



Herramienta de Sustitución Vehicular Nota Metodológica

Selección #CO-T1501-P003

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones

Preparado para:



Nota Metodológica de la Herramienta de Sustitución Vehicular

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones

Documento elaborado por:

HINICIO

Carrera 5 #70A-74

Oficina 301

Bogotá, Colombia

Punto de contacto

Patrick Maio

CEO

+54 911 3646 3219

patrick.maio@hinicio.com

Marzo 2021

Contenido

1.	Parámetros calculados.....	4
1.1.	Consumo energético.....	4
1.2.	Financiamiento.....	4
1.2.1.	Compra directa sin financiamiento	4
1.2.2.	Compra con financiamiento	4
1.2.3.	Compra por contrato de lease	5
1.3.	Costo Total de Propiedad	5
1.4.	Emisiones de GEI.....	6
1.4.1.	CO2e Producción	6
1.4.2.	CO2e M.....	6
1.4.3.	CO2e TTW.....	6
1.4.4.	CO2e WTT.....	7
1.5.	Emisión de contaminantes criterio.....	8
1.6.	Co-beneficios	8
1.7.	Infraestructura de carga requerida.....	9
2.	Motores de cálculo	10
2.1.	Optimización del CTP.....	10
2.2.	Optimización de emisiones	10
3.	Referencias	12

1. Parámetros calculados

1.1. Consumo energético

El consumo energético de los vehículos es un parámetro base para calcular el costo por consumo de energéticos y las emisiones asociadas a su uso. Este parámetro se calcula de acuerdo con la eficiencia vehicular, el kilometraje anual, y la vida útil del vehículo según la siguiente ecuación:

$$CE = Ef * km * VU$$

Donde:

- *CE*: Consumo energético del vehículo (MJ)
- *Ef*: Eficiencia del vehículo (MJ/km). Este parámetro se toma de los valores reportados en el modelo europeo COPERT (EEA, 2020). Dicho modelo también se emplea en la herramienta para el cálculo de emisión de GEI y contaminantes.
- *km*: Kilometraje anual (km/año). El kilometraje anual depende únicamente de las especificaciones dadas por el usuario al momento de ingresar la flota actual de la entidad. Este parámetro se calcula multiplicando la intensidad de uso (km/día) por los días de uso al año (días/año).
- *VU*: Vida útil del vehículo (años). La vida útil se toma de (BID, 2016). Este reporte recomienda utilizar una vida útil de 8 años para la modelación de flotas vehiculares en Latino América.

1.2. Financiamiento

El cálculo del costo de financiamiento es dependiente de la modalidad que elija el usuario en la Herramienta, y este tiene un impacto directo sobre el Costo Total de Propiedad. Se incluyen las siguientes opciones de financiamiento:

1.2.1. Compra directa sin financiamiento

En el caso de una compra directa sin financiamiento, el costo asociado al financiamiento es 0 ya que no se incurre en ningún tipo de deuda o contrato.

1.2.2. Compra con financiamiento

El costo del financiamiento con deuda se calcula teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ➔ **% de los vehículos a financiar**: indica de cuánto es el préstamo, refiriéndose a un porcentaje sobre el valor de adquisición del vehículo
- ➔ **Meses a diferir el préstamo**: indica el número de meses en los cuales se va a pagar el préstamo
- ➔ **Tasa de interés mes vencido**: con esta tasa se calcula los intereses sobre el préstamo

A partir de la cuantía del préstamo calculada según el % de los vehículos a financiar, los meses a diferir, y la tasa de interés, se calcula los intereses totales en valor presente. Estos intereses corresponden al costo del financiamiento.

1.2.3. Compra por contrato de lease

El leasing es un método de financiación en el que la entidad estatal paga mensualmente un valor determinado y tras un período de tiempo definido contractualmente la entidad tiene la posibilidad de ejercer una opción de compra para adquirir la propiedad del vehículo. Bajo este esquema, el usuario asume los costos de operación y mantenimiento del vehículo.

