Edición No 286, número 6 del 2010

BOLETIN FAL
ISSN 1020-1017
FACILITACIÓN DEL TRANSPORTE Y EL COMERCIO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

# Hacia infraestructuras de transporte bajas en carbono

## Introducción

Se estima que el transporte es responsable del 13% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global y del 24% del $CO_2$ asociado a la combustión de combustibles fósiles. Así, los desafíos del cambio climático han contribuido a revitalizar la urgencia de desarrollar un transporte bajo en carbono.

A grandes rasgos, existen tres objetivos estratégicos para lo anterior. El primero corresponde a evitar la demanda por transporte. El segundo persigue trasladar el transporte hacia modos más limpios, especialmente desde el automóvil privado hacia el transporte público y otros modos de transporte en un esquema de co-modalidad. Por su parte, el tercero apunta a aumentar la eficiencia de las tecnologías.

Si bien el logro de estos objetivos requiere de políticas que aborden la totalidad de las fuentes emisoras asociadas al transporte, tradicionalmente el foco ha estado puesto en controlar las emisiones directas, o asociadas a la propulsión, de los vehículos (automóviles, autobuses, trenes, aviones y embarcaciones). A pesar de que estas emisiones representan una parte importante de las emisiones del transporte, este enfoque omite una serie de emisiones indirectas asociadas a las diferentes actividades que permiten la propulsión de los vehículos.

Con el fin de contribuir a cubrir esta carencia y facilitar el avance hacia sistemas de transporte bajos en carbono en América Latina, este documento entrega elementos para fomentar el desarrollo de infraestructuras de transporte bajas en carbono. Adoptando una infraestructura de transporte amplia, incluyendo no solo sus componentes materiales fijos sino que también lo que ocurre sobre ella. En este documento una infraestructura de transporte baja en carbono corresponde a aquella que reduce al mínimo las emisiones de carbono asociadas tanto a su provisión como a su explotación.

Con estos objetivos por delante, este documento contiene cuatro capítulos aparte de esta Introducción. Luego de una contextualización de la necesidad de concentrarse en la relevancia de las infraestructuras de transporte bajas en carbono; el primer capítulo entrega antecedentes sobre las actuales exigencias para avanzar hacia una economía baja en carbono y en particular sobre cómo progresar hacia un transporte bajo en carbono. De manera más específica, el segundo capítulo entrega una definición de una infraestructura de transporte baja en carbono, detalla las fuentes de emisión asociadas a una infraestructura de transporte y resume una metodología para calcular las emisiones asociadas a su ciclo de vida. A continuación, el capítulo tres desarrolla un ejemplo hipotético en donde se calculan las emisiones asociadas al ciclo de vida de dos opciones de infraestructura para un servicio de transporte específico: una carretera y una vía férrea. Finalmente, el documento concluye con una serie de recomendaciones genéricas.

**El presente documento analiza la importancia de las infraestructuras de transporte bajas en carbono para el desarrollo integral de la región. El trabajo forma parte de las actividades que la Unidad implementa en el proyecto CEPAL/AECID," Innovación ambiental de servicios urbanos y de infraestructura: hacia una economía sin carbono" financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).**

**Su autor es Edmundo Claro, consultor de la Unidad de Servicios de Infraestructura.**
**Para mayores antecedentes, contactar a: trans@cepal.org**

Introducción
I. Infraestructura de transporte baja en carbono
II. Metodología para el cálculo de las emisiones asociadas al ciclo de vida de una infraestructura de transporte
III. Ejemplo de estimación y comparación de emisiones asociadas al desarrollo de dos alternativas de infraestructura de transporte
IV. Recomendaciones

NACIONES UNIDAS
CEPAL

# I. Infraestructura de transporte baja en carbono

## 1. Definición

Si bien el término infraestructura se originó en la jerga militar para referirse a instalaciones fijas, como las bases aéreas, hoy se utiliza para señalar cualquier recurso construido por el hombre importante y ampliamente compartido (Edwards, 2003). Por ejemplo, NZIER (2004) indica que una infraestructura es un conjunto de activos que solo se puede ajustar por medio de grandes y abruptos incrementos de capacidad, con riesgos de inutilización, altos costos fijos y bajos costes marginales, y que son usados por diversos usuarios. Por su parte, Naciones Unidas (2007) señala que las infraestructuras comprenden redes y estructuras intensivas en capital de larga duración que directamente apoyan la producción económica.

