



Herramienta HECEV

Daniel Alberto Ríos Osorio, Alejandro Escobar Vanegas



GENERGÉTICA

Grupo de Investigación en Gestión Energética



Universidad Tecnológica
de Pereira



Contenido

1 Introducción

2 Desarrollo de la herramienta

3 Resultados

1

Introducción



Proyecto

Título del proyecto

Herramienta de evaluación del consumo energético y de las emisiones vehiculares derivados de la diversificación de la canasta energética en sistemas de transporte por carretera empleados en ciudades de Colombia.

Convocatoria

852 / 2019 – Conectando conocimiento – Minciencias

Duración del proyecto: 16 meses

Fecha de inicio: 14 de septiembre de 2020

Fecha de culminación: 14 de enero de 2022

Participantes



Grupo de Investigación en Gestión
Energética (GENERGÉTICA)



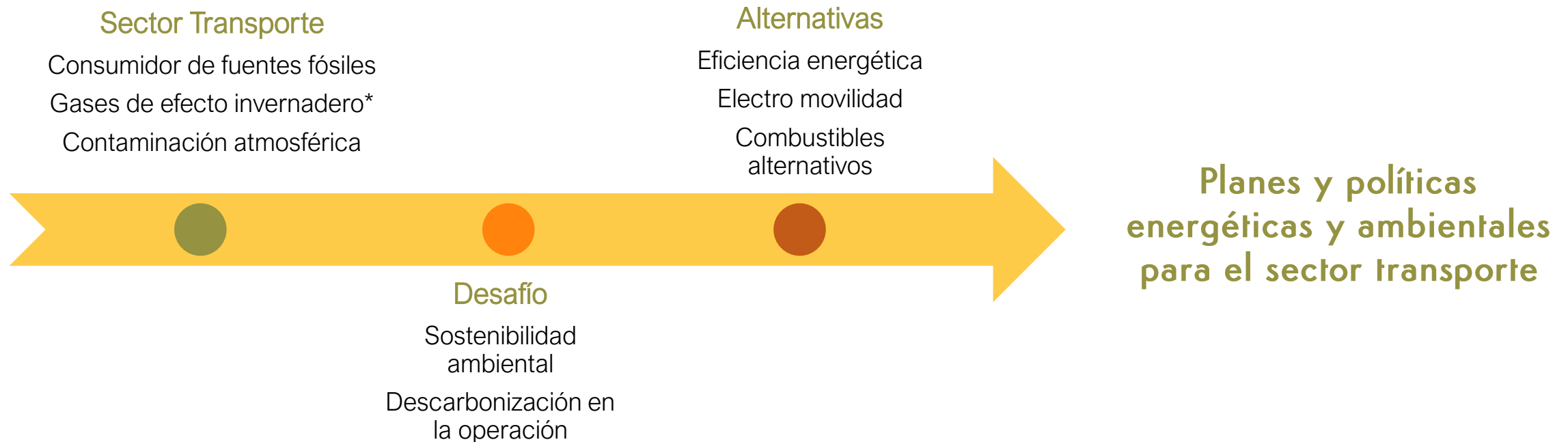
Grupo de Investigación Entre
Ciencia e Ingeniería



Integrantes:

Juan Esteban Tibaquirá, Álvaro Restrepo, Juan Camilo López, Juan Carlos Blandón, Juan Carlos Castillo, David Andrés Serrato, Tatiana Loaiza, Daniel Ríos, Alejandro Escobar, Santiago Jaramillo, Clement Gómez, Alejandro Morales, Kenpo Castaño

Problemática



* En el año 2018, el 25% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, se debieron al sector transporte, en gran parte, por el uso de Diésel y gasolina. *Agencia Internacional de Energía (IEA).2020.*

Problemática

Algunos planes y políticas

Colombia:

20% de flotas de los sistemas de transporte con tecnología cero emisiones a partir del 2030 (*Resolución 1972 de 2019*).

Introducción de vehículos eléctricos, a gas natural e híbridos (*Resolución 41286 de 2016 del Ministerio de Minas y Energía*).

Bogotá:

Promoción del uso de sistemas de control de emisiones en transporte de carga, motocicletas y en el Sistema Integrado de Transporte Público. (*Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá*).

Medellín:

Fortalecimiento del sistema de transporte público (*Plan de Descontaminación del Aire AMVA*).

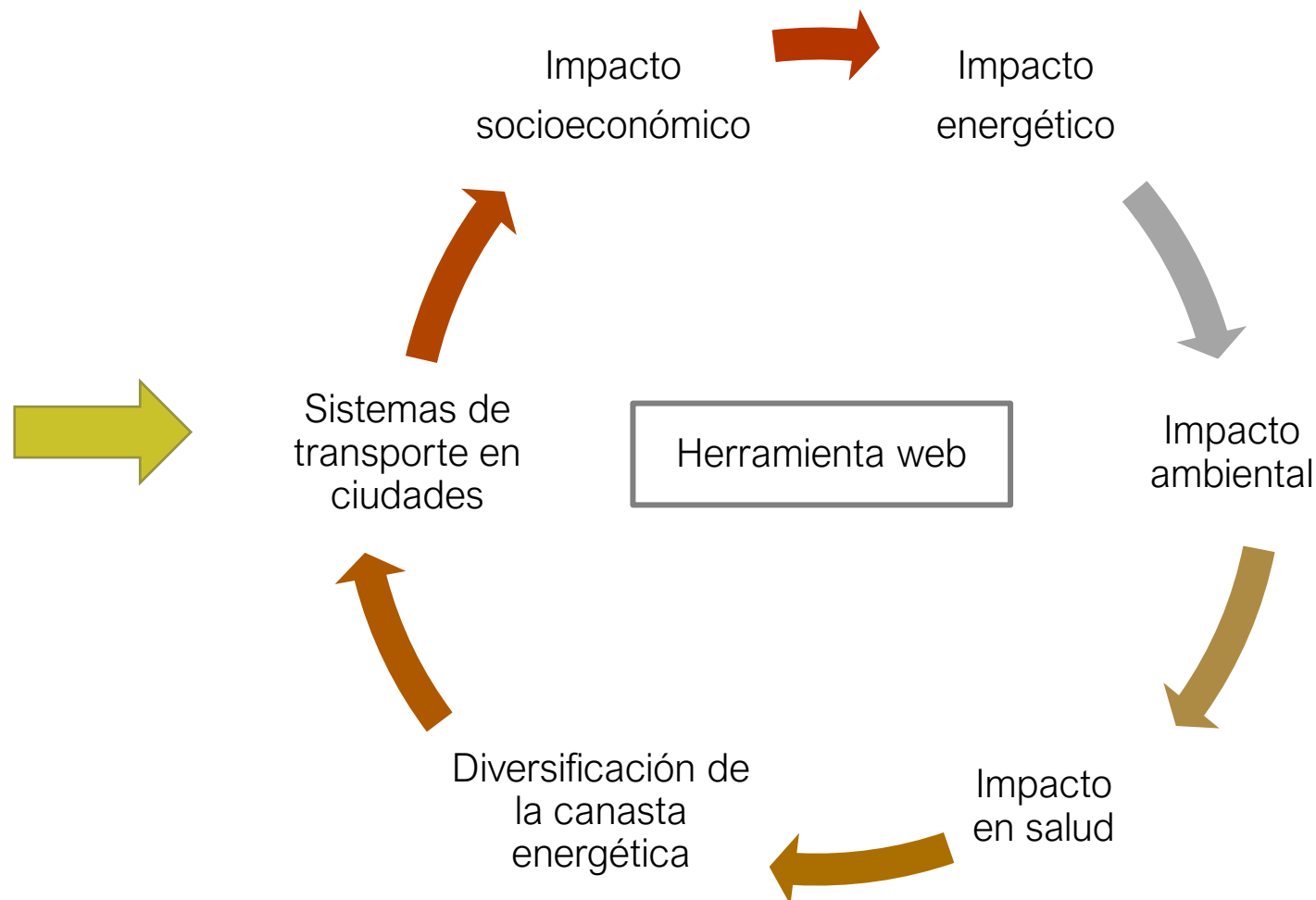


¿Como saber si las alternativas son viables y aportan una solución ?

¿Se pueden replicar estas iniciativas en otras ciudades?

¿Como aportar desde la investigación a la toma de decisiones en políticas públicas ?