Para el cálculo del costo por leasing se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Costo}_{lease} = \text{Pago}_{lease} - \text{Precio del vehículo}$$

Donde:

- $\text{Pago}_{lease} = \text{Depreciación} + \text{Plazo}_{lease} * \text{Pago}_{alquiler}$
- $\text{Pago}_{Alquiler} = (\text{Depreciación} + \text{Costo}_{Capitalizado}) * \text{Tasa}_{lease}$
- $\text{Costo}_{Capitalizado} = \text{Precio del vehículo} * (1 - \text{Porcentaje}_{cuota inicial})$
- $\text{Depreciación} = \text{Costo}_{Capitalizado} - \text{Precio del vehículo} * \text{Porcentaje}_{salvamento}$

Al igual que en el caso de compra con financiamiento, en el contrato de lease hay una tasa de interés que se debe pagar mes a mes (Tasa_{lease}). Adicionalmente, se requiere especificar una cuota inicial de los vehículos a financiar ($\text{Porcentaje}_{cuota inicial}$). El precio del vehículo también lo define el usuario al momento de ingresar su flota actual. En el caso de los vehículos de cero y bajas emisiones, la herramienta incluye los precios que se reportan en el Acuerdo marco de precios CCE-163-AMP-2020¹.

1.3. Costo Total de Propiedad

El Costo Total de Propiedad o CTP indica el costo asociado a la adquisición, operación y mantenimiento de un activo durante el total de su vida útil. Este indicador sirve como base para entender cómo impactarán los gastos variables en el costo total de uso de un activo. El CTP se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{CTP} = \text{Costo de adquisición} + \text{Costo de financiamiento} + \sum \text{Costos administrativos} \\ + \text{Costo de mantenimiento} + \text{Costo por consumo energético}$$

Donde:

- *Costo de adquisición*: Precio del vehículo antes de impuestos
- *Costo de financiamiento*: Intereses por préstamos o contratos de lease (ver sección 1.2)
- \sum *Costos administrativos*: Impuesto a la importación + Impuesto a la compra + Impuesto a la tenencia vehicular + Seguro SOAT + Depreciación
- *Costo de mantenimiento*: Costo total de mantenimiento al vehículo durante su vida útil. Se calcula a partir de la información ingresada por el usuario respecto al mantenimiento de

¹ La base de datos también tiene vehículos que no están incluidos en el acuerdo marco. En estos casos los parámetros de los vehículos se toman de los valores reportados a nivel nacional por los comercializadores.

Nota Metodológica de la Herramienta de Sustitución Vehicular

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones

la flota actual. En el caso de los vehículos de 0 y bajas emisiones, la Herramienta tiene valores de mantenimiento preestablecidos que vienen de la base de datos de Inicio

- **Costo por consumo energético** Costo total del energético consumido (gasolina/diésel/gas natural/electricidad). Se multiplica el consumo energético total del vehículo (sección 1.1) por el costo del energético. Estos costos se toman de la Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica 2019-2039 de la UPME²

En el CTP, la depreciación del vehículo se calcula de forma lineal según el valor de salvamento establecido en el modelo. El valor de salvamento por default es el 5% del precio de adquisición del vehículo.

$$\text{Depreciación} = \text{Precio del vehículo} * (1 - \text{Porcentaje salvamento})$$

1.4. Emisiones de GEI

En el modelo se cuantifican las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) incluyendo CO₂, CH₄ y N₂O. Las emisiones cuantificadas se explican en los siguientes incisos.

1.4.1. CO₂e Producción

Se refiere a las emisiones de GEI en CO₂ equivalente debido a la manufactura de los vehículos. Este valor se toma de (European Commission, 2020). Ya que las unidades se reportan en gCO₂e/km, el factor se multiplica por el kilometraje total del vehículo durante toda su vida útil.

1.4.2. CO₂e M

Se refiere a la emisión de GEI en CO₂ equivalente debido al mantenimiento de los vehículos. Este valor se toma de (European Commission, 2020). Ya que las unidades se reportan en gCO₂e/km, el factor se multiplica por el kilometraje total del vehículo durante toda su vida útil.