Naciones Unidas (2007) también expresa que las infraestructuras normalmente incluyen servicios públicos (abastecimiento de agua, provisión de energía, etc.), obras públicas (calles, represas, etc.), servicios de transporte (líneas de tren, puertos, etc.) y servicios sanitarios (alcantarillado, disposición de residuos, etc.). De este modo, las infraestructuras apoyan el crecimiento y el desarrollo mediante la prestación de servicios como insumos para otros procesos productivos (por ejemplo, energía y transporte) y como productos para su consumo final (por ejemplo, agua potable y saneamiento).

Debido a que las infraestructuras condicionan profundamente los patrones de consumo de sus usuarios, la elección de cuáles se fabriquen y la forma en que estas se diseñen condicionarán significativamente el consumo de energía y el nivel de emisiones de carbono durante las próximas décadas (Li y Colombier, 2009)[1]. En este sentido, el desarrollo de infraestructura baja en carbono corresponde a un elemento que facilita el camino hacia una economía con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Scottish Government, 2010).

En línea con lo anterior y adoptando una perspectiva amplia de una infraestructura de transporte, incluyendo no solo sus componentes materiales fijos sino que también lo que ocurre sobre ella, una infraestructura de transporte baja en carbono es aquella que reduce al mínimo las emisiones de carbono asociadas tanto a su provisión como a su explotación. Desde este punto de vista una infraestructura baja en carbono es aquella que genera las menores emisiones de carbono en comparación con las alternativas de infraestructura posibles para la prestación de un servicio de transporte específico.

## 2. Emisiones asociadas a una infraestructura de transporte

Si bien la contribución del transporte al calentamiento global es ampliamente reconocida, las políticas han tendido a focalizar sus esfuerzos en controlar las emisiones directas, o asociadas a la propulsión, de los vehículos (automóviles, autobuses, trenes, aviones y embarcaciones) (Chester y Horvath, 2009; Jonsson, 2007). A pesar de que estas emisiones representan una parte importante de las emisiones del transporte, este enfoque omite una serie de emisiones indirectas asociadas a las diferentes actividades que permiten la propulsión de los vehículos. Entre estas actividades se destacan las comprendidas en el ciclo de vida de los vehículos, los combustibles que permiten la propulsión de los vehículos y las infraestructuras correspondientes (Chester y Horvath, 2009; Lenzen, 1999; Miliutenko, 2010).

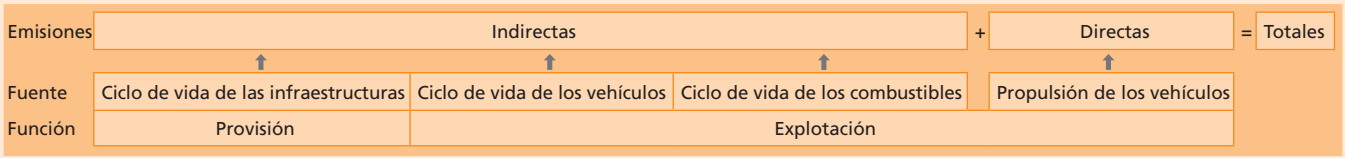
Por ejemplo, un estudio sobre el transporte de pasajeros en Estados Unidos indica que las emisiones indirectas directas por pasajero-kilómetro transportado se aproximan al 30% de las emisiones totales para el transporte carretero, al 60% para el transporte ferroviario y al 20% del transporte aéreo (Chester y Horvath, 2009). Por su parte, un estudio sobre el transporte carretero de Suecia señala que del consumo total de energía, el consumo indirecto representa el 45% de acuerdo a la siguiente partición: fabricación y mantenimiento de vehículos 14%, producción y distribución de combustibles 9%, y construcción y servicio de las infraestructuras 22% (Jonsson, 2007).

Así, al considerar cómo abordar las decisiones sobre infraestructura de transporte para avanzar hacia un sistema bajo en carbono, se debe mantener una visión amplia de las potenciales soluciones que contemplen las emisiones totales (directas + indirectas) asociadas a la provisión y la explotación de cada una de ellas. Así, para cada alternativa posible se deben estimar las emisiones directas asociadas a la propulsión de los vehículos y las indirectas relacionadas con el ciclo de vida de los vehículos, los combustibles y las infraestructuras; el gráfico 1 refleja lo anterior.

