetas y autobuses) diésel. Optimización de las rutas (kilometraje recorrido).

Iztacalco-Neza

Sustitución de vehículos pequeños (combi/vans, microbuses) por vehículos más grandes.

Tláhuac

Sustitución de vehículos pequeños (combi/vans, microbuses) por vehículos más grandes.

Aztecas*

Reemplazo de microbuses/ autobuses por trolebuses 100% eléctricos

***Cambios planeados para ser implementados**

Optimizar las rutas y cambiar los antiguos vehículos contaminantes por vehículos más modernos y eficientes puede reducir los contaminantes emitidos por la combustión vehicular, como los óxidos de nitrógeno (NOx), el CO2 y las partículas finas (PM2.5).

Los grupos vulnerables como las infancias, personas embarazadas, personas adultas mayores y aquellas con enfermedades cardíacas y pulmonares preexistentes son particularmente afectados por la contaminación del aire. Niveles más bajos de contaminación del aire pueden mejorar la salud

pública y ayudar a prevenir muertes prematuras entre los 4.5 millones de residentes que viven cerca de los corredores analizados.

Los gráficos a continuación muestran la diferencia entre la situación actual (negro) y la modificación propuesta. Los corredores av. Aztecas y Xochimilco ya tienen definida su tecnología. Para los corredores restantes, existen dos opciones potenciales: optimizar las rutas con autobuses diésel más grandes (alternativa 1) o optimizar las rutas y electrificar los vehículos (alternativa 2).

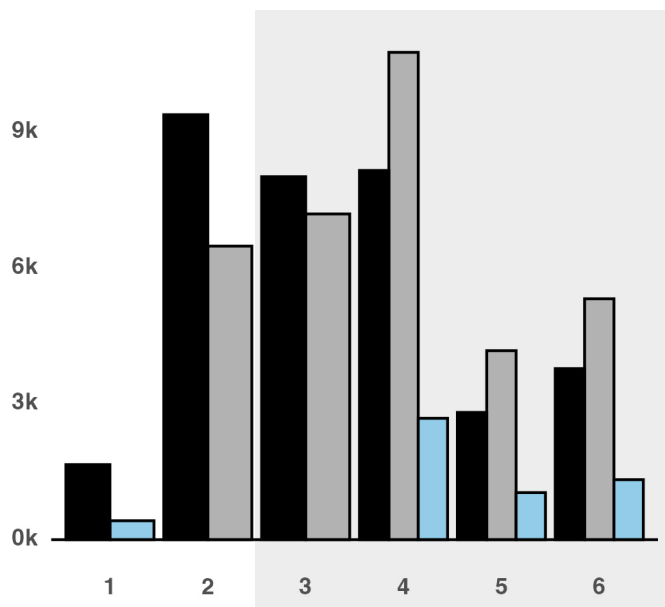
Impacto de cada alternativa en las emisiones de contaminantes

Modificaciones planeadas:
1. av. Aztecas
2. Xochimilco

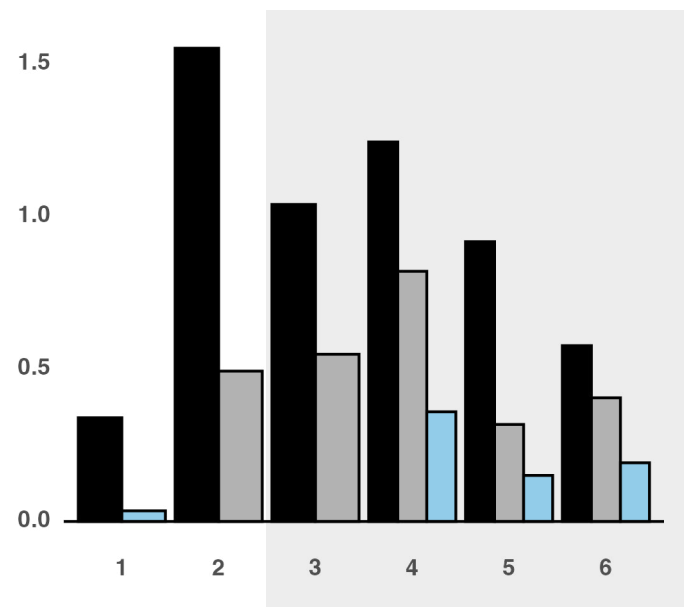
Modificación por diseñar
3. Azcapotzalco
4. Tlahuac
5. Centro Historico
6. Iztacalco Neza