Solución



2 Desarrollo de la herramienta



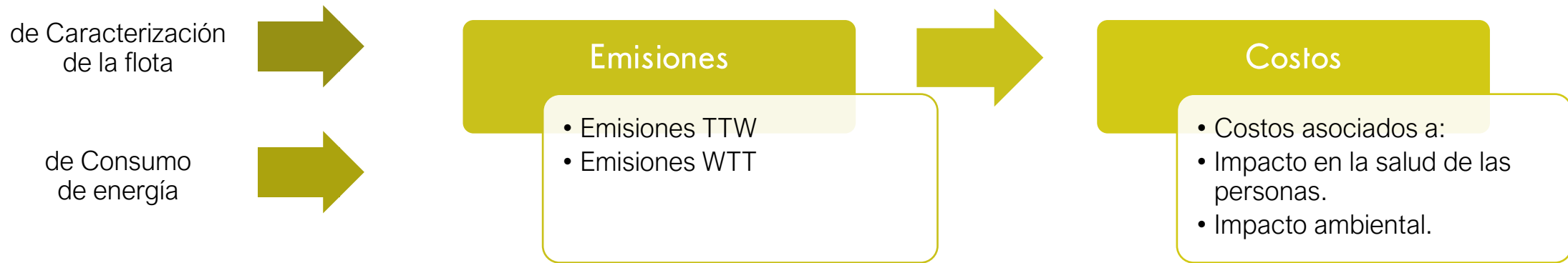
Módulos



TTW: *Tank to Wheel*

WTT: *Well to Tank*

Módulos



TTW: *Tank to Wheel*
WTT: *Well to Tank*



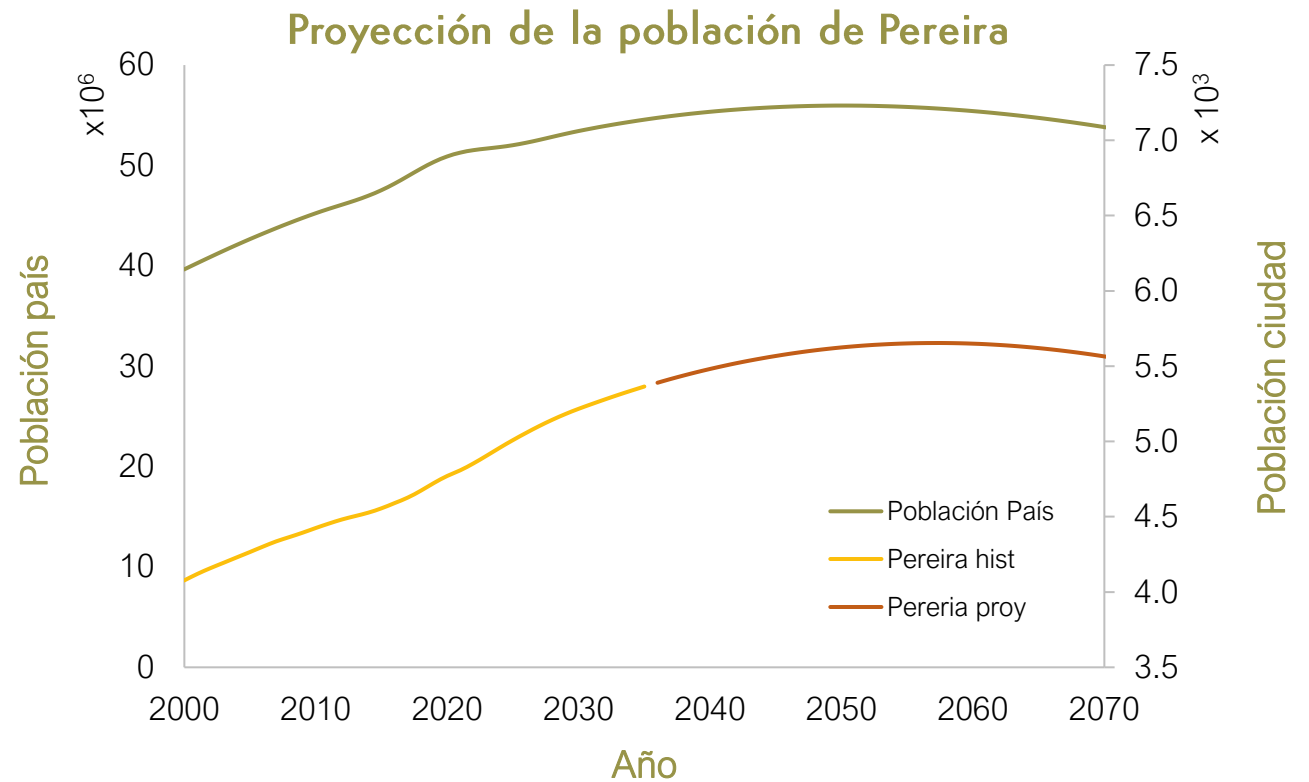
PROYECCIONES

Socioeconómico

Población

Producto interno bruto

- Estimación de acuerdo al comportamiento del país.



Socioeconómico

Población

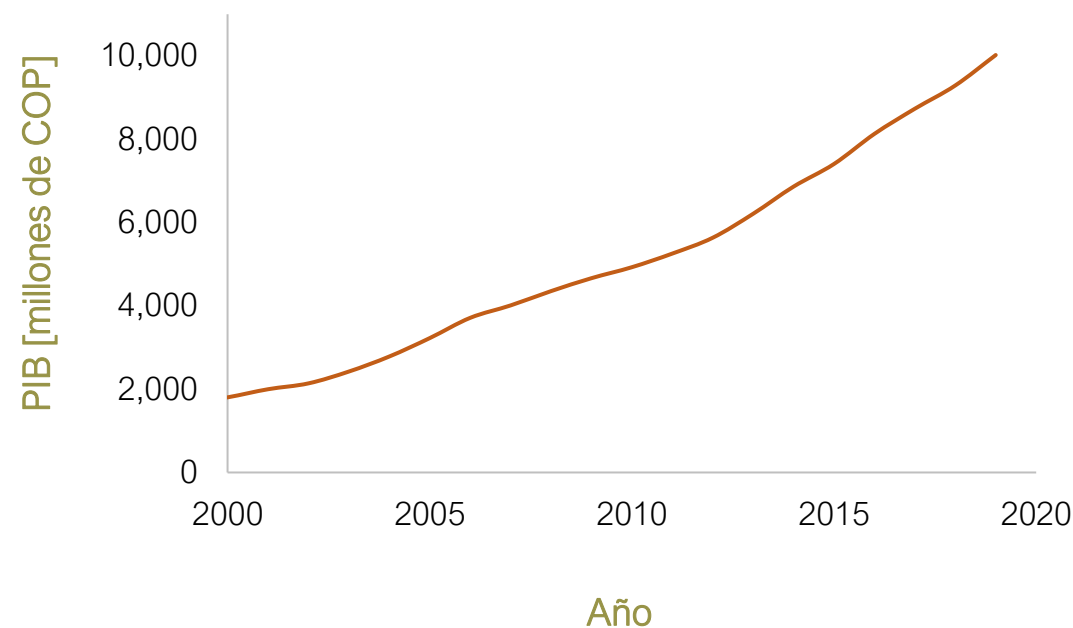
Producto interno bruto

➤ Crecimiento del PIB

Año	% prom anual
2021-2030	3,00%
2031-2040	2,50%
2041-2050	2,30%
2051-2060	2,20%
2061-2070	2,00%

* Datos ejemplo

PIB histórico de Pereira



Caracterización

Proyección de vehículos

Participación por clase vehicular y tecnología de motorización

Cantidad de kilómetros recorridos (VKT)

Función de Gompertz

$$V = \gamma * e^{\alpha * e^{\beta(PIBc)}}$$

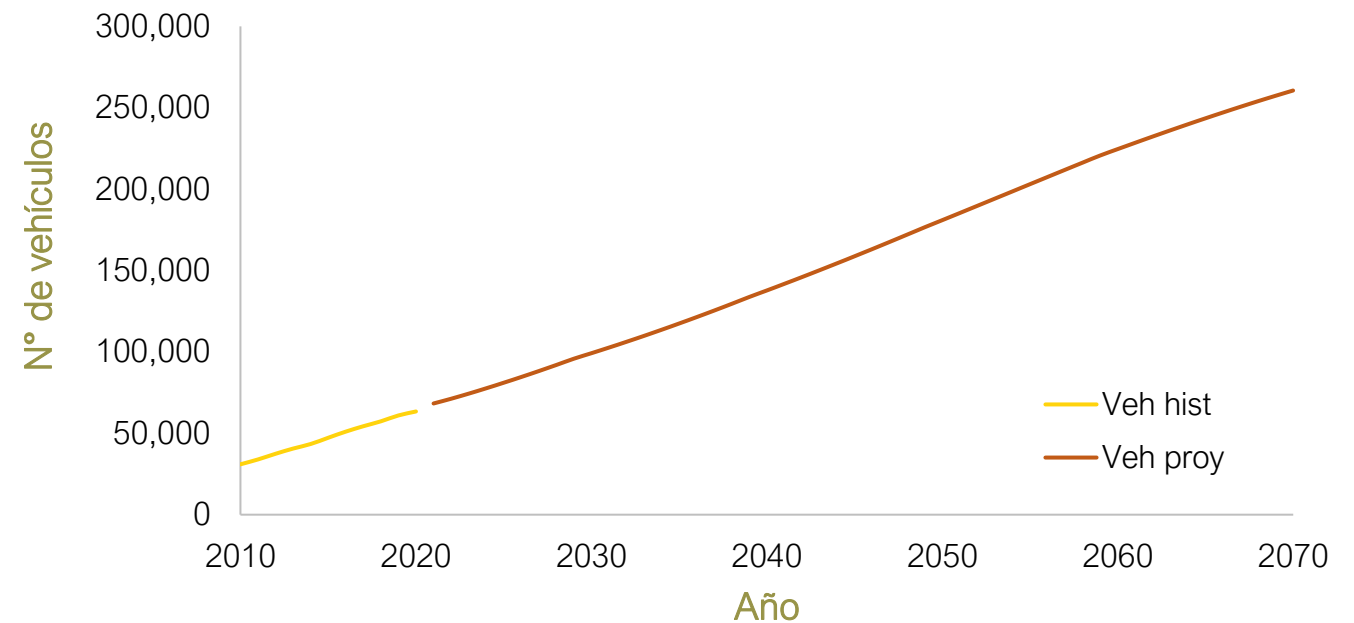
V: Número de vehículos por cada 1000 habitantes

PIBc: PIB per cápita

γ : Nivel de saturación [vehículos / 1000 habitantes]

α y β : Parámetros que determinan el comportamiento de la curva

Proyección automóviles de Pereira



- Proyección vehicular por clase.
- Cantidad de vehículos de 2010 a 2020: Base de datos del RUNT.

Caracterización

Proyección de vehículos

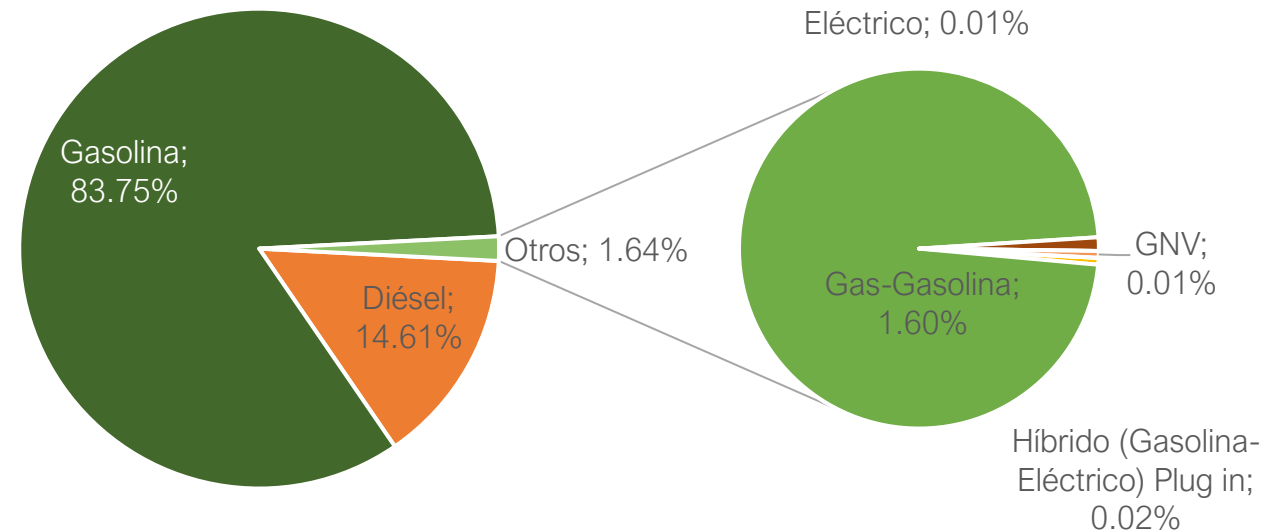
Participación por clase vehicular y tecnología de motorización

Cantidad de kilómetros recorridos (VKT)

Año	2020	2030	2040	2050
Gasolina	83.75			
Diésel	14.61			
GNV	0.01			
Gas-Gasolina	1.60			
Eléctrico	0.01			
Híbrido Gasolina	0.02			
Híbrido Diésel	-			

Porcentajes
establecidos
por el usuario

Participación al 2020 de los automóviles de Pereira*



* Base de datos del RUNT.



Matriz de participación

Caracterización

Proyección de vehículos

Participación por clase vehicular y tecnología de motorización

Cantidad de kilómetros recorridos (VKT)

$$VKT = AVKT * \# veh$$

VKT: *vehicle kilometers traveled*

AVKT: *average vehicle kilometers traveled*

AVKT por clase

Clase	km/año
Dos y tres Ruedas	22,301
Automóviles	13,206
Camperos, camionetas y microbuses	15,187
Buses y busetas	47,127

Datos AVKT:

Inventario de emisiones atmosféricas del AMVA - <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Herramientas-de-gestion/Inventario-de-emisiones-atmosfericas.aspx>

Revista Motor - https://www.motor.com.co/uploads/files/2021/04/08/Motor_Nuevos-766.pdf

Energía

Consumo de energía TTW

Consumo de energía WTT

$$CE_{TTW} = \frac{VKT * PCI * \rho}{RC}$$

PCI: Poder calorífico inferior

ρ: Densidad

RC: Rendimiento del combustible

Rendimiento clase automóviles*

Tecnología vehicular	Rendimiento [km/Lge]
Gasolina	15.79
Diésel	12.27
GNV	14.56
Eléctrico	58.50
HEV Gasolina	23.10
PHEV Gasolina	36.60

Lge: Litros de gasolina equivalente

HEV: Vehículos híbridos

PHEV: Vehículos híbridos convencionales

* Los datos de rendimiento fueron tomados de distintas fuentes nacionales e internacionales.

