



**Generadoras de Chile**  
energía que nos mueve



## ESTUDIO ESCENARIOS DE USOS FUTUROS DE LA ELECTRICIDAD

Agosto 2017



# Agenda

- **Objetivos y alcance**
- Contexto
- Escenarios en transporte y residencial
- Resultados en eficiencia energética, emisiones y GEI
- Conclusiones

# Objetivos y alcance

## Objetivos

**Evaluar los beneficios de avanzar hacia una sociedad más electrificada en:**

- Eficiencia energética
- Contaminantes locales y salud
- Gases efecto invernadero (GEI)

## Alcance

**Foco en sectores con mayor potencial de electrificación:**

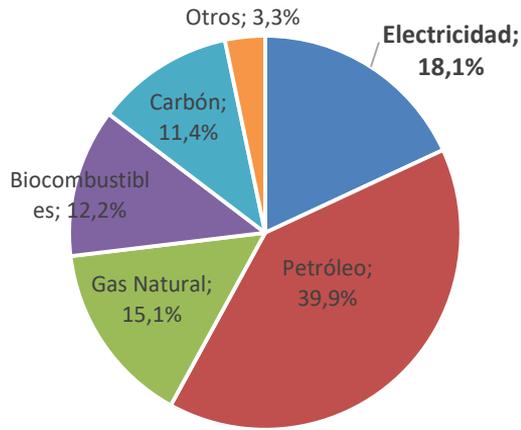
- Transporte
  - Residencial
  - Industria y Minería
- Foco presentación

# Agenda

- Objetivos y alcance
- **Contexto**
- Escenarios en transporte y residencial
- Resultados en eficiencia energética, emisiones y GEI
- Conclusiones

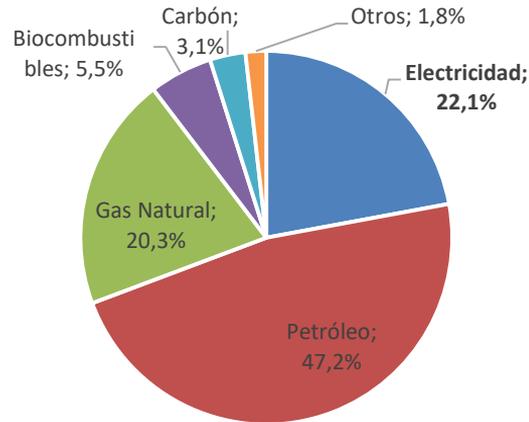
# ~20% del consumo final de energía en el mundo y Chile es electricidad

## Mundo 2014



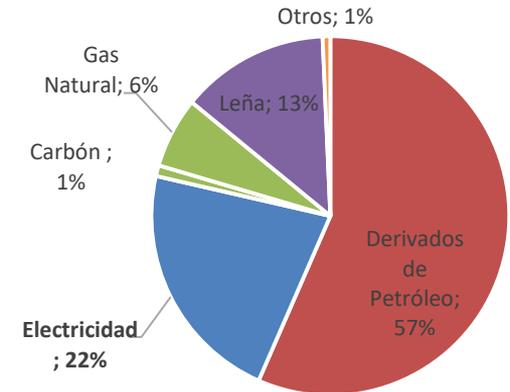
94.250.000 Tcal (109.613 TWh eq)

## OECD 2014



36.290.000 Tcal (42.938 TWh eq)

## Chile 2015

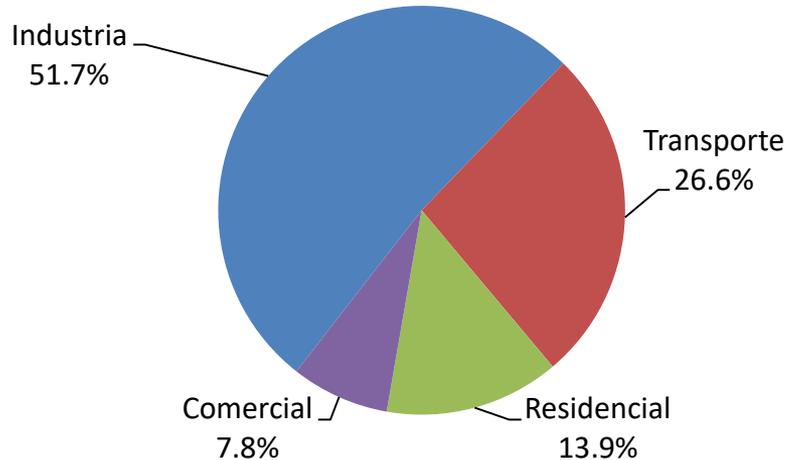


278.061 Tcal (323 TWh eq)

# Sectores industrial, transporte y residencial consumen ~90% de energía en el mundo

Existen oportunidades de aumentar porcentaje de uso de electricidad dentro de cada ámbito