Emisiones actuales
Alternativa diésel
Alternativa eléctrica

Toneladas de emisiones de **CO2** por corredor por año



Toneladas de emisiones de **PM_{2.5}** por corredor por año



El total de emisiones estimado para cada escenario en los corredores por diseñar puede variar en función de la tecnología vehicular seleccionada, los derroteros sujetos a renovación, la programación de los servicios y la tasa de sustitución de las unidades actuales.

Los beneficios acumulativos de la optimización y electrificación de los seis corredores podrían...

Reducir el 68% de las emisiones de PM2.5

A medida que la ciudad implementa vehículos más eficientes en los primeros tres corredores y bajo el supuesto que optara por vehículos eléctricos en el resto, el conjunto de proyectos podría reducir 94 toneladas de emisiones de NOx y 4 toneladas de emisiones de PM_{2.5} por año.

Evitar 15,800 t de emisiones de CO2

Los nuevos autobuses implementados y los posibles autobuses eléctricos podrían ahorrar 15,761 toneladas de CO2 por año, lo que representa una reducción del 45% respecto al escenario actual.

Esto equivale al 0.1% de las emisiones de transporte de la ciudad cada año.

Prevenir 20 muertes prematuras en los próximos 10 años

La implementación de nuevos autobuses en los corredores tiene la capacidad de evitar 20 muertes prematuras en los próximos 10 años.

También podría reducir los casos de cáncer de pulmón y asma en la ciudad.

Impacto de los corredores implementados

La ciudad ya está implementando cambios en los corredores de av. Aztecas y Xochimilco, los cuales cubren múltiples rutas con una importante cantidad de vehículos pequeños. El corredor Xochimilco recibirá nuevos midibuses y vagonetas diésel, mientras que el corredor de av. Aztecas ya opera en su totalidad con trolebuses eléctricos.

Corredor Aztecas

El corredor de trolebús de av. Aztecas (Línea 12 del Servicio de Transportes Eléctricos), al suroeste de la ciudad, logró optimizar el servicio de dos antiguas rutas de microbuses, los cuales fueron reemplazados por 28 trolebuses, vehículos 100% eléctricos.



97 vehículos



1.8 millón km/año



64% buses a diesel, 1% buses
GLP, 2% microbuses GLP,
33% microbus GLP

Optimización de las rutas con trolebuses eléctricos

Nuevo corredor



28 vehículos



1.1 millón km/año



100% trolebuses eléctricos

Cambio de Emisiones

CO2 **-1,239 t/year** **-74%**

PM_{2.5} **-0.31 t/year** **-90%**

NOx **-12 t/year** **-100%**

SOx **-0.01 t/year** **-100%**



Corredor Xochimilco

El corredor de transporte en Xochimilco, al sureste de la ciudad, está optimizando el servicio en horarios y rutas estratégicas y utilizará autobuses y vagonetas diesel más eficientes.

Corredor actual



236 vehículos



16 millón km/año



87% microbuses GLP, 2% buses
a diesel, 3% midibuses a diesel,
8% combis a gasolina

Optimización de las rutas con midibuses

Nuevo corredor



142 vehículos



7.8 millón km/año



87% EURO V midibuses a
diesel
13% EURO VI vans a diesel

Cambio de Emisiones

CO2 **-2,898 t/year** **-31%**

PM_{2.5} **-1.06 t/year** **-68%**

NOx **-3.15 t/year** **-14%**

SOx **+0.03 t/year** **+226%**



Avanzando: opciones para la futura renovación de la flota

Además de las tres zonas sujetas a intervención, se realizaron los estudios para evaluar la factibilidad de reemplazar la flota en otros cuatro corredores: Azcapotzalco, Tláhuac, Centro Histórico e Iztacalco-Neza. Hemos examinado el potencial para el reemplazo de la flota en cada corredor, considerando tanto alternativas diésel como 100% eléctricas.