Energía

Consumo de energía TTW

Consumo de energía WTT

- Energía consumida en la fuente primaria.

$$CE_{WTT} = CE_{TTW} * \text{factor energético}$$

Factores energéticos WTT

Fuente	Factor energético [MJ/MJ]
Gasolina	1.268
Diésel	1.259
Gas natural	1.145
Electricidad	2.500
Hidrógeno	2.810

Emissiones

Emisiones TTW:

Para el CO₂

$$E_{TTW,CO_2} = CE_{TTW} * FE_{CO_2} [g/MJ]$$

Factores de emisión de CO₂¹

Combustible	gCO ₂ / MJ
Gasolina	66.57
Diésel	70.12
Gas natural	50.32

1. EPA - [Greenhouse Gas Inventory Guidance: Direct Emissions from Mobile Combustion Source \(epa.gov\)](https://www.epa.gov/greenhouse-gas-inventory-guidance-direct-emissions-from-mobile-combustion-source)

Para las emisiones contaminantes

$$E_{TTW} = VKT * \sum_{n=1}^6 (\% Est_n * FE_n)$$

$n = 1 \dots 6$: Estándar de emisión desde Euro 1 / I hasta Euro 6 / IV
 $\% Est_n$: Porcentaje de participación de los vehículos del estándar n
 FE_n : Factor de emisión para el estándar n

Factores de emisiones contaminantes² [g/km]

Clase	Tecnología de motorización	Estándar de emisión	CO	NOx	PM _{2.5}	HC
Automóvil	Gasolina	Euro 1	21.419	2.157	0.0490	0.900
		Euro 2	9,235	1.484	0.0230	0.398
		Euro 3	6.714	0.770	0.0140	0.159
		Euro 4	3.974	0.149	0.0040	0.080
		Euro 5	1.265	0.039	0.0030	0.080
		Euro 6	1.265	0.039	0.0027	0.080

2. Ecopetrol - [A new database of on-road vehicle emission factors for Colombia: A case study of Bogotá | CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro \(ecopetrol.com.co\)](https://www.ecopetrol.com.co/ctf)

E Emisiones

Emisiones WTT:

$$E_{WTT} = CE_{WTT} * FE_{WTT}$$

FE_{WTT} : Factor de emisión WTT por fuente de energía

- Emisiones generadas por la producción de energía en la fuente primaria.

Factores de emisiones WTT

Fuente de energía	CO ₂ [ton/TJ]
Gasolina	87.7
Diésel	90.7
Gas natural	64.8
Electricidad	190.8

Costo

Costo ambiental

Costo en salud

- *Valor económico del beneficio de la reducción de emisiones TTW.*
- *Costo ambiental total (por tecnología de motorización y por clase).*

$$C_{amb} = F_{inf} * \sum_{i=1}^n (C_u * E_i)$$

F_{inf} : Factor inflacionario

E_i : Emisiones totales de cada especie química i

C_u : Costo unitario por emisión

Costo unitario [1x10⁶ COP/ton]

CO ₂	CO	NOx	PM2,5
0,16	0,76	19,63	57,23

Costo

Costo ambiental

Costo en salud

$$C_s = V_{perd} * VSL$$

V_{perd} : Vidas pérdidas
 VSL : Valor de una vida estadística

$$V_{perd} = \frac{1}{F_{se}} \sum_{i=1}^n (E_i * F_{in,i} * F_{ef,i})$$

E_i : Emisiones totales por cada especie química i
 F_{in} : Factor de inhalación [g inhalados / kg de emisión]
 F_{ef} : Factor de efecto [Daly / kg inhalados]
 F_{se} : Factor de severidad [Daly / muerte]

Valor de una vida¹

$VSL = 4.176$ millones de COP (para Colombia)

Factor de severidad²

$F_{se} = 26.3$ [Daly/ V_{per}]
(26.3 años perdidos equivaldrían a una vida perdida)

*Daly: *Disability adjusted life year*

Factores de efecto e inhalación³

	Unidad	NOx	PM _{2.5}
Factor de inhalación	mg/kg	0.2	26.4
Factor de efecto	Daly/kg	48-165	48-165

1. CGA (Comisión Gestión Ambiental) Cuenca, Grupo Banco Mundial. El costo de la contaminación atmosférica en Cuenca, Ecuador. 2015.

2. International Council On Clean Transportation - ICCT. Análisis de costo beneficio de las normas Euro VI sobre emisiones en vehículos pesados en Argentina 2020.

3. Fantke P, Jolliet O, Apte JS, Hodas N, Evans J, Weschler CJ, et al. Characterizing Aggregated Exposure to Primary Particulate Matter: Recommended Intake Fractions for Indoor and Outdoor Sources. *Environ Sci Technol* 2017;51:9089–100.

3

Resultados



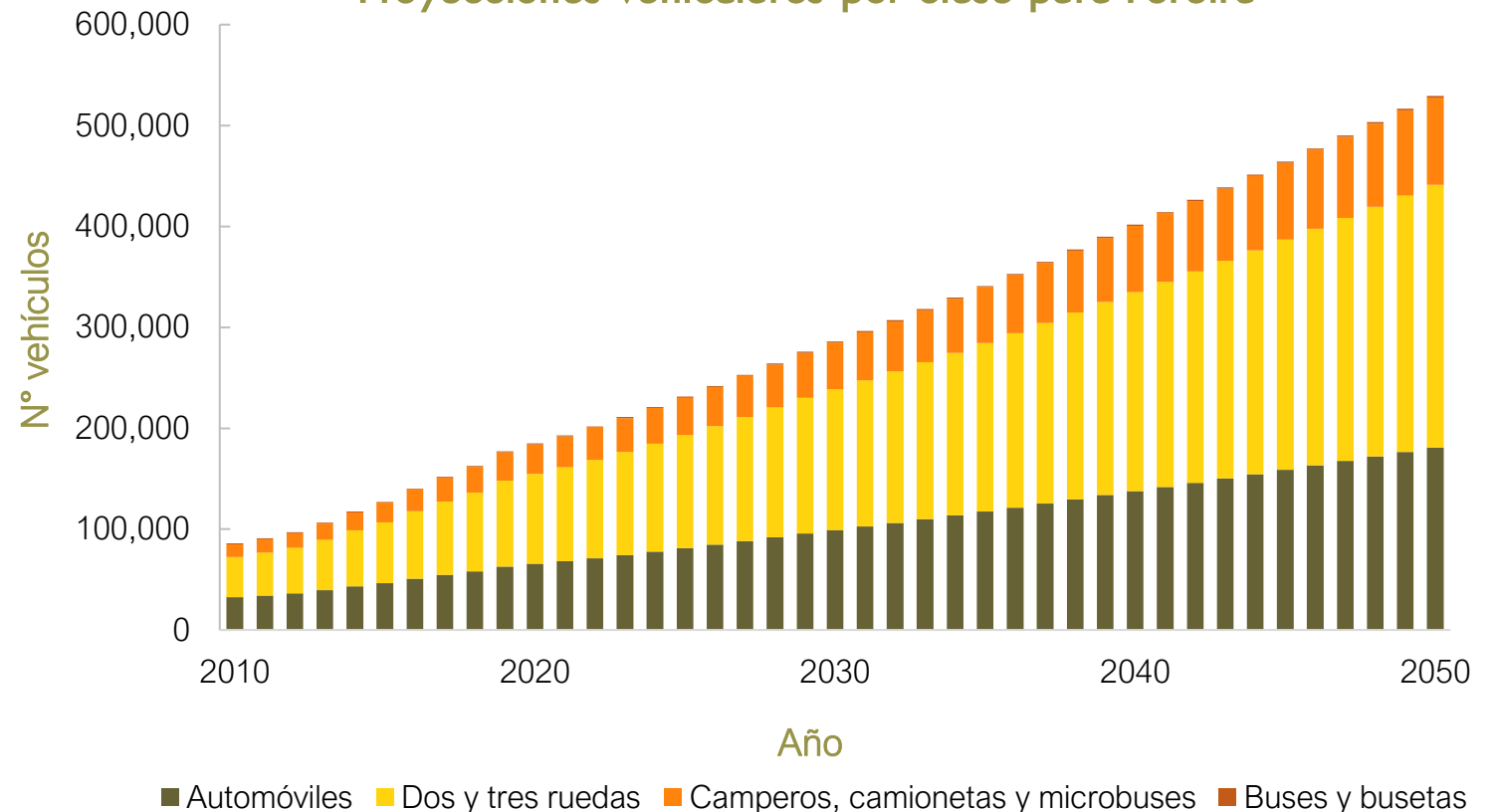
Proyección flota

- Pereira como ciudad ejemplo para desarrollar el ejercicio.

Cantidad de vehículos al año 2050

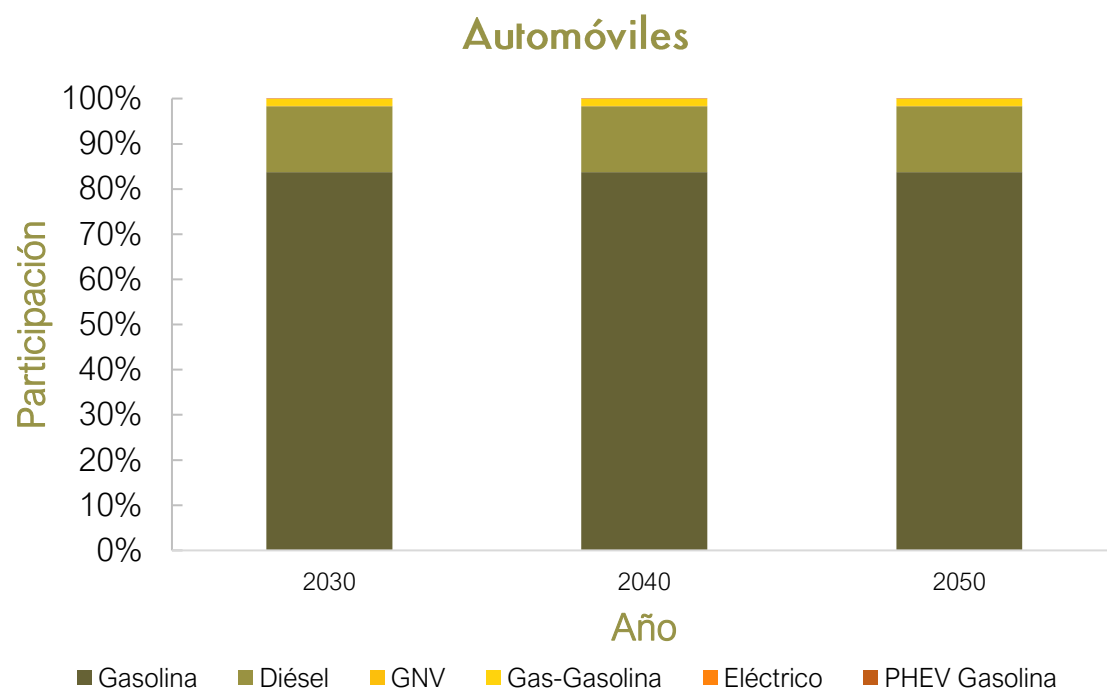
Clase	N° vehículos
Automóviles	180,977
Dos y tres ruedas	260,234
Camperos, camionetas y microbuses	86,610
Buses y busetas	1,412