## Consumo de energía en el mundo



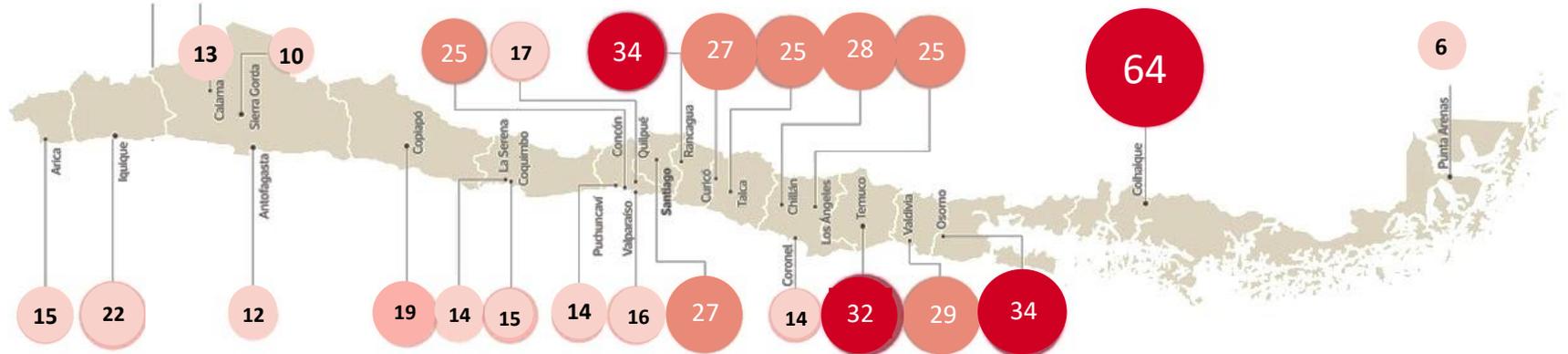
## Uso energético por ámbito (%)

| Combustible  | 1 Transporte | 2 Residencial |
|--------------|--------------|---------------|
| Electricidad | 0.6%         | 34.7%         |
| Líquidos     | 96.2%        | 17.3%         |
| Gas natural  | 3.2%         | 36.6%         |
| Carbón       | 0%           | 9.0%          |
| Renovables   | 0%           | 2.4%          |
| <b>Total</b> | <b>100%</b>  | <b>100%</b>   |

# El mayor desafío ambiental de Chile es la contaminación del aire en nuestras ciudades<sup>1</sup>

Contaminación es responsable de al menos 4 mil muertes prematuras al año<sup>2</sup>

## Microgramos de Material Particulado (MP 2,5) por metro cúbico promedio anual<sup>3</sup>



Fuentes:

1. 2ª Encuesta Nacional del Medio Ambiente, Ministerio de Medio Ambiente, marzo 2016
2. A nivel nacional. Estrategia 2014 – 2018, Planes de Descontaminación Atmosférica, Ministerio de Medio Ambiente
3. Infografía La Tercera. 15 de febrero de 2015.

# El transporte juega un rol crucial en la sociedad y al mismo representa un consumo intensivo en energía

### Importancia del transporte

---

- El **transporte** juega un **rol crucial** en la vida moderna y su servicio está directamente relacionado con el **bienestar social**
- Es un **catalizador** indispensable del **desarrollo y crecimiento económico**
- Sin embargo, se asocia a **externalidades** que hacen que su actividad y crecimiento estén sujetos a **políticas y regulación** que debieran apuntar al **bienestar y desarrollo sustentable**

### Transporte y energía

---

- El transporte es **intensivo en consumo** de energía, siendo uno de los principales consumidores de energía a nivel mundial
- La mayor parte se satisface tradicionalmente con **derivados de petróleo** fáciles de abastecer y transportar, y relativamente económicos.
- En el caso de Chile los combustibles no son de producción local, **contaminan** nuestras ciudades y contribuyen significativamente al fenómeno del **cambio climático**.