Si bien la totalidad de estas emisiones son relevantes a la hora de tomar decisiones, por motivos de espacio y claridad, la sección siguiente entrega detalles sobre cómo estimar las emisiones asociadas al ciclo de vida solo de las infraestructuras, dejando de lado las asociadas a la propulsión de los vehículos que utilizan las infraestructuras, al ciclo de vida de los vehículos y al ciclo de vida de los combustibles.

[1] Por ejemplo, enfatizar la construcción de carreteras que fomentan el uso de automóviles privados por sobre el desarrollo de sistemas de transporte público implicará una enorme demanda futura de combustibles fósiles por parte de los modos de transporte personal y el crecimiento continuo de las emisiones de carbono (Naciones Unidas, 2007).

Gráfico 1
**Emisiones totales de una infraestructura de transporte**




**Fuente**: Elaboración propia.

## II. Metodología para el cálculo de las emisiones asociadas al ciclo de vida de una infraestructura de transporte

Siguiendo a Forum for the Future (2009), el análisis de las emisiones de carbono del ciclo de vida de una infraestructura puede describirse en función de las siguientes fases:

- efinición del objetivo del análisis;
- desarrollo del diagrama de flujo del ciclo de vida de la infraestructura;
- recolección de datos, y
- cálculo de las emisiones.

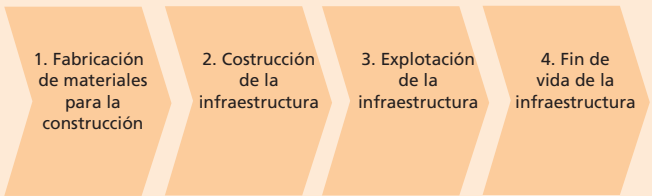
### 1. Definición del objetivo del análisis

En esta fase se define el objetivo de incluir las emisiones de carbono en el proceso de toma de decisiones y se determina el producto o servicio a ser analizado. Además, en esta fase se determina cómo los resultados deben ser interpretados y expuestos con el fin de que tengan sentido y sean útiles. En otras palabras, los resultados deben organizarse en base a una unidad funcional que describa la función que cumple el servicio en estudio (SAIC, 2006).

### 2. Desarrollo del diagrama de flujo del ciclo de vida de la infraestructura

Una infraestructura pasa por varias etapas en su vida. A su vez, cada etapa se compone de una serie de insumos, procesos y salidas. Así, el objetivo de esta fase es identificar todos los insumos, todos los procesos y todas las salidas que contribuyen al ciclo de vida de la infraestructura analizada. Información de diversos estudios permite establecer que las emisiones asociadas al ciclo de vida de una infraestructura provienen básicamente de cuatro etapas y de los requerimientos de transporte entre ellas: a) fabricación de materiales para la construcción; b) construcción de la infraestructura; c) explotación de la infraestructura y d) fin de vida de la infraestructura (véase el gráfico 2)[2].

Gráfico 2
**Ciclo de vida de una infraestructura**




**Fuente**: Elaboración propia.

A continuación se explican de manera breve las etapas del ciclo de vida de una infraestructura y de los insumos, procesos y salidas que generan emisiones de carbono.

**a) Fabricación de materiales para la construcción**

Esta etapa incluye la obtención de materia prima que luego será usada para fabricar los productos para construir la infraestructura, el transporte de esta al lugar de fabricación, la fabricación de materiales para la construcción y su distribución hasta el lugar de la construcción. Por su parte, la fabricación de materiales consiste en la transformación de la materia prima en productos que servirán para construir la infraestructura.

**b) Construcción de la infraestructura**

Esta etapa corresponde al proceso de construcción de la infraestructura, en donde los diversos componentes de la infraestructura son ensamblados a partir de los productos fabricados en la etapa anterior. Entre otras, aquí se incluyen actividades como la preparación del terreno; el movimiento de materiales y maquinaria; la construcción de vías; la instalación de oficinas, señalética, tuberías, luminaria, etc.; y el traslado de trabajadores desde y hacia el sitio de la construcción.

**c) Explotación de la infraestructura**

Las actividades asociadas a la etapa de la explotación de la infraestructura corresponden a las de operación y mantenimiento. Mientras las actividades de operación se refieren a aquellas que hacen posible el uso de la infraestructura, tales como la iluminación, el aseo y el control de accidentes, las de mantenimiento se relacionan con el reemplazo de elementos corroídos, el pintado de estructuras, el mejoramiento de asfalto, etc.