Proyecciones vehiculares por clase para Pereira

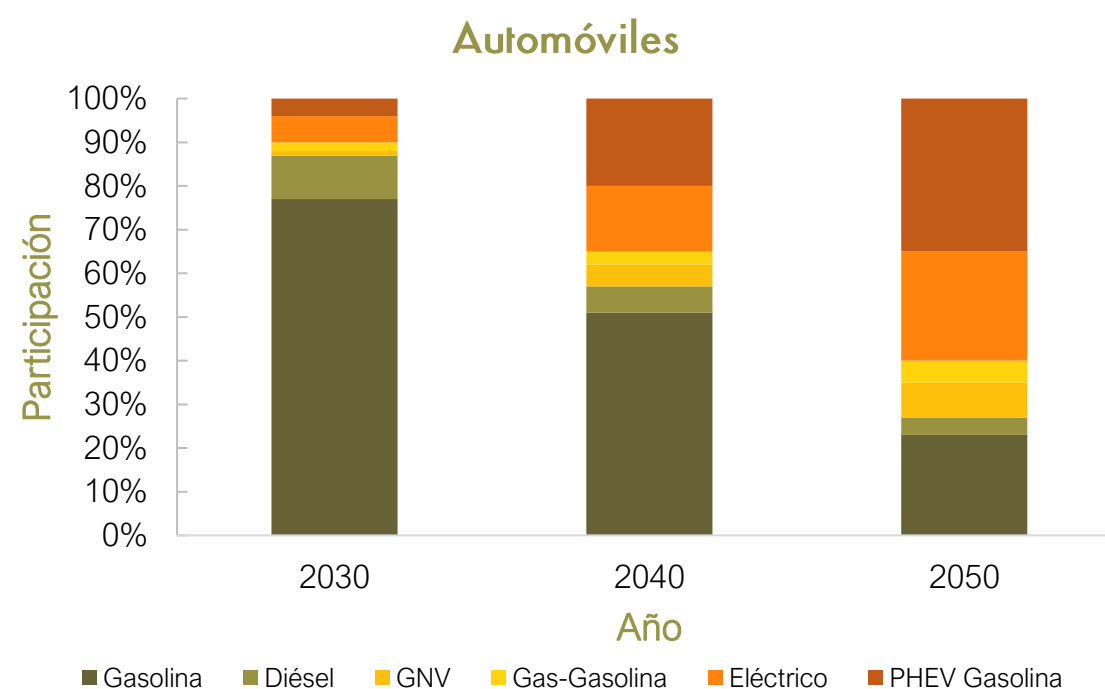


Participación

Escenario 1 (escenario base*)



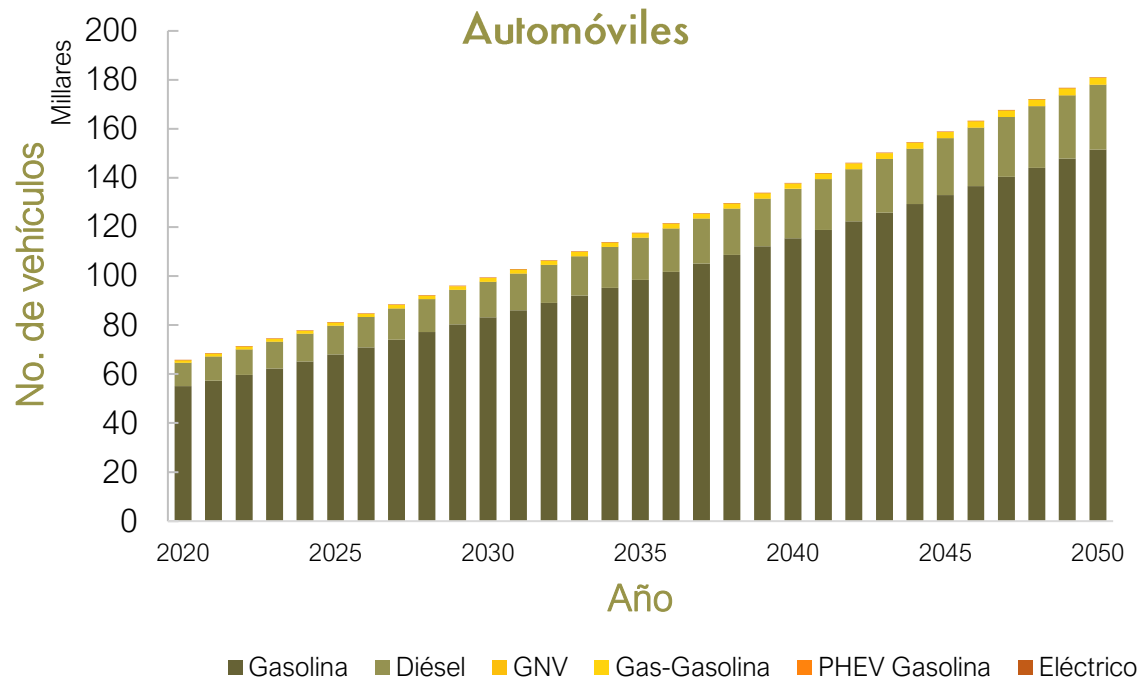
Escenario 2 (diversificación de la canasta energética)



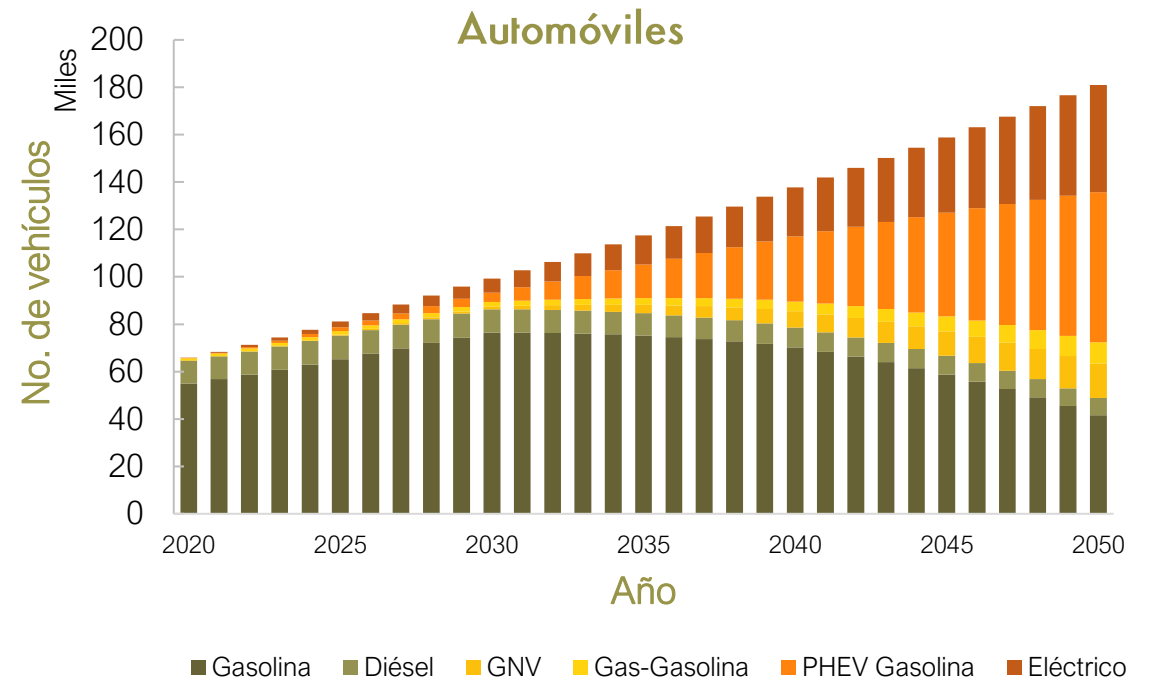
* Base de datos del RUNT.