(1) Fuente: 2ª Encuesta Nacional del Medio Ambiente, Ministerio de Medio Ambiente, marzo 2016

# La electromovilidad representa una gran oportunidad

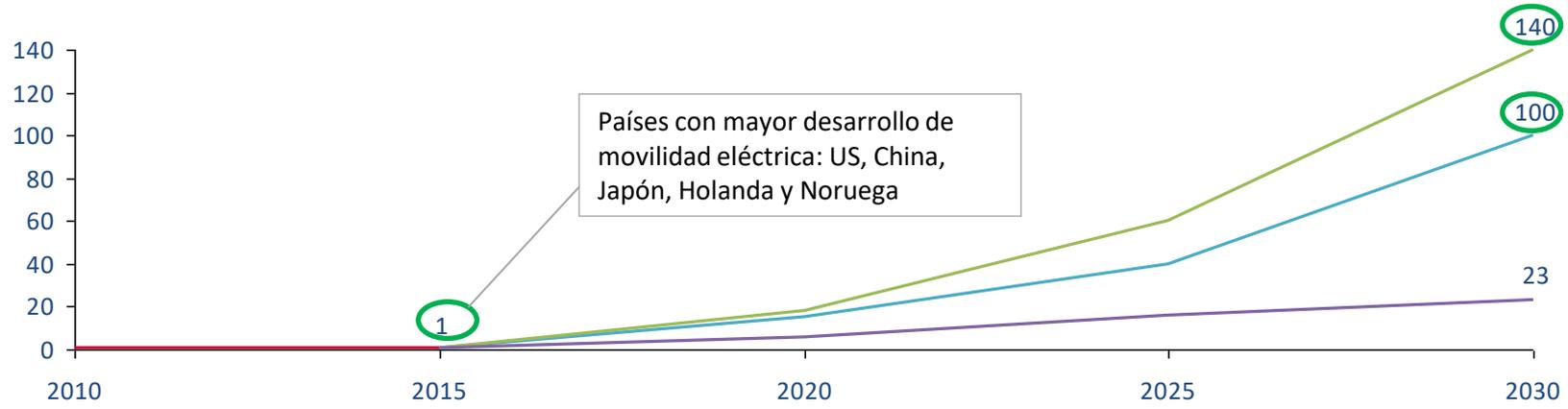
- 1 Las metas del país en materia energética, ambientales y de cambio climático exigen **reducir el consumo de combustibles fósiles**, especialmente **petróleo y sus derivados**.
- 2 La **electrificación del transporte** en cuanto a **reducción de contaminación local, seguridad energética y mitigación de emisiones de gases efecto invernadero** ha pasado a ser una **estrategia fundamental** para conseguir sistemas de transporte sustentables.
- 3 Además existe la oportunidad de implementar otras **políticas públicas** como aumentar la participación modal del transporte público o bicicletas, incrementar tasas de ocupación y de vehículos autónomos, entre otras.
- 4 Cada vehículo eléctrico utiliza entre **60 y 80 kg de cobre, cuatro veces más** que uno de combustión interna.<sup>1</sup>
- 5 El principal componente de un auto eléctrico es la **batería**, cuya tecnología más común **es en base a litio**.

(1) Copper demand for electric cars to rise nine – fold by 2027 – ICA, Reuters (2017)

# El mundo ha avanzado en movilidad eléctrica: en 2015 se alcanzó 1 millón de autos eléctricos y se espera 100 – 140 millones a 2030

## Movilidad eléctrica en 2015

Millones de vehículos eléctricos



Países con mayor desarrollo de movilidad eléctrica: US, China, Japón, Holanda y Noruega

**Adicionalmente países como India, China, Noruega y Holanda están evaluando prohibir la venta de automóviles basados únicamente en combustible fósiles en 2025 - 2030**

Escenario 2DS: 50% probabilidad de limitar que aumente T° en 2°C en 2100 Escenario 4DS: 50% probabilidad de limitar que aumente T° en 4°C en 2100