1.4.3. CO₂e TTW

Se refiere a la emisión de GEI en CO₂ equivalente del 'tanque a la rueda' (tank-to-wheel en inglés). Es decir, las emisiones debido al funcionamiento del vehículo. Para el caso de vehículos a combustión (gasolina/diésel/gas natural) este valor se calcula según la siguiente ecuación:

$$CO_{2e}TTW = FE_{CH_4} * GWP_{CH_4} * km * VU + FE_{N_2O} * GWP_{N_2O} * km * VU + CE * FE_{TTW}$$

Donde:

- FE_{CH_4} : Factor de emisión de CH₄ en gCH₄/km. Tomado de (EEA, 2020). Este factor es

² Tomado de <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Hidrocarburos.aspx>

dependiente del estándar europeo de emisión que el administrador seleccione en el modelo. El estándar por default del modelo es el EURO 3

- FE_{N2O} : Factor de emisión de N₂O en gN₂O/km. Tomado de (EEA, 2020). Este factor es dependiente del estándar europeo de emisión que el administrador seleccione en el modelo. El estándar por default del modelo es el EURO 3
- FE_{TTW} : Factor de emisión de CO₂ debido a la combustión del combustible (gasolina/diésel/gas natural) en gCO₂/MJ
- $GWPC_{CH4}$: Potencial de calentamiento global del CH₄, en gCO₂e/gCH₄. Tomado de (IPCC, 2006)
- $GWPN_{2O}$: Potencial de calentamiento global del N₂O, en gCO₂e/gN₂O. Tomado de (IPCC, 2006)
- km : Kilometraje anual (km/año). Especificado por el usuario
- VU : Vida útil del vehículo (años). La vida útil se toma de (BID, 2016). Este reporte recomienda utilizar una vida útil de 8 años para la modelación de flotas vehiculares en Latino América.
- CE : Consumo energético del vehículo en MJ (ver sección 1.1)

Cabe resaltar que los vehículos puramente eléctricos no tienen emisiones TTW ya que estos vehículos no emiten emisiones debido a su funcionamiento. No obstante, la producción de la electricidad que se usa para cargar los vehículos si genera emisiones según el factor de emisión de la matriz de generación. Dichas emisiones se enmarcan en las emisiones WTT, lo cual se explica en el siguiente inciso.

1.4.4. CO₂e WTT

Se refiere a la emisión de GEI en CO₂ equivalente del 'pozo al tanque' (well-to-tank en inglés). Es decir, las emisiones debido a la producción y transporte del energético usado para el funcionamiento del vehículo. Para el caso de vehículos a combustión (gasolina/diésel/gas natural) este valor se calcula según la siguiente ecuación:

$$CO_{2e}TTW = CE * FE_{TTW}$$

Donde:

- FE_{TTW} : Factor de emisión debido a la producción y transporte del combustible (gasolina/diésel/gas natural) en gCO₂e/MJ. Tomado de (UNFCCC, 2014)
- CE : Consumo energético de vehículo en MJ (ver sección 1.1)

Para el caso de vehículos eléctricos este valor se calcula según la siguiente ecuación:

$$CO_{2e}TTW = CE * FE_{red\ eléctrica}$$

Donde:

- $FE_{red\ eléctrica}$: Factor de emisión de la red eléctrica en gCO₂e/MJ. Tomado de (UPME, 2020)
- CE : Consumo energético del vehículo en MJ (ver sección 1.1)

1.5. Emisión de contaminantes criterio

En la herramienta se cuantifican los siguientes contaminantes criterio:

- ➔ SO₂: Dióxido de azufre. Es un gas incoloro que se produce por la quema de combustibles que contienen azufre.
- ➔ NO_x: Óxidos de nitrógeno. Se forman por la combustión a alta temperatura.
- ➔ PM_{2.5}: Material particulado respirable de 2.5 micras.
- ➔ CO: Monóxido de carbono. Es un gas tóxico, inodoro y incoloro generado por la combustión incompleta del carbono.
- ➔ NMVOC: Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano.