[2] Tanto la determinación de las etapas del ciclo de vida de una infraestructura como la explicación de cada una de ellas que sigue a continuación provienen de la revisión de las siguientes fuentes: AIA (2010); Collin y Fox (2010); Dai y Tang (2006); Jonsson (2007); Miliutenko (2010); Park et al. (2003); Treloar, Love y Crawford (2004); Torkington y Ulfves (2008).

**d) Fin de vida de la infraestructura**

Esta etapa del ciclo de vida de una infraestructura generalmente comienza con su demolición y sigue con la gestión de los residuos consecuentemente generados. Así, esta etapa incluye las emisiones generadas durante la demolición de la infraestructura, las generadas durante el transporte de los residuos, ya sea a un botadero o a una planta de reciclaje, y las generadas durante la disposición o reciclaje de los mismos.

## 3. Recolección de datos

Hay dos tipos de datos que son necesarios para calcular las emisiones de carbono de una infraestructura: los relativos a la actividad y los factores de emisión. Los relativos a la actividad se refieren a la totalidad de los insumos y salidas de materiales, la energía usada y el transporte que participan en el ciclo de vida definido para la infraestructura. Los factores de emisión proporcionan el vínculo que convierte estas cantidades en emisiones de carbono resultantes; la cantidad de carbono emitida por "unidad" de datos relativos a una actividad (por ejemplo, $CO_2$/kg o $CO_2$/kWh) (BSI, 2008).

Ambos tipos de datos pueden provenir de fuentes primarias o secundarias. Los datos primarios se refieren a mediciones directas realizadas en la cadena de suministro de la infraestructura en cuestión. Por su parte, los datos secundarios se refieren a medidas indirectas que no son específicos de la infraestructura en cuestión, sino que representan más bien una medición promedio o general de procesos o materiales similares. En general se recomienda utilizar datos primarios en la mayor medida posible, ya que permite una mejor comprensión de las emisiones reales, cuando estos no están disponibles o su calidad es cuestionable, es necesario utilizar datos secundarios (BSI, 2008).

## 4. Cálculo de las emisiones

La ecuación para estimar las emisiones de carbono de la infraestructura en cuestión es la suma de todos los datos relativos a la actividad (todos los insumos y salidas de materiales, toda la energía usada, todo el transporte y todos los cambios físicos en el paisaje) asociados a todas las actividades del ciclo de vida de la infraestructura multiplicados por sus respectivos factores de emisión. En otras palabras, el cálculo en si consiste simplemente en multiplicar los datos de cada actividad por los factores de emisión adecuados de acuerdo al siguiente esquema:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Emisiones de $CO_2$ de una actividad | = | Datos relativos de la actividad (masa, volumen, energía, longitud, etc.) | x | Factor de emisión ($CO_2$/unidad) |

**Fuente**: Elaboración propia.

# III. Ejemplo de estimación y comparación de emisiones asociadas al desarrollo de dos alternativas de infraestructura de transporte[3]

Para ilustrar la metodología anterior, a continuación se presenta un resumen de la de transporte para pasajeros con el fin de comunicar dos centros poblados separados por una distancia de 9,68 km.[4] Mientras la primera alternativa corresponde a una carretera principalmente para vehículos particulares, la segunda corresponde a una vía férrea para el transporte de pasajeros. El cuadro 1 resume las principales características de ambas infraestructuras.

Cuadro 1
**Características de las infraestructuras**

| Característica | Infraestructura | |
|---|---|---|
| | Carretera | Vía férrea |
| Automóvil | Sedán promedio en base a petróleo | High Speed train ICE 2 eléctrico |
| Largo | 9,68 km | 9,68 km |
| Ancho | 10 m | 6 m |
| Frecuencia | 2 000 viajes/día (1.000 de ida y 1.000 de vuelta) | 10 viajes/día (5 de ida y 5 de vuelta) |
| Carga | 1 pasajero/viaje | 150 pasajeros/viaje |
| Rendimiento | 36 500 000 pasajeros | 27 375 000 pasajeros |
| Combustible | Petróleo | Electricidad |
| Consumo | 0,09 litros/km | 20 kwh/km |
| Vida útil | 50 años | 50 años |

**Fuente**: Elaboración propia.

[3] El ejemplo aquí descrito corresponde a un breve resumen de un ejercicio hipotético desarrollado para este estudio. Los detalles del ejercicio se encuentran en un documento que será publicado por CEPAL.