Fuente: Global EV Outlook 2016, IEA



# Por avances tecnológicos se espera que los vehículos eléctricos (VE) sean más competitivos en próximos años

## Avances tecnológicos

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Costo baterías</b>        | <ul style="list-style-type: none"><li>• 2008: ~1.000 USD / kWh</li><li>• 2015: ~250 USD / kWh</li><li>• 2020: ~100 – 180 USD / kWh</li></ul> |
| <b>Densidad baterías</b>     | <ul style="list-style-type: none"><li>• 2008: ~70 Wh / litro</li><li>• 2015: ~300 Wh / litro</li><li>• 2022: ~400 Wh / litro</li></ul>       |
| <b>Autonomía<sup>1</sup></b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 2013: 120 – 330 km</li><li>• 2017: 170 – 400 km</li></ul>  |

## Próximos años

Con costo de batería bajo 100 USD / kWh los VE logran competitividad con vehículos de combustión interna

- A** McKinsey: En 5 años los VE serán más baratos considerando su vida útil
- B** Otros estudios: a más tardar 2030 los VE serán más competitivos en el costo de compra

1. Comparación de autonomía de vehículo Nissan Leaf vs Tesla

Fuentes: Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability, McKinsey & Company 2017

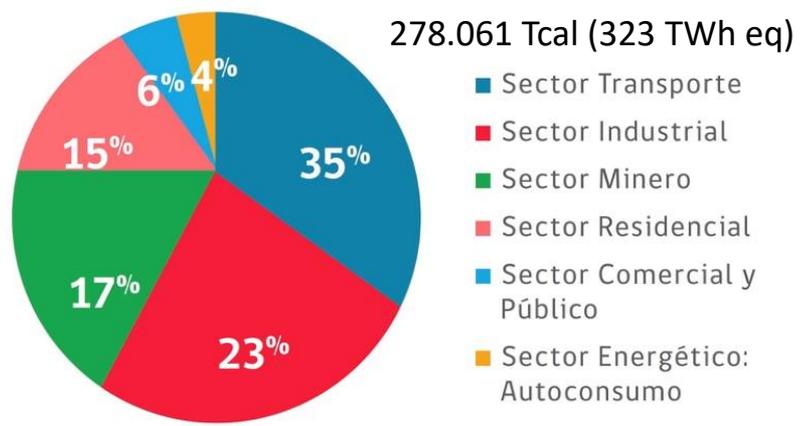
Global EV Outlook , IEA, 2016

How Cheap Can Electric Vehicles Get?, abril 2016

# En Chile el transporte representa un 35% del consumo energético

Solo un 2% del consumo en transporte proviene de energía eléctrica

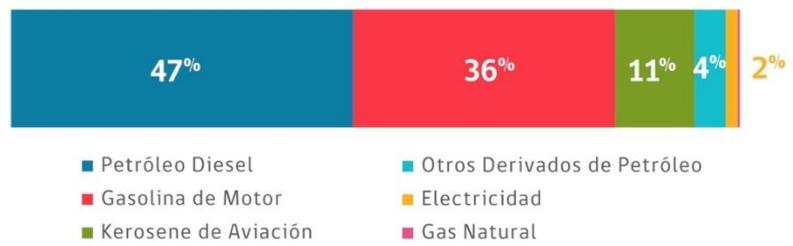
**Consumo energético anual según sector**



**Consumo energético según modo transporte**



**Transporte: fuente de energía**

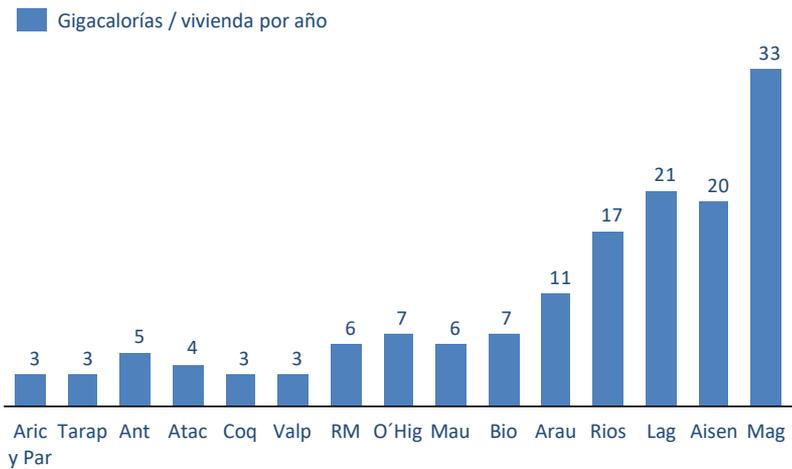


**Situación actual de penetración de electricidad y avances tecnológicos representan una gran oportunidad para el desarrollo de VE en Chile**