Estos contaminantes se cuantifican de acuerdo con los factores de emisión en g/km por categoría vehicular reportados en (EEA, 2020). Estos factores son dependientes del estándar europeo de emisión que el administrador seleccione en el modelo. El estándar por default del modelo es el EURO 3. Se emplea la siguiente formula:

$$E_{contaminante\ i} = km * VU * FE_{contaminante\ i}$$

Donde:

- $E_{contaminante\ i}$: Emisión del contaminante i (gramos)
- km : Kilometraje anual (km/año). Especificado por el usuario
- VU : Vida útil del vehículo (años). La vida útil se toma de (BID, 2016). Este reporte recomienda utilizar una vida útil de 8 años para la modelación de flotas vehiculares en Latino América.
- $FE_{contaminante\ i}$: Factor de emisión del contaminante de acuerdo con el estándar de emisión EURO seleccionado por el administrador. (g/km)

1.6. Co-beneficios

La reducción en emisión de GEI y contaminantes conduce a ahorros sociales en el sistema de salud por la disminución de la incidencia de enfermedades respiratorias relacionadas a dichos gases. El ahorro social se cuantifica con los siguientes factores:

Tabla 1. Costo social por contaminante

Contaminante	Costo social (COP/ton) ³	Comentario
NO _x	\$ 7'862.514	Tomado de los factores reportados por (IMF, 2014) para Colombia. Estos factores son dependientes del nivel económico del país y de los niveles de exposición de la población, por lo que fueron actualizados en COP del 2019 de
PM	\$ 1.021'071.431	

³ Calculado con una TRM de 3500 COP/USD

Nota Metodológica de la Herramienta de Sustitución Vehicular

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones

SO ₂	\$ 38'394.011	acuerdo con la última información disponible de PIB per cápita de Colombia (World Bank, 2021) siguiendo la metodología de cálculo propuesta por el IMF.
GEI	\$ 148.305	El costo social del carbono se toma de (ADB, 2017), en donde se reporta un costo de 36 USD (de 2016). Este costo aumenta 2% anual debido al incremento del daño por calentamiento global. Es decir, a 2020 se estima un costo de 42 USD (actualizado a USD de 2020).

1.7. Infraestructura de carga requerida

La adquisición de vehículos eléctricos conlleva requerimientos específicos de infraestructura de carga para el uso de los vehículos. Es por esto que la herramienta ofrece una estimación inicial del costo de adquisición e instalación de los cargadores necesarios según el resultado de la optimización de la flota actual. Los costos empleados por tipo de cargador se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Costo de infraestructura de carga

Tipo de cargador	Costo (COP/cargador) ⁴	Comentario
Nivel 2 – 7kW	\$ 5,950,000	Costo de estación de carga eléctrica Nivel 2 7kW (Wallbox) e Instalación. Se asume que los vehículos livianos (Automóviles, Camperos, Camionetas) usan este tipo de cargador. Tomado de (Volkswagen, 2018)
Nivel 2 – 44kW	\$ 38,500,000	Costo de estación de carga eléctrica Nivel 2 44kW (Estación de carga) e Instalación. Se asume que los vehículos pesados (Buses y Camiones) usan este tipo de cargador. Tomado de (Volkswagen, 2018)

⁴ Calculado con una TRM de 3500 COP/USD

2. Motores de cálculo

La herramienta incorpora dos opciones para realizar la optimización de la flota actual de la entidad. La primera opción corresponde a la selección de vehículos de cero y bajas emisiones para reemplazar los existentes con base a la minimización del CTP. La segunda opción realiza esta selección partiendo del criterio de reducción de emisiones.