El corredor Azcapotzalco cuenta con un proyecto que se encuentra en proceso de negociación con las personas concesionarias de las rutas sujetas a renovación, mientras que los corredores Tláhuac, Iztacalco-Neza y Centro Histórico cuentan con estudios de oferta - demanda que permitirán a la ciudad iniciar con los procesos de renovación.

Corredor 3: Azcapotzalco

En el corredor Azcapotzalco existen 6 rutas que operan con microbuses pequeños, combis/vans y autobuses. El proyecto de reemplazo considera la renovación de 3 de estas rutas con midibuses más grandes y optimizará el servicio para los horarios y trayectos más necesarios.

Corredor actual

-  550 vehículos
-  12.6 millón km/año
-  73% microbuses GLP, 20% buses GLP, 7% combis a gasolina

Optimización de las rutas con midibuses

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	195 vehículos	CO2	-977 t/year -10%
	8.2 millón km/año	PM _{2.5}	-0.49 t/year -47%
	100% midibuses a diesel	NOx	-14.66 t/year -41%
		SOx	+0.04 t/year +4%

Corredor 4: Tláhuac

El corredor de transporte en Tláhuac atraviesa tres alcaldías incluyendo Iztacalco, Iztapalapa y Venustiano Carranza. Los autobuses que operan actualmente son únicamente microbuses y combis/vans. El proyecto tiene como objetivo reemplazar dichas unidades con vehículos más grandes (autobuses diésel para la alternativa 1 o autobuses eléctricos para la alternativa 2). Este escenario mejoraría la calidad del aire para los 917,980 residentes del área de influencia.

-  724 vehículos
-  13.5 millón km/año
-  93% microbuses GPL, 7% combi/van GPL

Alternativa 1: optimización de las rutas con autobuses más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	301 vehículos	CO2	+2,074 t/year +27%
	12.3 millón km/año	PM _{2.5}	-0.42 t/year -34%
	100% mini/midibuses a diesel	NOx	+17 t/year +126%
		SOx	+0.12 t/year +979%

Alternativa 2: optimización de las rutas con autobuses eléctricos más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	301 vehículos	CO2	-1,600 t/year -21%
	12.3 millón km/año	PM _{2.5}	-0.88 t/year -71%
	100% mini/midibuses eléctricos	NOx	-14 t/year -100%
		SOx	-0.03 t/year -100%



Corredor 5: Centro Historico

Los servicios de transporte público concesionado que conectan al Centro Histórico, también brindan servicio a otras zonas de la ciudad como las alcaldías Gustavo A. Madero, Benito Juárez y Coyoacán. Los autobuses que operan actualmente son microbuses y combis/vans, además de algunos autobuses diésel. El proyecto tiene como objetivo evaluar el reemplazo de los vehículos pequeños con vehículos más grandes (autobuses diésel para la alternativa 1 o autobuses eléctricos para la alternativa 2). Este escenario mejoraría la calidad del aire para los 554,300 residentes de la zona de influencia.

Corredor actual

- 148 vehículos
- 4.9 millón km/año
- 56% mini/midibuses a diesel, 26% buses a diesel, 18% mini/midibuses a GPL

Alternativa 1: optimización de las rutas con autobuses más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	63 vehículos	CO2	+511 t/year +12%
	4.8 millón km/año	PM _{2.5}	-0.60 t/year -65%
	100% mini/midibuses a diesel	NOx	-32 t/year -72%
		SOx	+0.00 t/year +00%

Alternativa 2: optimización de las rutas con autobuses eléctricos más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	63 vehículos	CO2	-2,450 t/year -56%
	4.8 millón km/año	PM _{2.5}	-0.77 t/year -84%
	100% mini/midibuses eléctricos	NOx	-44 t/year -100%
		SOx	-0.03 t/year -100%