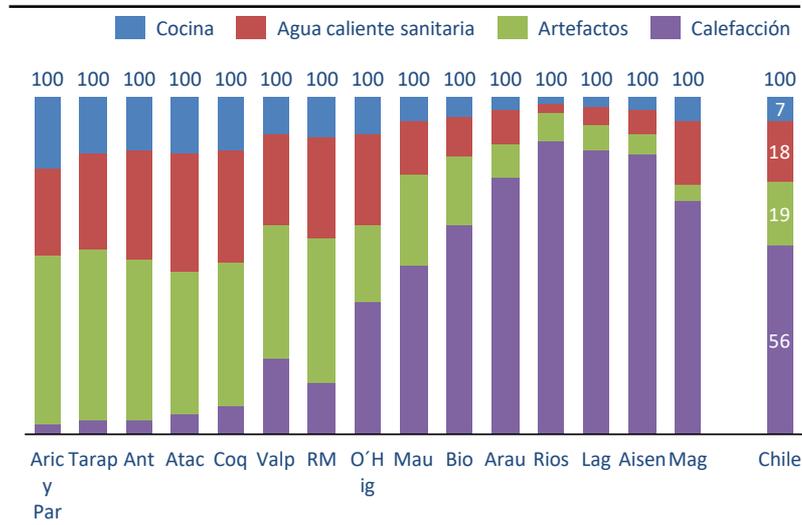
Fuente: Balance Nacional de Energía (2015)

# Residencial: el consumo energético nacional es muy heterogéneo tanto en nivel de consumo como en tipo de uso

**Consumo de energía por hogar  
(Giga cal / vivienda / año)**



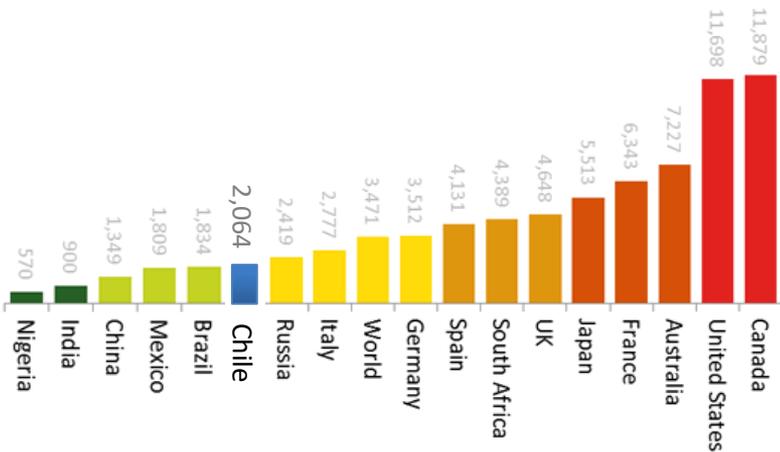
**Usos de energía en hogares (%)**



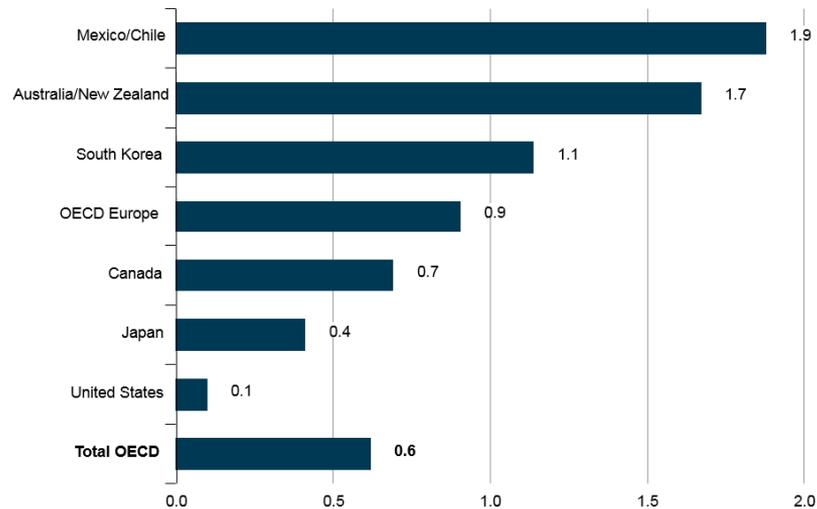
Fuente: Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017 (en Base a BNE Regional y Censo 2012); “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile”, Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), CCHC, 2010