[4] El establecimiento de esta distancia proviene de Mpele et al. (2010), quienes analizan los requerimientos energéticos de una carretera que une el norte de Camerún con el suroeste de Chad.

## 1. Definición del objetivo del análisis

El objetivo del análisis es evaluar y comparar las emisiones de carbono asociadas a las etapas del ciclo de vida, y a las correspondientes fuentes de emisión, de la carretera y la vía férrea detalladas en el cuadro anterior. Dado que la longitud de ambas infraestructuras es la misma (9,68 km), la unidad funcional seleccionada para evaluar el proyecto es "pasajero transportado".

## 2. Desarrollo del diagrama de flujo del ciclo de vida de las infraestructuras

Al igual que toda infraestructura, las etapas del ciclo de vida de la carretera y la vía férrea son cuatro: a) fabricación de materiales para la construcción; b) construcción; c) explotación y d) fin de vida. El cuadro 2 detalla los principales insumos y procesos asociados a estas etapas para ambas infraestructuras.

## 3. Recolección de datos

Dado el carácter hipotético del análisis, tanto los datos relativos a la actividad y los factores de emisión provienen de fuentes secundarias para ambas infraestructuras. Los cuadros 3 y 4 resumen los datos recolectados.

Cuadro 2
**Insumos y procesos de las infraestructuras**

| Etapa | Infraestructura | |
|---|---|---|
| | Carretera | Vía férrea |
| Fabricación de materiales para la construcción | áridos<br>hormigón<br>asfalto | áridos<br>hormigón<br>acero<br>madera |
| Construcción | preparación del terreno<br>construcción de la estructura<br>pavimentación | preparación del terreno<br>construcción del terraplén<br>emplazamiento de los durmientes y los rieles |
| Explotación | mantenimiento del pavimento | mantenimiento general de la infraestructura |
| Fin de vida | demolición<br>disposición de residuos en relleno sanitario | demolición<br>disposición de residuos en relleno sanitario |

**Fuente**: Elaboración propia.

Cuadro 3
**Datos recolectados para la carretera**

| Etapa | Fuente de emisión | Datos relativos a la actividad | Factor de emisión (kg $CO_2$) |
|---|---|---|---|
| Fabricación de materiales de construcción | Fabricación de asfalto | 92 575 ton[a] | 21,48/ton[b] |
| | Fabricación de hormigón | 111 ton[a] | 4,13/ton[b] |
| | Fabricación de áridos | 503 768 ton[a] | 2,85/ton[b] |
| | Transporte de asfalto al sitio de construcción | 92 575 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Transporte de hormigón al sitio de construcción | 111 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Transporte de áridos al sitio de construcción | 503 768 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| Construcción | Preparación del terreno | 1 171 671 $m^3$ [a] | 30/$m^3$ [d] |
| | Construcción de la estructura | 314 901 $m^3$ [a] | 30/$m^3$ [d] |
| | Pavimentación | 40 250 $m^3$ [a] | 300/$m^3$ [d] |
| Explotación | Mantención del pavimento | 18 515 tons por mantención[e] | 136,57/ton[f] |
| Fin de vida | Demolición: destrucción de la carretera | 87 120 $m^2$ [a] | 7,78/$m^2$ [g] |
| | Demolición: movimiento de materiales | 596 454 ton[a] | 2,85/ton[g] |
| | Transporte de residuos a relleno sanitario | 596 454 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Disposición de asfalto en relleno sanitario | 92 575 ton[a] | 4,54/ton[h] |
| | Disposición de hormigón en relleno sanitario | 111 ton[a] | 0/ton[h] |
| | Disposición de áridos en relleno sanitario | 503 768 ton[a] | 0/ton[h] |

**Fuente**: Elaboración propia.

[a] Mpele et al. (2010).
[b] Watkins (2009).
[c] Stripple (2001).
[d] Forum for the Future (2009).
[e] Athena Institute (2006).
[f] Elaboración propia a partir de Watkins (2009); Stripple (2001) y Forum for the Future (2009).
[g] Nianxiong, Jing y Rong (2008).
[h] Lewis (2008).