Tecnologías

Escenario 1

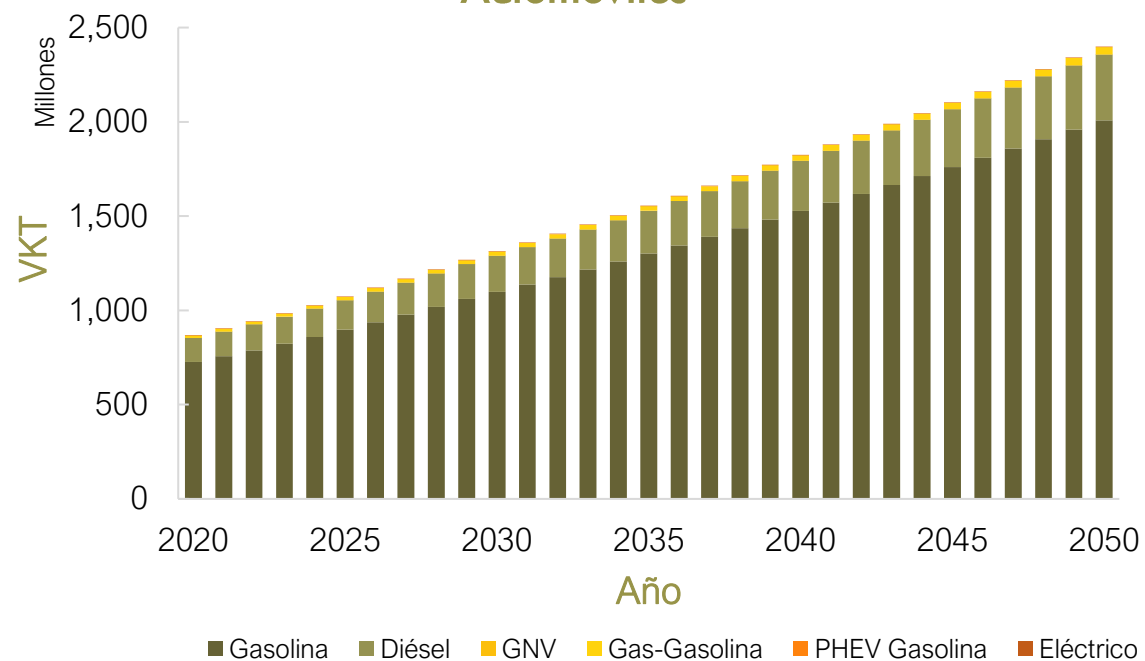


Escenario 2



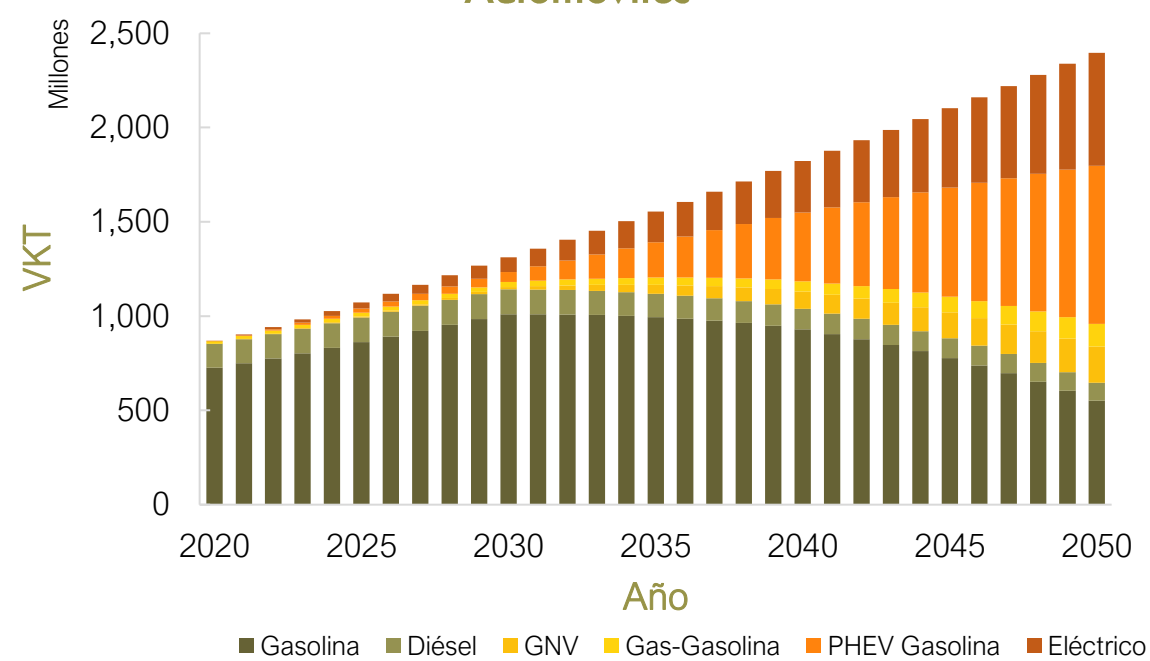
Escenario 1

Automóviles



Escenario 2

Automóviles

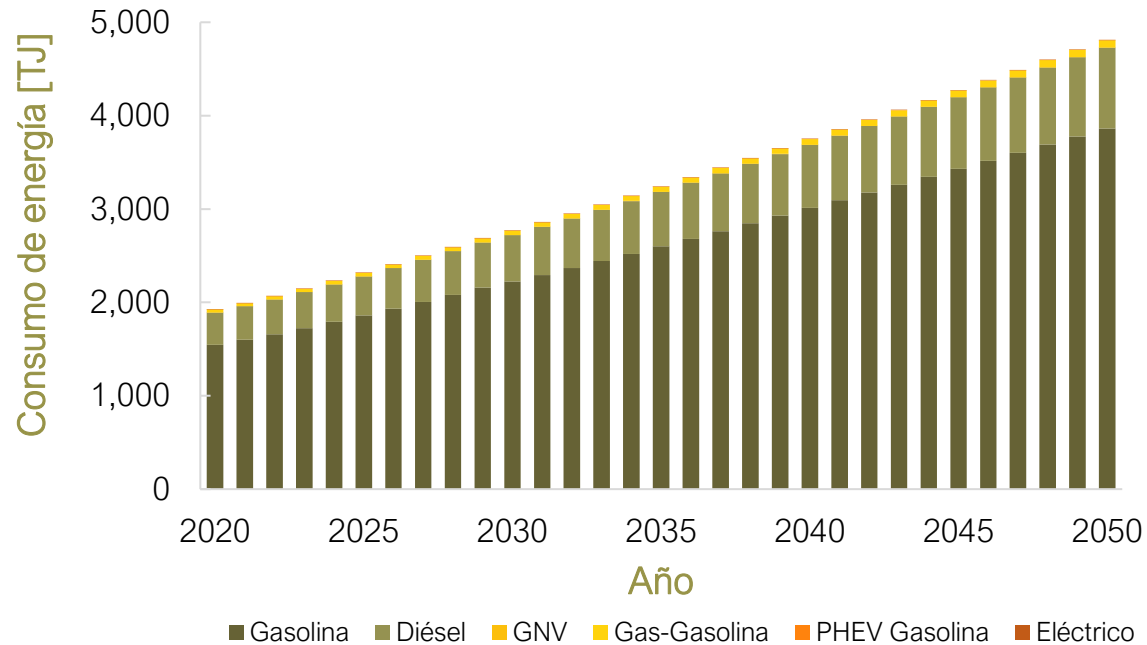


Energía

Energía TTW:

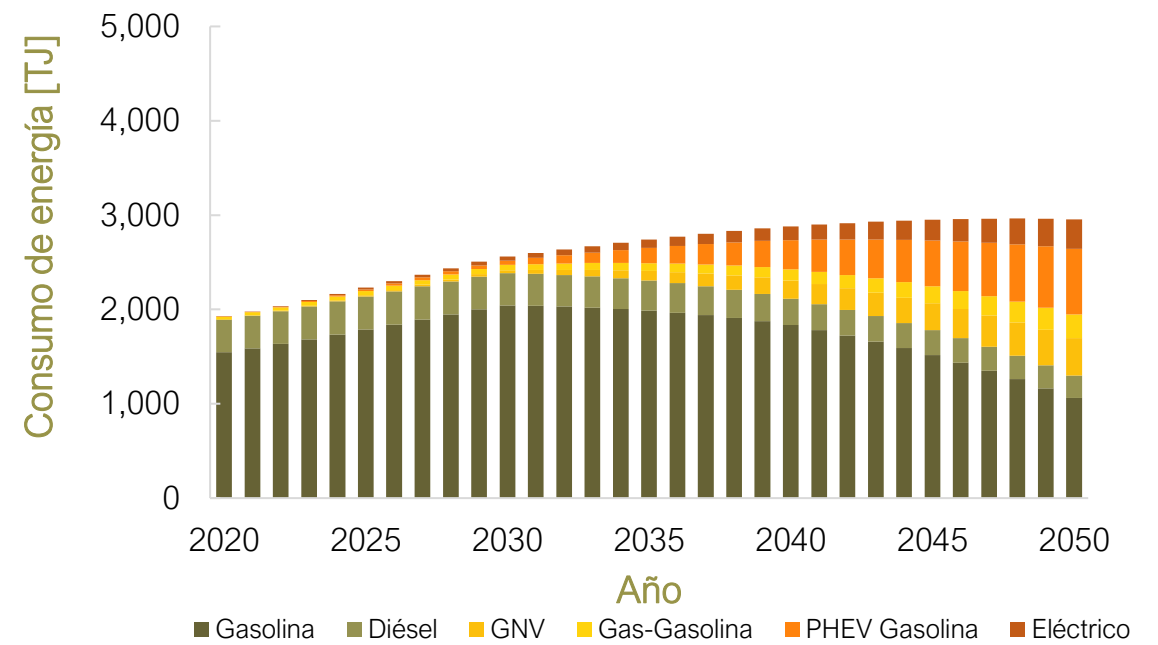
Escenario 1

Automóviles



Escenario 2

Automóviles

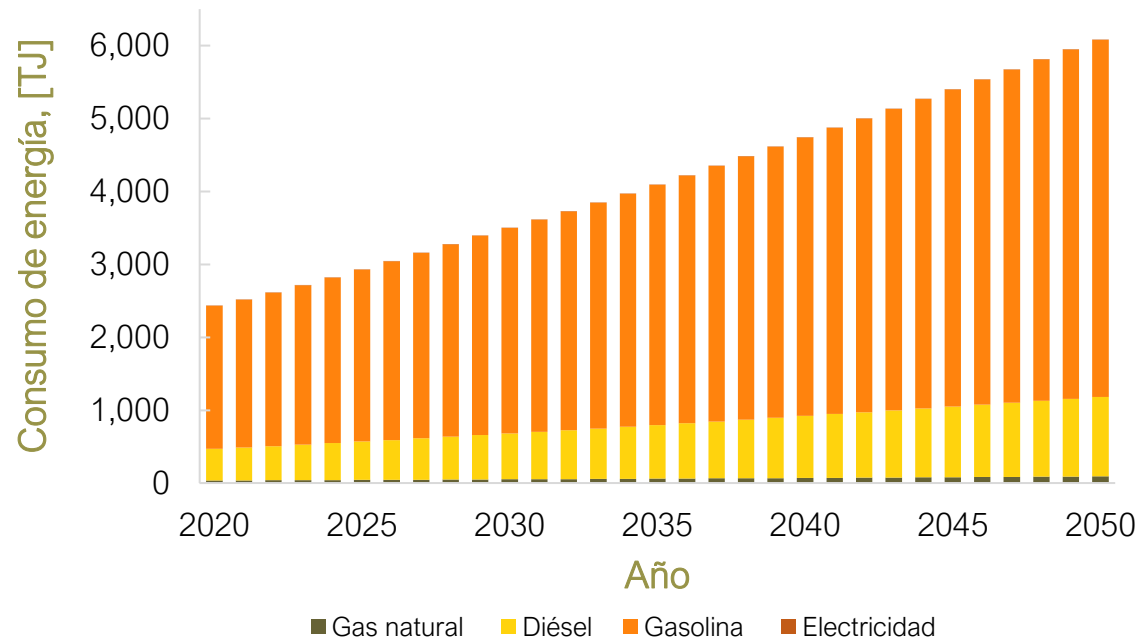


Energía

Energía WTT:

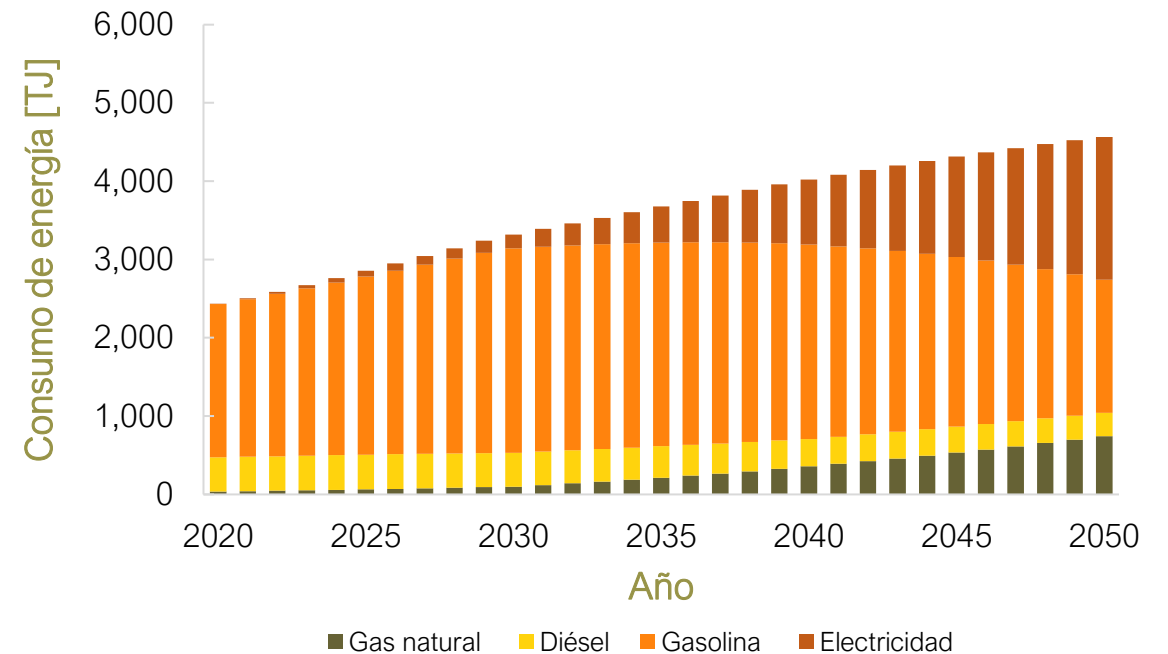
Escenario 1

Automóviles



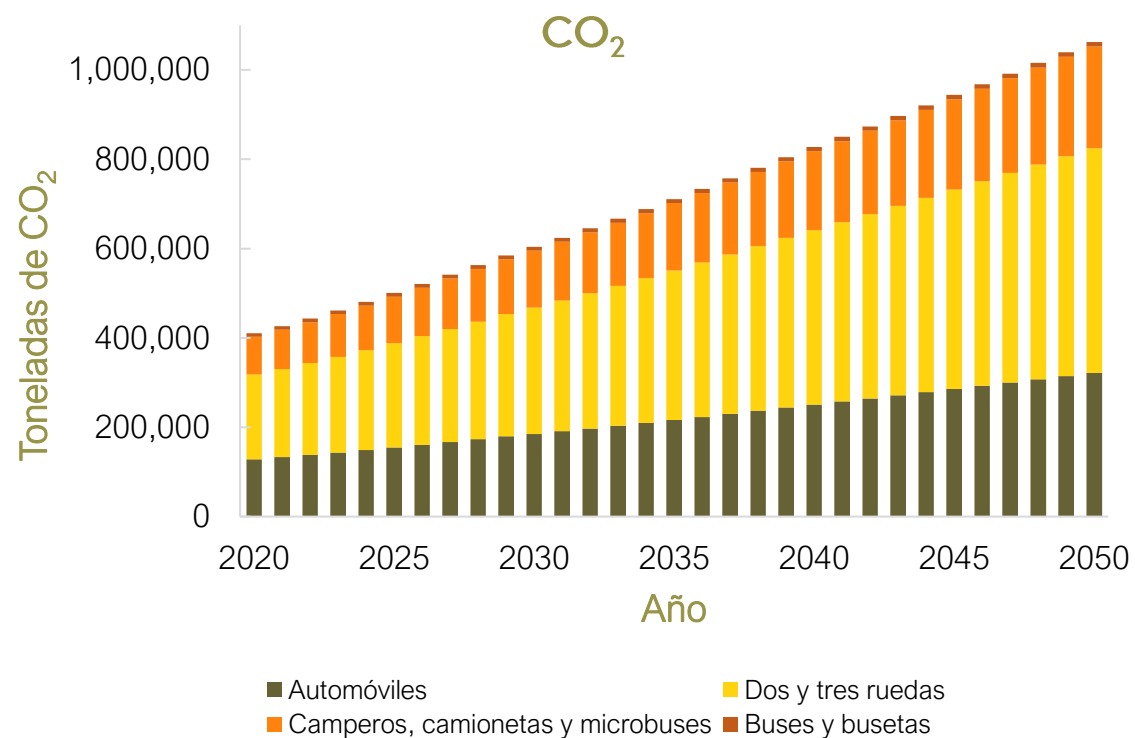
Escenario 2

Automóviles

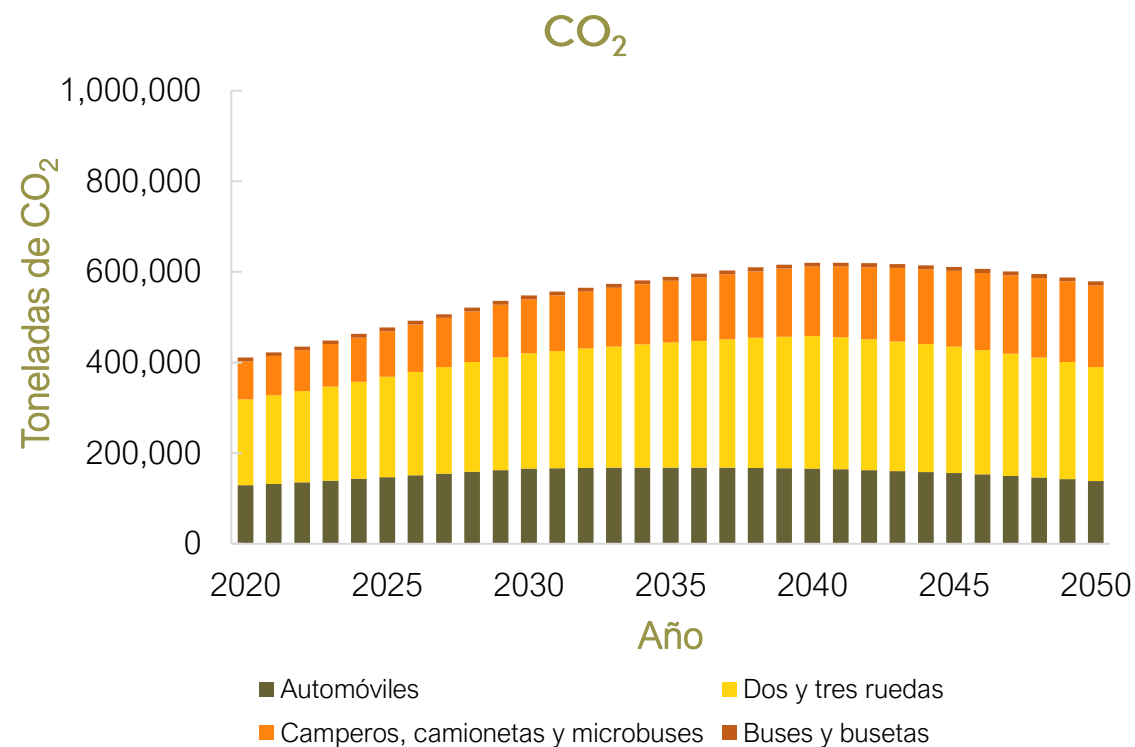


Emissiones TTW

Escenario 1

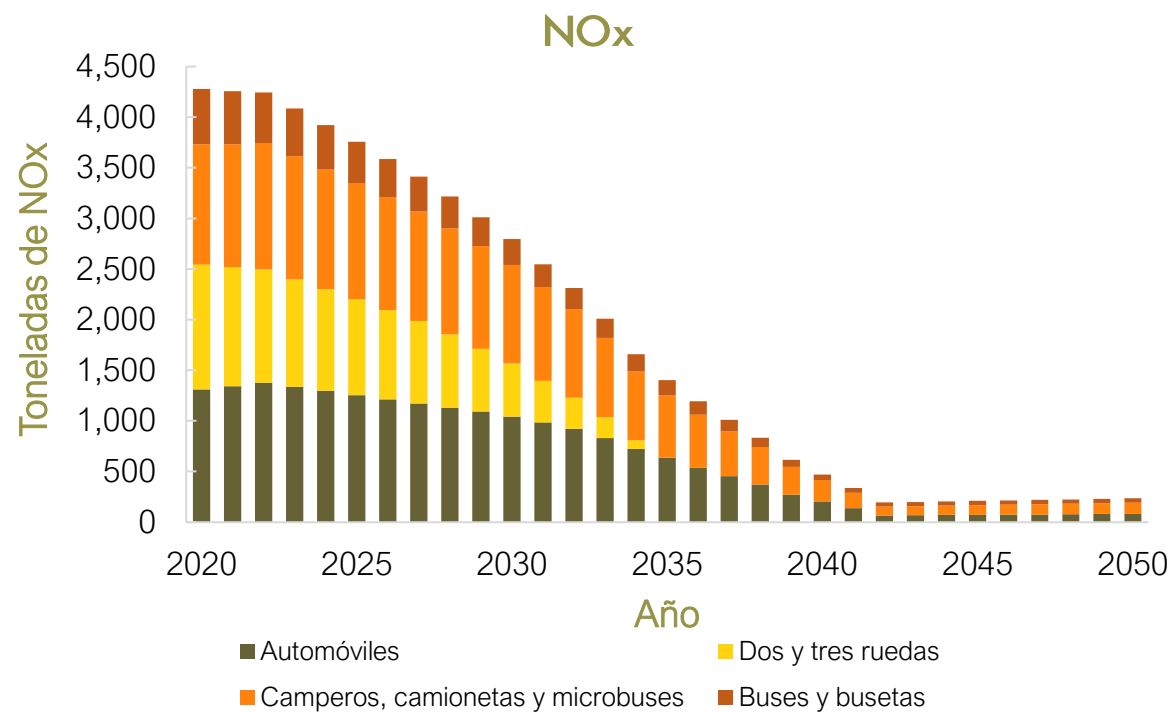


Escenario 2

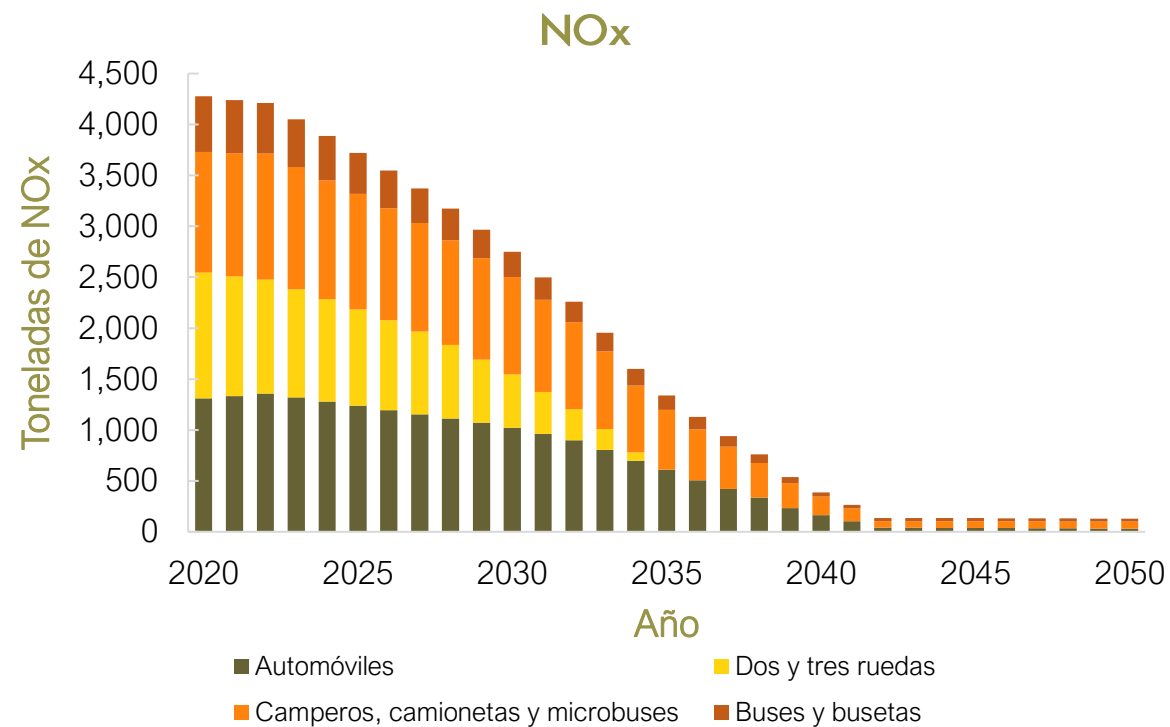