# Chile está bajo promedio mundial de consumo eléctrico por hogar y se proyecta que aumente en próximos años

Consumo eléctrico por hogar (kWh / año)



Variación anual energía residencial 2012 – 2040 (% año)



Fuente: Average household electricity use around the world, datos 2010 (<http://shrinkthatfootprint.com/average-household-electricity-consumption>) International Energy Outlook 2016

# Una adecuada elección de calefactores permite invertir mejor, reduciendo costos de operación y emisiones contaminantes

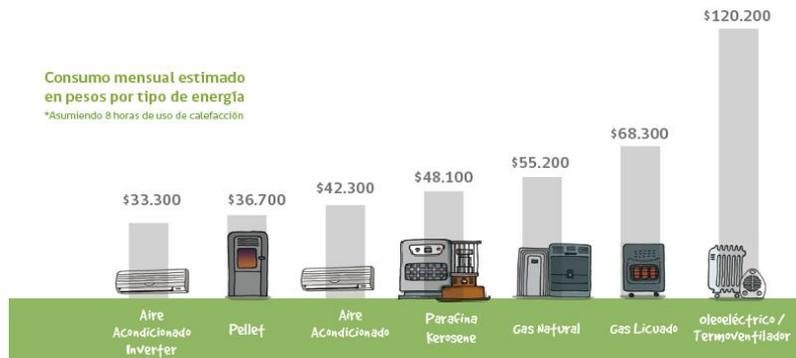
## Inversión y emisiones por calefactor

|                                     | Calefactor certificado leña | Calefactor no certificado leña | Pellet de madera        | Parafina             | Split calefactor A/C reversible | Gas Licuado          | Gas Natural           | Oleoeléctrico Termovenilador |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Rango de precio del calefactor      | \$170.000 a \$400.000       | Prohibida su venta             | \$500.000 a \$2.270.000 | \$50.000 a \$500.000 | \$200.000 a \$950.000           | \$60.000 a \$110.000 | \$133.000 a \$320.000 | \$10.000 a \$200.000         |
| Emisiones kg/vivienda por mes MP2,5 | 3.0                         | 12.5                           | 0.4                     | 0.03                 | 0                               | 0                    | 0                     | 0                            |

Nota: Emisiones de MP 2,5 estimadas para ciudades del sur de Chile, calefaccionando durante 8 horas al día para una confort de 18° y una demanda térmica mensual de 997 kWh

Fuente: Calefacción Sustentable. Ministerio de Medio Ambiente. 2016.

## Cuenta mensual promedio de calefacción Santiago



# Agenda

- Objetivos y alcance
- Contexto
- **Escenarios en transporte y residencial**
- Resultados en eficiencia energética, emisiones y GEI
- Conclusiones

# Estudio considera escenario base y optimista para número de vehículos eléctricos (VE) en segmentos de transporte público, taxi y particular

Actualmente existen 6.500 buses, 95.000 taxis y 4 millones de vehículos particulares en Chile