En ambas opciones el modelo identifica primero los vehículos de cero y bajas que podrían potencialmente reemplazar los vehículos existentes de acuerdo con los siguientes criterios de funcionalidad:

- **Categoría:** El vehículo de cero o bajas emisiones que reemplaza el vehículo actual debe pertenecer a la misma categoría vehicular. Las categorías incluidas en el modelo son: automóvil, camioneta, campero, motocicleta, microbús, bus, camión, y tractomula.
- **Capacidad de pasajeros y capacidad de carga:** El vehículo de cero o bajas emisiones debe tener igual o mayor capacidad de pasajeros y/o de carga que el vehículo que se reemplaza.
- **Potencia:** El vehículo de cero o bajas emisiones debe tener igual o mayor potencia que el vehículo que se reemplaza. En el caso de que el usuario considere que esto no sería una limitante, se puede especificar una potencia de '0' en el vehículo de la flota actual.
- **Torque:** El vehículo de cero o bajas emisiones debe tener igual o mayor torque que el vehículo que se reemplaza. En el caso de que el usuario considere que esto no sería una limitante, se puede especificar un torque de '0' en el vehículo de la flota actual.
- **Autonomía:** El vehículo de cero o bajas emisiones debe cumplir con el requerimiento de autonomía del vehículo actual. Esta autonomía corresponde a la intensidad de uso del vehículo por día (km/día), la cual se especifica por el usuario.

2.1. Optimización del CTP

El motor de optimización del CTP le permite al modelo escoger los vehículos de cero y bajas emisiones que cumplan con los requerimientos de funcionamiento de la flota actual y que, adicionalmente, tengan menor CTP (ver sección 1.3) que el vehículo a reemplazar. Es decir, se selecciona el vehículo de cero/baja emisión que tenga el menor CTP entre los que cumplan los requerimientos funcionales. Este vehículo que se selecciona debe, a su vez, tener un menor CTP en comparación con el vehículo que se quiere reemplazar.

Los vehículos recomendados por la herramienta bajo este tipo de modelación son, por lo general, vehículos híbridos ya que estos tienen un menor costo de adquisición en comparación con los vehículos eléctricos.

2.2. Optimización de emisiones

El motor de optimización de emisiones le permite al modelo escoger los vehículos de cero y bajas emisiones que cumplan con los requerimientos de funcionamiento de la flota actual y que, adicionalmente, minimicen las emisiones de GEI generadas en toda

Nota Metodológica de la Herramienta de Sustitución Vehicular

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones

la vida útil de los vehículos (ver sección 1.4). Es decir, se selecciona el vehículo de cero/baja emisión que tenga las menores emisiones entre los que cumplan los requerimientos funcionales.

Los vehículos recomendados por la herramienta bajo este tipo de modelación son, por lo general, vehículos eléctricos a batería (BEV) ya que son los que tienen menores emisiones en comparación con los demás vehículos.

3. Referencias

- ADB. (2017). *Guidelines for the Economic Analysis of Projects*. Manila.
- BID. (2016). *La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina*.
- EEA. (2020). *Guidebook 2019, COPERT 5.4, update Oct. 2020*.
- European Commission. (2020). *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA*.
- IMF. (2014). *Getting Energy Prices Right*.
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Steer-UPME. (2019). *Estructurar las bases del programa de reemplazo tecnológico de la flota oficial del país, para acelerar la adquisición de vehículos de bajas y cero emisiones para entidades públicas de orden nacional y sus oficinas territoriales*.
- UNFCCC. (2014). *CDM Methodological tool: Upstream leakage emissions associated with fossil fuel usage; Version 02.0*.
- UPME. (2020). *Cálculo del Factor de Emisiones de la red de energía eléctrica en Colombia*.
- Volkswagen. (2018). *Electric charging for fleets: A COMPENDIUM FOR BUILDING AN ELECTRIC CHARGING INFRASTRUCTURE WITHIN THE COMPANY VERSION 1.0*.
- World Bank. (2021). *GDP per capita, PPP*. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?locations=EC>

Nota Metodológica de la Herramienta de Sustitución Vehicular

Estructuración de un programa piloto para la transformación de la flota oficial de orden nacional a tecnologías de cero y bajas emisiones