Corredor 6: Iztacalco-Neza



El conjunto de servicios analizados para las zonas de Iztacalco - Neza, también brindan servicio en parte de las alcaldías Benito Juárez, Iztacalco e Iztapalapa así como en el municipio de Nezahualcóyotl en el Estado de México. Los autobuses que operan actualmente son únicamente microbuses a GPL. El escenario mejoraría la calidad del aire para los 670,400 residentes de las colonias adyacentes al trazo de las rutas que conforman el corredor tanto en la Ciudad de México como en Ciudad Nezahualcóyotl

- 344 vehículos
- 6.3 millón km/año
- 100% microbuses a GPL

Alternativa 1: optimización de las rutas con autobuses más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	100 vehículos	CO2	+1,541 t/year +41%
	6.1 millón km/año	PM _{2.5}	-0.17 t/year -30%
	100% mini/midibus a diesel	NOx	+9 t/year +142%
		SOx	+0.03 t/year +211%

Alternativa 2: optimización de las rutas con autobuses eléctricos más grandes

Nuevo corredor		Cambio de Emisiones	
	100 vehículos	CO2	-335 t/year -9%
	6.1 millón km/año	PM _{2.5}	-0.38 t/year -67%
	100% mini/midibus eléctricos	NOx	-6 t/year -100%
		SOx	-0.01 t/year -100%

Referencias y Metodología

Este informe muestra los impactos preliminares del proyecto, basados en los datos disponibles en junio de 2024.

Referencias:

^{1,5} ICLEI, Mexico City (2019). Los datos provienen de la Encuesta Origen-Destino de la Ciudad de México., INEGI (2017). Disponible en: <https://sustainablemobility.iclei.org/wpdm-package/iclei-cs-212-cdmx-ecomobility-alliance-pdf/?wpdmdl=65034>

^{2,4} Van Donkelaar et al (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty. George Washington University. Disponible en: <https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5/>

³ WHO global air quality guidelines (2021). Disponible en: <https://iris.who.int/handle/10665/345329>
Documento en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁶ Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (2020). Disponible en: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/C40-cities-green-house-gas-emissions-interactive-dashboard?-language=en_US

Modelación de los impactos de Gases de Efecto Invernadero (GEI), contaminación del aire y salud.

En este cálculo se involucran tres pasos principales: 1) Modelación para los niveles de actividad de transporte de los escenarios de línea base y alternativos; 2) Aplicar factores de emisión a los niveles totales de actividad de cada categoría de vehículo para calcular las emisiones de cada escenario; y 3) Utilizar la herramienta AQUA para calcular la concentración de contaminación del aire y los impactos en la salud.

1) Estimación del nivel de actividad (Kilómetros recorridos por vehículo - VKT)

A partir de los estudios de oferta - demanda realizados en cada corredor, se obtuvieron datos de VKT (Kilómetros recorridos por vehículo) para cada escenario (línea base + alternativas), desglosados por tipo de vehículo y combustible. Los estudios específicos realizados fueron: estudio de frecuencia de paso y ocupación, estudio de ascenso y descenso y estudio de cierre de circuito.

Con estos datos, se calcularon los valores de VKT de línea base para diferentes categorías de vehículos y combustibles, y evaluaron cómo convergía la demanda de pasajeros y la oferta de autobuses en los corredores. Para proponer la(s) nueva(s) alternativa(s), se utilizaron clases de vehículos identificadas y verificadas por la

Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI), la selección de los mismos se realizó en función de las características operativas de cada corredor y con base en dicha selección se calculó una nueva flota recomendada basada en la demanda actual de pasajeros. Las recomendaciones se centraron en modificaciones para mejorar la eficiencia mediante la reducción del número de vehículos, el aumento de la capacidad de pasajeros e incorporando vehículos más amigables con el medio ambiente.