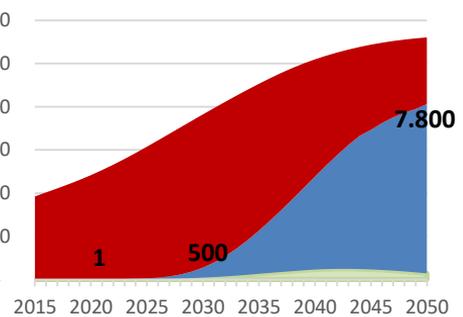
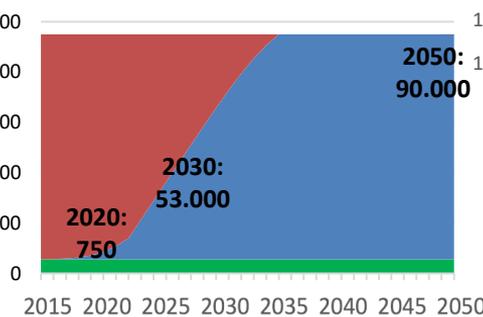
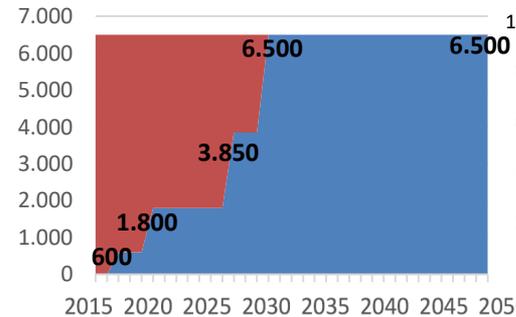
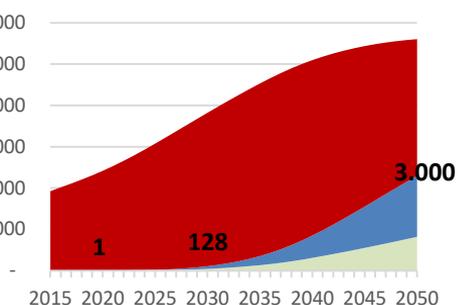
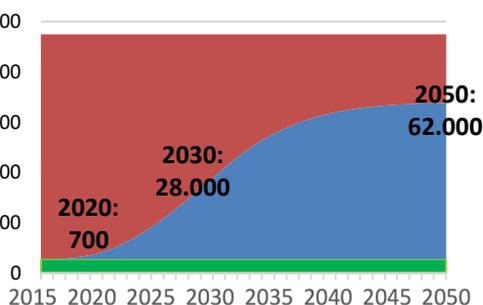
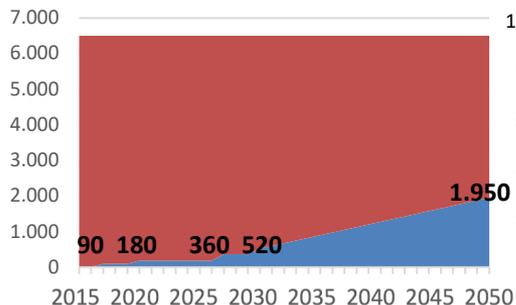
**Buses RM (#)**

**Taxi Chile (#)**

**Particular Chile (miles)**

**Escenario base (# VE)**

**Escenario optimista (# VE)**



X: # VE    ■ Convencional    ■ Eléctricos    ■ GNL / GLP    ■ Híbridos

# Evaluación de situación actual muestra que inversión adicional de vehículos eléctricos es mayor, pero tienen mayor eficiencia

|                                     | Eléctrico      |              |                | Diésel | Gasolina |            |
|-------------------------------------|----------------|--------------|----------------|--------|----------|------------|
|                                     | Bus            | Taxi         | Particular     | Bus    | Taxi     | Particular |
| Valor vehículo (M CLP)              | 280            |              | 24             | 125    |          | 10,5       |
| Costo recorrido (\$ / km)           | 100            |              | 17             | 200    |          | 63         |
| Eficiencia energética (km/KWh)      | 1              |              | 6              | 0,25   |          | 1,2        |
| Emisiones locales (kg MP 2,5 / año) | 0              | 0            | 0              | 10     | 0,45     | 0,0075     |
| Emisiones globales (ton CO2 / año)  | 0              | 0            | 0              | 119    | 17       | 2,9        |
| km uso / año                        | 90.000         | 90.000       | 15.000         | 90.000 | 90.000   | 15.000     |
| Payback (años)                      | <b>11 - 13</b> | <b>3 - 4</b> | <b>14 - 17</b> | -      | -        | -          |

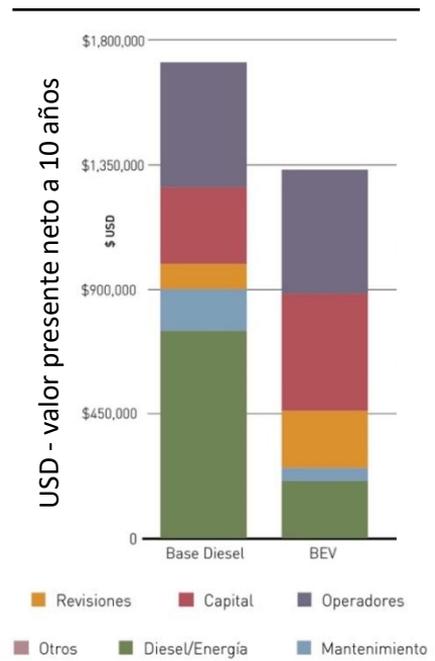
## Un taxi eléctrico hoy es un buen negocio