Cuadro 4
**Datos recolectados para la vía férrea**

| Etapa | Fuente de emisión | Datos relativos a la actividad | Factor de emisión (kg $CO_2$) |
|---|---|---|---|
| Fabricación de materiales de construcción | Fabricación de acero | 3 113 ton[a] | 1 800 ton[a] |
| | Fabricación de hormigón | 12 040 ton[a] | 4.13/ton[b] |
| | Fabricación de madera | 4 988 ton[a] | 150/ton[c] |
| | Fabricación de áridos | 420 ton[d] | 2.85/ton[b] |
| | Transporte de acero al sitio de construcción | 3 113 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Transporte de hormigón al sitio de construcción | 12 040 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Transporte de madera al sitio de construcción | 4 988 ton[a] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Transporte de áridos al sitio de construcción | 420 ton[d] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| Construcción | Preparación del terreno | 781 114 $m^3$ [f] | 30 $m^3$ [a] |
| | Construcción del terraplén | 25 168/$m^3$ [d] | 30 $m^3$ [a] |
| | Establecimiento de los durmientes y los rieles | 37 765 $m^3$ [a] | 30 $m^3$ [a] |
| Explotación | Mantención | - | 19 900/km-year[g] |
| Fin de vida | Demolición: destrucción de la vía férrea | 58 080 $m^2$ [f] | 7.78/$m^2$ [h] |
| | Demolición: movimiento de materiales | 20 561 ton[a,d] | 2.85/ton [h] |
| | Transporte de residuos a relleno sanitario | 20 561 ton[a,d] | 1,05/Camión-km (vacío al retorno)[c] |
| | Disposición de acero en relleno sanitario | 3 113 ton [a] | 4.54/ton[i] |
| | Disposición de hormigón en relleno sanitario | 12 040 tons[a] | 0/ton[j] |
| | Disposición de madera en relleno sanitario | 4 988 ton [a] | 90/ton[i] |
| | Disposición de áridos en relleno sanitario | 420 ton[d] | 0/ton[j] |

**Fuente**: Elaboración propia.
[a] Forum for the Future (2009).
[b] Watkins (2009).
[c] IWEPS (2001).
[d] UIC (2009).
[e] Stripple (2001).
[f] Mpele et al. (2010).
[g] Simonsen (2010).
[h] Nianxiong, Jing y Rong (2008).
[i] EPA (2006).
[j] Lewis (2008).

## 4. Cálculo de las emisiones[5]

El cálculo de las emisiones para el ciclo de vida de la carretera indica que la etapa de construcción es claramente la que genera la mayor cantidad de emisiones, aportando el 73,67% del total. Luego le siguen la etapa de explotación con el 13,15% de las emisiones totales, la de fabricación de materiales con el 7% y la del fin de vida con el 6,18%. Por su parte, examinando las emisiones a nivel de fuentes de emisión, la que genera más emisiones es la preparación del terreno, contribuyendo con el 45,70% del total.

Por su parte, el cálculo de las emisiones para el ciclo de vida de la vía férrea indica que la etapa de construcción es también la que genera la mayor cantidad de emisiones, aportando el 59,65% del total. Luego le siguen la etapa de explotación con el 22,69% de las emisiones totales, la de fabricación de materiales con el 15,24% y la del fin de vida con el 2,42%. Examinando las emisiones a nivel de fuentes de emisión, la que genera más emisiones es la preparación del terreno, contribuyendo con el 55,20% del total. El cuadro 5 resume esta información.



Cuadro 5
**Emisiones asociadas al ciclo de vida de las infraestructuras**

| Etapa | Infraestructura | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Carretera | | Vía férrea | |
| | Emisiones totales (kg $CO_2$) | Emisiones relativas (Porcentajes) | Emisiones totales (kg $CO_2$) | Emisiones relativas (Porcentajes) |
| Fabricación de materiales | 5 381 823 | 7,00 | 6 469 524 | 15,24 |
| Construcción | 56 672 167 | 7,67 | 25 321 412 | 59,65 |
| Explotación | 10 114 080 | 13,15 | 9 631 600 | 22,69 |
| Fin de vida | 4 754 722 | 6,18 | 1 026 865 | 2,42 |
| Total | 76 922 792 | 100,00 | 42 449 402 | 100,00 |

**Fuente**: Elaboración propia.

[5] Es importante señalar que estas estimaciones pueden presentar ciertas distorsiones asociadas a la recolección tanto de datos de actividad como de factores de emisión.