2) Emisiones de GEI / contaminación del aire

Después de modelar el VKT para cada modo, antigüedad, combustible y escenario, se multiplicaron por factores de emisión para calcular las emisiones totales de cada escenario. Se consideraron los contaminantes CO₂, PM_{2.5}, NO_x y SO_x, utilizando las siguientes fuentes de datos:

- **La eficiencia de los vehículos diésel, gasolina y gas LP** proviene del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018). Para los vehículos eléctricos, los valores provienen de promedios del ICCT (2022) y MOVELATAM, ONU (2022). Excepciones: los datos para Microbuses y Vagonetas a gasolina provienen del Programa de Desarrollo de Bajas Emisiones de México (USAID, 2015);
- **Los factores de emisión (CO₂)** para cada tipo de combustible provienen del IPCC (2006).
- **El factor de emisión de la red eléctrica (CO₂)** (0.435 kg / MJ) proviene de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.
- **Los factores de emisión (contaminación del aire)** para cada categoría de vehículo, tipo de combustible y normativa Euro provienen de EMEP/EEA (2019).

3) Modelado de contaminación del aire y salud

Este proceso se realizó utilizando la herramienta C40 AQUA (2023) [disponible bajo solicitud]. Está dividido en dos pasos principales:

1. Calcular la concentración de contaminación del aire relacionada con la línea base y las alternativas 1 y 2 utilizando las emisiones de contaminación del aire calculadas en el paso anterior. La herramienta utiliza el Modelo de Intervención para la Contaminación del Aire (InMAP-Global) para convertir las emisiones de PM_{2.5} y otros contaminantes precursores en una concentración promedio anual de PM_{2.5}.

2. Calcular los impactos en la salud (muertes evitadas y años de vida perdidos) utilizando la concentración de contaminación del aire (calculada anteriormente) para la línea base y las alternativas 1 y 2.

Las principales fuentes utilizadas fueron:

- **La salud de referencia** (mortalidad y morbilidad) proviene del estudio de Carga Global de Enfermedades (Global Burden of Disease) de 2019 para México.
- **La desagregación de la población por grupos de edad** para 2023 y 2025 proviene de Oxford Eco-

nomics.

- **La calidad del aire de referencia** en la Ciudad de México es de 21 ug/m³, según [Van Donkelaar et al. de la Universidad George Washington](#), para el año 2021.

Población afectada en el área de influencia

Para calcular la población en el área de influencia de cada corredor, el método estableció un buffer de 800 metros a partir de los ejes de las rutas que conforman a cada corredor, y calculó la población residente en esa área. Los datos de población provienen del [Censo General de Población y Vivienda](#) (2020). Esto refleja a los residentes potenciales que podrían beneficiarse de las intervenciones, aunque en la realidad, las personas usuarias de los servicios de transporte y aquellas que viven y trabajan en las cercanías de las rutas de autobús también se beneficiarán de una mejor calidad del aire.

Limitaciones

- Los consultores tenían diferentes metodologías, clases de vehículos y entradas de datos, por lo que fue necesario consolidar y proponer una metodología unificada. Esto implicó hacer suposiciones relacionadas con las clases de vehículos y los factores de emisión. Se agruparon las Combis y Vagonetas en una sola categoría;
- Los factores de emisión de contaminación del aire de EMEP/EEA (2019) están divididos en categorías de vehículos y normativas Euro que no coinciden con las categorías disponibles en los datos de México. En primer lugar, asumimos que Combis/Vans/Vagonetas eran equivalentes a Microbuses, que los Minibuses eran equivalentes a Midibuses, y que RTP correspondía a Autobuses Estándar. También supusimos que todos los Microbuses son Euro 3, y que los Midibuses y Autobuses Estándar son Euro 4. Esto puede proporcionar una representación simplificada de los cambios en las emisiones.

Todos los materiales, estudios de caso, presentaciones, datos, imágenes y documentación proporcionados en este informe son únicamente con fines informativos y educativos, y no constituyen asesoramiento de inversión. C40 no realiza representaciones ni recomendaciones sobre la conveniencia de invertir en ningún proyecto, estructura, empresa, fondo de inversión u otro vehículo mencionado en esta publicación. C40 no actúa ni proporciona servicios como asesor de inversiones, asesor financiero, analista de inversiones, corredor, distribuidor, creador de mercado, banco de inversiones o suscriptor. La intención es que estas ideas sirvan como punto de partida para que otros interesados consideren sus propios enfoques dentro de sus contextos particulares.