Emissiones TTW

Escenario 1

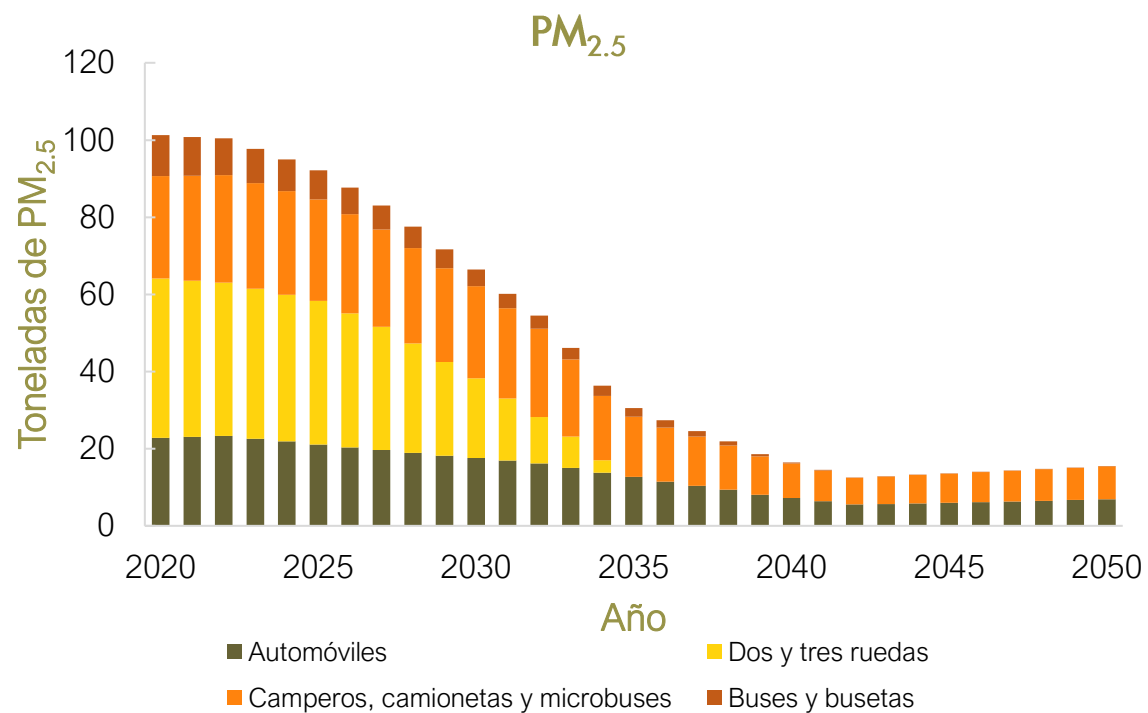


Escenario 2

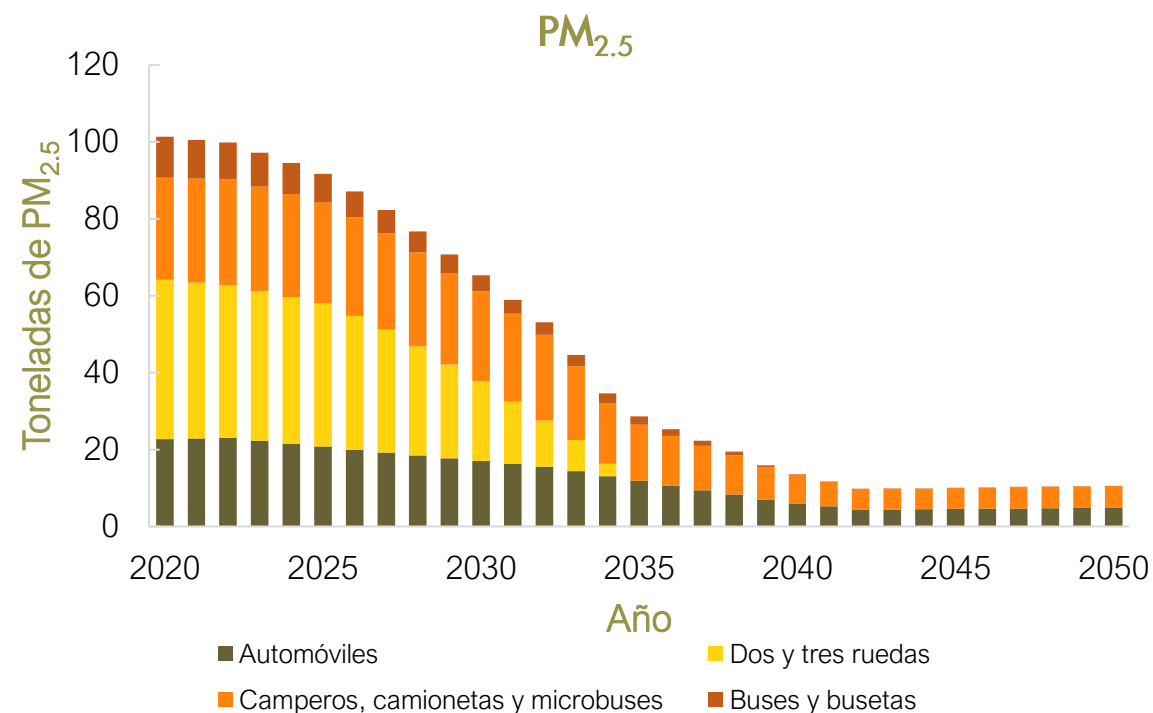


Emissiones TTW

Escenario 1



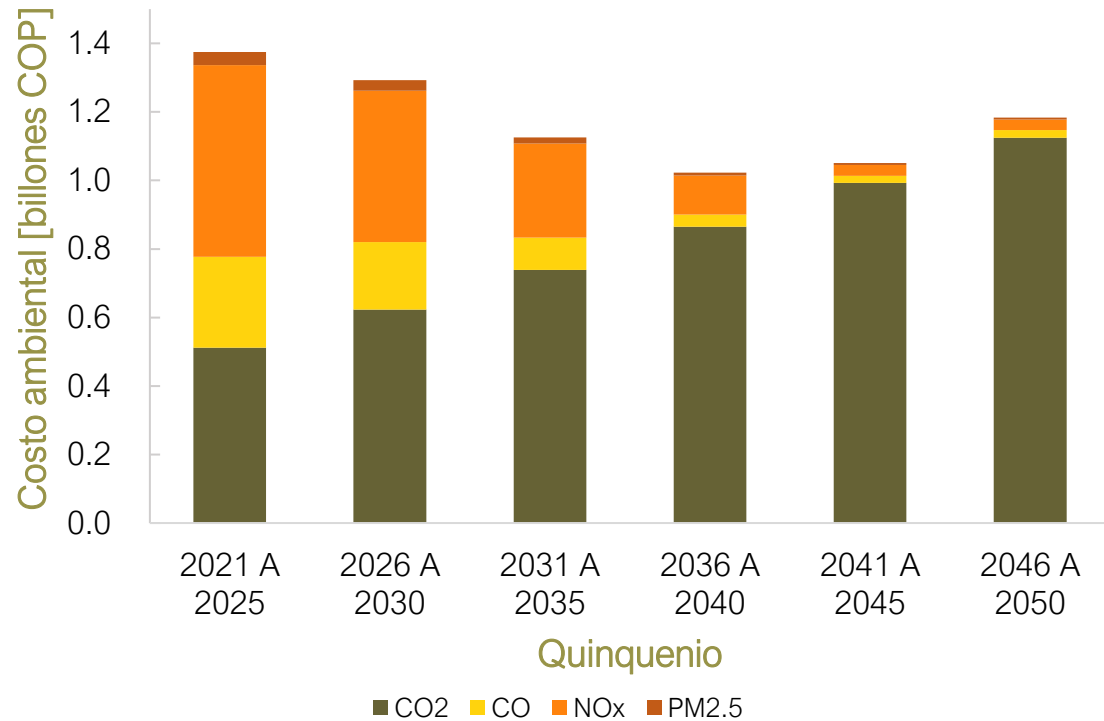
Escenario 2



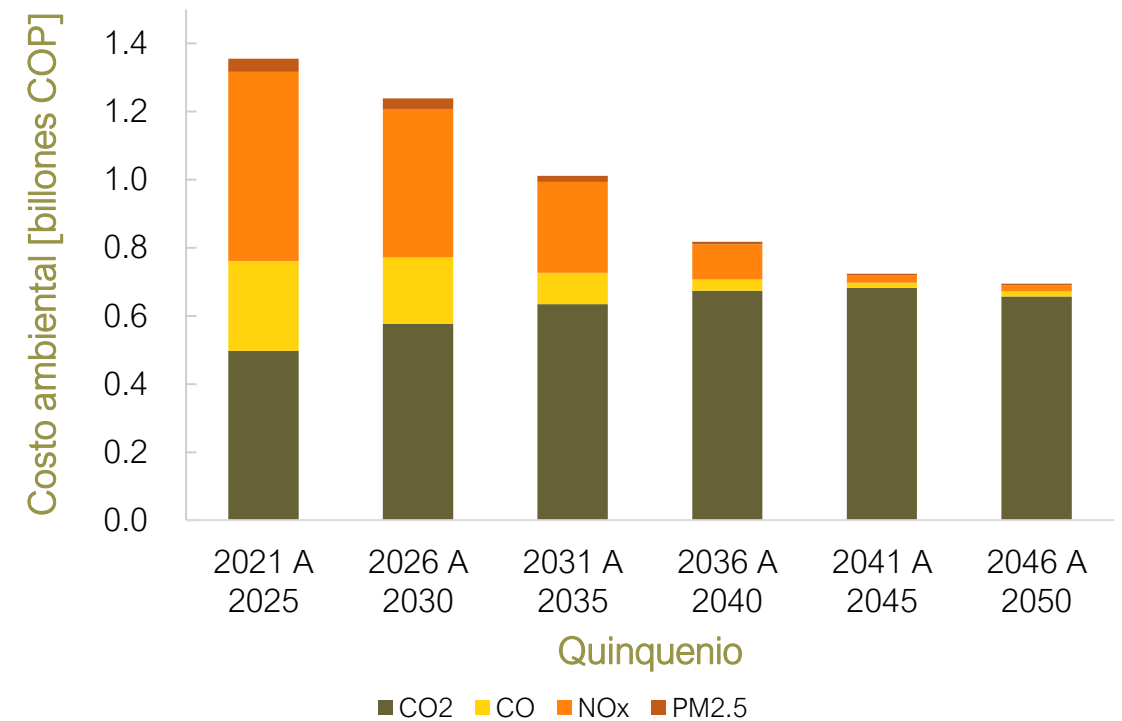
Costo

Costo ambiental:

Escenario 1



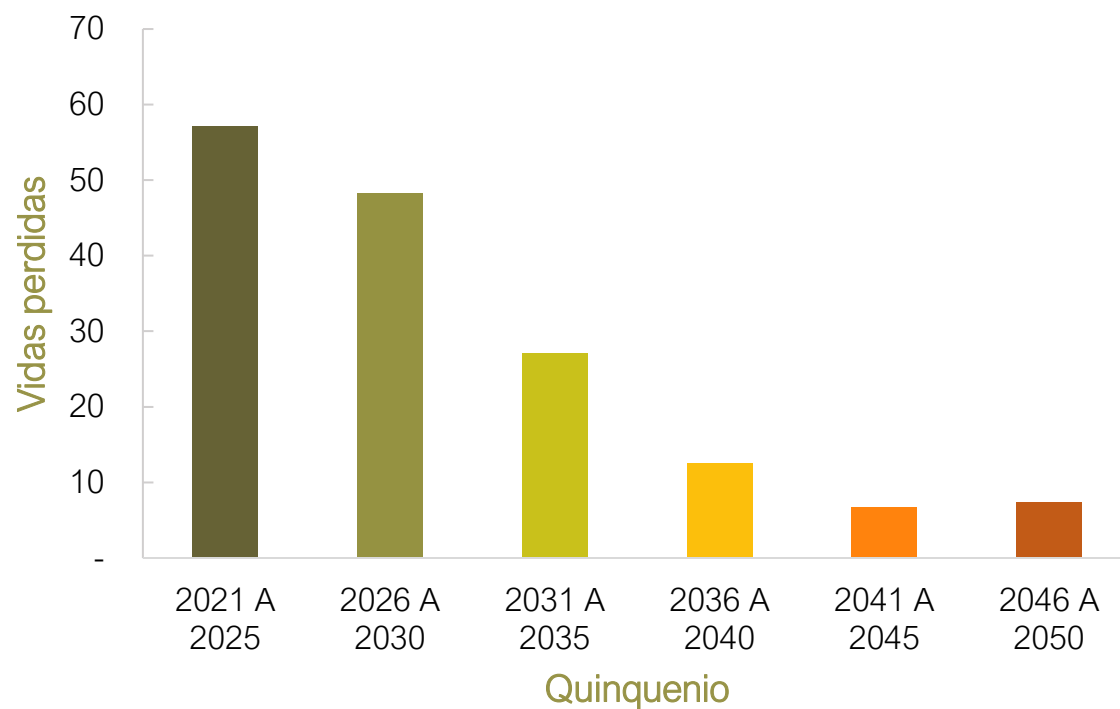
Escenario 2



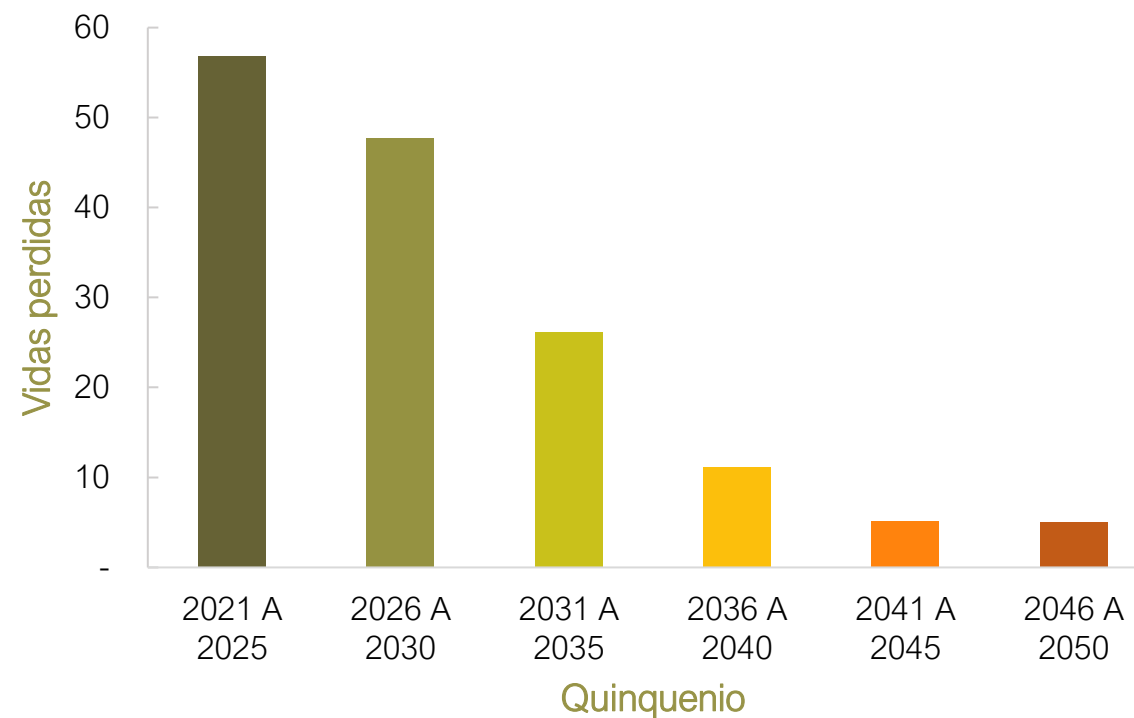
Costo

Salud:

Escenario 1



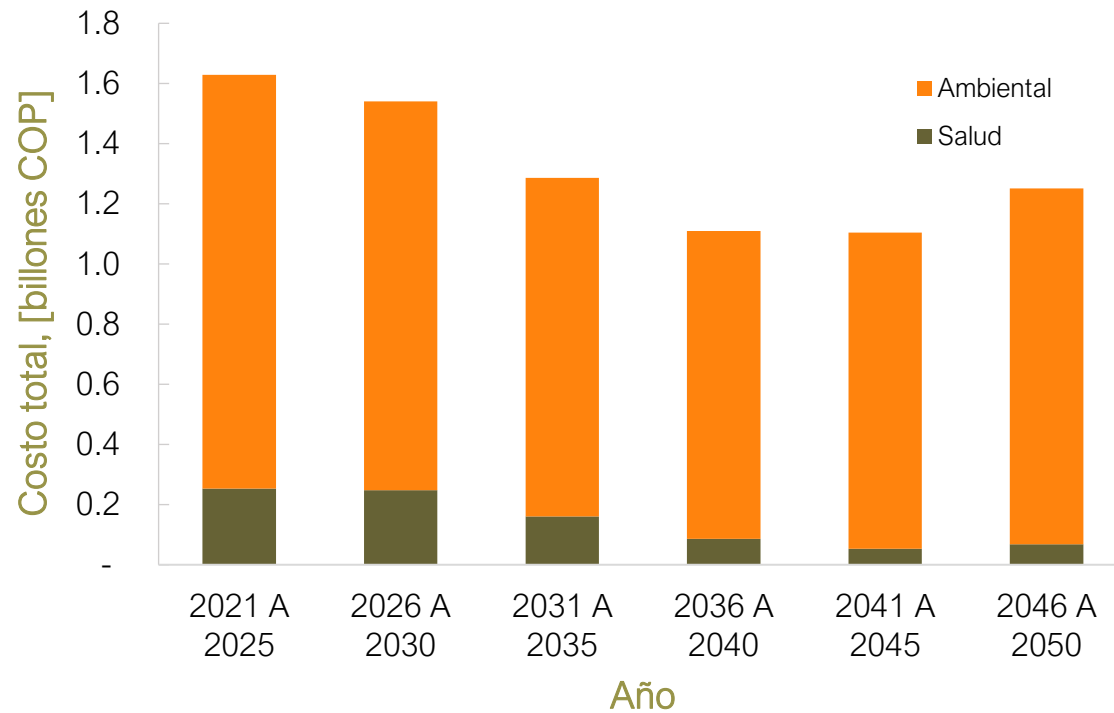
Escenario 2



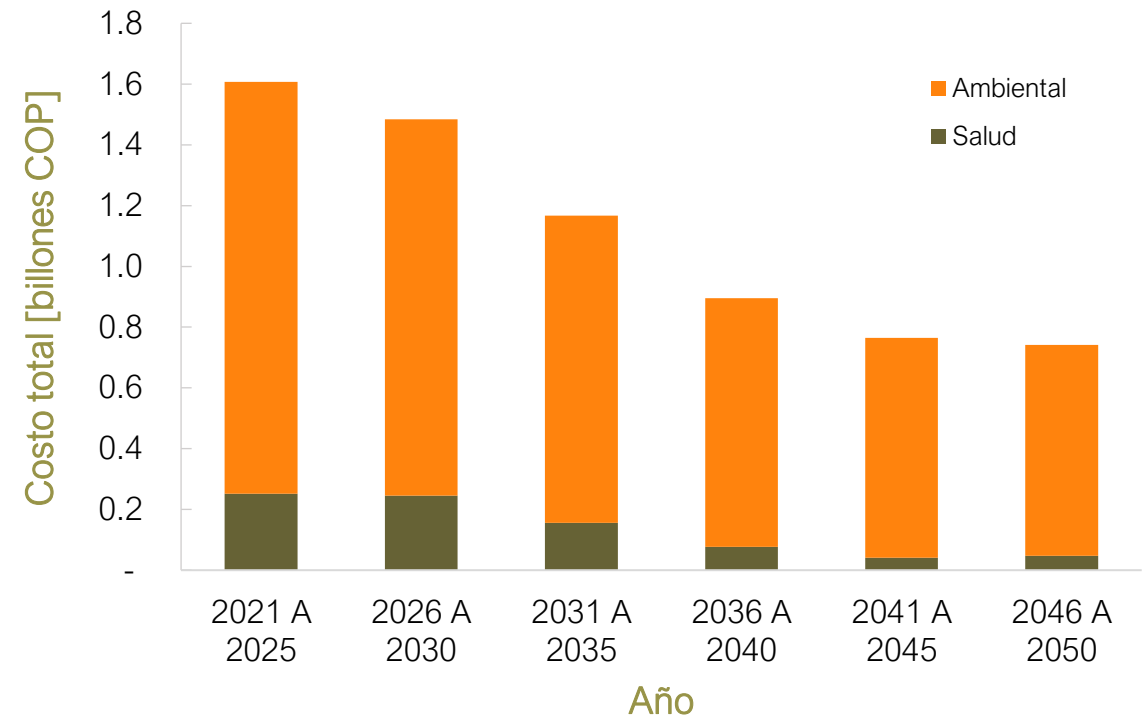
Costo

Costo total:

Escenario 1



Escenario 2



Comentarios finales



Comentarios finales

Se desarrolló una herramienta con el fin de evaluar los impactos energéticos, ambientales y en salud, derivados de la diversificación de la canasta energética que pueda presentarse en función de planes y políticas a propuestos y por proponer para el sector transporte terrestre. La herramienta permite estimar a nivel macro la cantidad de energía consumida y las emisiones vehiculares de los sistemas de transporte de pasajeros de las ciudades, en función de los parámetros socioeconómicos de las mismas.

Si bien la herramienta se desarrolló para ser aplicada en ciudades, esta podría ser implementada a nivel país o inclusive a una región en específica, siempre y cuando se conozcan los parámetros socioeconómicos y las principales características del parque vehicular.

Los valores de entrada establecidos por defecto en la herramienta fueron determinados estableciendo supuestos y criterios técnicos que garanticen la confiabilidad de los datos de salida. No obstante, el usuario tiene la capacidad de modificarlos en caso de poseer datos de entrada propios para casos específicos.

Comentarios finales

Ante la imposibilidad de encontrar valores de referencia a nivel nacional, se adoptaron algunos valores de referencia de estudios internacionales. Debido a esto, se recomienda la realización de estudios posteriores de acuerdo a las condiciones específicas del país.

El desarrollo modular de la herramienta brinda la funcionalidad al usuario de realizar un análisis específico hasta donde lo requiera, además de estar abierta a la implementación de nuevos módulos con nuevas funcionalidades sin la necesidad de modificar toda la herramienta.

Como producto final se espera entregar la aplicación web de la herramienta, la cual se encuentra en la etapa de validación y prueba.

Agradecimientos





A large, stylized illustration of a dandelion seed head on the left, with many seeds floating away towards the top right. The entire background of the top half is a solid olive green.

Gracias!

Grupo de Investigación en Gestión Energética – GENERGÉTICA

Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión

Universidad Tecnológica de Pereira

Pereira - Colombia

Teléfono: +57 (6) 313 7523

Correo electrónico: genergetica@utp.edu.co



GENERGÉTICA

Grupo de Investigación en Gestión Energética