### 5. Inclusión de las emisiones asociadas a la propulsión de los vehículos y al ciclo de vida de los vehículos y los combustibles

A pesar de que el ejercicio anterior permite apreciar y comparar las emisiones asociadas al desarrollo de las infraestructuras examinadas, éste no tomó en consideración las emisiones asociadas a su uso, como las emisiones directas asociadas a la propulsión de los vehículos y las indirectas relacionadas con el ciclo de vida de los vehículos y los combustibles. El cuadro 6 presenta los resultados de un breve ejercicio que calcula estas emisiones para ambas alternativas de infraestructura[6].

Cuadro 6
**Emisiones asociadas a la propulsión de los vehículos y al ciclo de vida de los vehículos y los combustibles (kg $CO_2$)**

| Fuente | Infraestructura | |
|---|---|---|
| | Carretera | Vía férrea |
| Propulsión de los vehículos | 73 137 240 | 0 |
| Ciclo de vida de los vehículos | 32 378 955 | 5 283 090 |
| Ciclo de vida de los combustibles | 6 359 760 | 745 505 |

**Fuente**: Elaboración propia.

### 6. Comparación

En función de los análisis anteriores, es posible argumentar que de las dos alternativas examinadas, carretera y vía férrea, el desarrollo de la segunda corresponde claramente a la alternativa de infraestructura baja en carbono. Lo anterior se basa en consideración no solo de las emisiones totales de las alternativas, sino que también de sus emisiones por "pasajero transportado". El cuadro 7 resume esta información.

Cuadro 7
**Emisiones de las infraestructuras analizadas (kg $CO_2$)**

| Fuente | Infraestructura | |
|---|---|---|
| | Carretera | Vía férrea |
| Ciclo de vida de la infraestructura | 76 922 792 | 42 449 402 |
| Propulsión de los vehículos | 73 137 240 | 0 |
| Ciclo de vida de los vehículos | 32 378 955 | 5 283 090 |
| Ciclo de vida de los combustibles | 6 359 760 | 745 505 |
| Emisiones totales | 188 798 747 | 48 477 997 |
| Emisiones por "pasajero transportado" | 5,17 | 1,77 |

**Fuente**: Elaboración propia.

## IV. Recomendaciones

Si bien diversos estudios coinciden en que a corto plazo las decisiones de infraestructura tienen un impacto limitado en las emisiones de gases de efecto invernadero, estos señalan que pueden ser muy eficaces a largo plazo (Grazi y van den Bergh, 2008). Tal como expresa ECRPC (2008), las decisiones sobre infraestructura de transporte que se tomen durante los próximos años afectarán estas emisiones durante décadas. Así, estas deben ser evaluadas en términos de sus impactos sobre el calentamiento global, dando preferencia a las con menor nivel de emisiones.

Así, el desafío para los tomadores de decisiones es promover aquellas soluciones de infraestructura que generen las menores emisiones de carbono para la prestación de un servicio de transporte específico. Así, al evaluar decisiones de transporte entre ciudades, y entre zonas rurales y urbanas, se deben considerar diversas opciones para el traslado de pasajeros y carga, no limitándose a un modo en particular.

De manera similar, al evaluar soluciones para problemas de transporte automotriz urbano, además de ampliar las vías existentes o construir vías nuevas, el análisis debe considerar opciones como mejorar los modos de transporte alternativo (Litman, 2008). En este sentido, existe consenso en la literatura especializada de que para avanzar hacia un sistema de transporte bajo en carbono se debe aumentar y mejorar la infraestructura del transporte público y no motorizado, proveyendo distintas alternativas.

Por su parte, asumiendo que se ha tomado una decisión sobre el modo de transporte a desarrollar y su capacidad, y su materialización requiere el desarrollo de una nueva infraestructura, para avanzar hacia una infraestructura baja en carbono se deberán evaluar todas las emisiones asociadas al ciclo de vida de diferentes opciones de infraestructura y seleccionar la con menores emisiones. Un ejercicio de esta naturaleza permite comparar las emisiones asociadas a disyuntivas tales como: ¿deben los caminos ser construidos siguiendo la topografía natural o utilizando cortes y túneles?, o ¿qué material debe ser usado para construir un puente: concreto o acero? (Horvath, 2009).

[6] Los resultados aquí presentados provienen de un ejercicio hipotético desarrollado para este estudio. Los detalles del ejercicio se encuentran en un documento próximo a publicarse.