- 1 El **ahorro** de un VE comparado con un vehículo a combustible:
  - Usuario particular: 15.000 km/año es **\$900.000 al año**.
  - Taxi: 90.000 km/año el ahorro es de **\$5 millones al año**
- 2 Un **taxista podría recuperar la inversión adicional** asociada al mayor precio de compra en **3 o 4 años** por menores costos anuales de combustible y mantención.
- 3 Considerando tasa de descuento de 6% la **adquisición de vehículos eléctricos es más económica** que la de un **convencional**, con un **ahorro** de costo de **ciclo de vida 18%**.
- 4 Esta evaluación contempla **recambio de la batería del vehículo cada 2 a 3 años** (o entre 160.000 y 200.000 km) y un **nivel de actividad de 90.000 km/año**.

# Proyecciones muestran que es posible aspirar a un transporte público 100% eléctrico al 2031

- 1 La **licitación de Transantiago** en curso considera que **90** de los 2.000 nuevos buses **deberán ser cero emisión**. (i.e. eléctricos)
- 2 La proyección del estudio<sup>1</sup> plantea que **es posible incorporar 600 buses eléctricos gradualmente en el actual proceso de licitación** y alcanzar **el 100% de la flota licitada en los futuros procesos de licitaciones** (al 2031 serían 6.500 buses eléctricos).
- 3 **Transantiago reduciría de manera importante sus costos operacionales** si el 100% de la flota fuera eléctrica:
  - Ahorros de operación de aproximadamente US\$ 140 millones al año
  - Inversión adicional (respecto de una flota convencional) en torno a los US\$ 1.500 millones
  - Inversión se recuperaría en un periodo aproximado de 11 años

### Bus diésel vs BEV<sup>2</sup>



Fuente:  
1. Estudio Escenarios Usos Futuros de la Electricidad, 2017  
2. Movilidad Eléctrica: Oportunidades para Latinoamérica, PNUMA, 2016



# Calefacción, agua caliente sanitaria y cocción suman más del 80% del consumo de energía de los hogares, con baja electrificación

|   | Calefacción |      |      | Agua caliente sanitaria |      |      | Cocción   |      |      |
|---|-------------|------|------|-------------------------|------|------|-----------|------|------|
|   | 2017        | 2030 | 2050 | 2017                    | 2030 | 2050 | 2017      | 2030 | 2050 |
| <b>% del consumo energía hogares Chile<sup>1</sup></b>      | <b>56%</b>  |      |      | <b>18%</b>              |      |      | <b>8%</b> |      |      |
| <b>% consumo eléctrico vs total uso escenario base</b>      | 2%          | 10%  | 15%  | 1%                      | 5%   | 10%  | 1%        | 5%   | 10%  |
| <b>% consumo eléctrico vs total uso escenario optimista</b> | 2%          | 30%  | 60%  | 1%                      | 30%  | 60%  | 1%        | 20%  | 30%  |

1. 5% corresponde a refrigerador, 3% iluminación y 11% otros eléctricos

Fuente: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile. Corporación Desarrollo Tecnológico (CDT), CCHC, 2010

# Agenda

- Objetivos y alcance
- Contexto
- Escenarios en transporte y residencial
- **Resultados en eficiencia energética, emisiones y GEI**
- Conclusiones

# Efectos en transporte se analizarán en eficiencia energética, salud y descontaminación y menores gases efecto invernadero



**Eficiencia energética**



**Salud y descontaminación**



**Menores gases efecto invernadero**

## La movilidad eléctrica es más eficiente y económica

- 1 Un **vehículo eléctrico liviano consume** cinco veces (un 80%) **menos energía** que uno a combustible <sup>(2)</sup>
  - Un motor a combustión transforma alrededor del 15% de la energía del combustible en fuerza y pierde el resto en calor<sup>(1)</sup>
  - Un motor eléctrico transforma al menos el 60% de la energía en fuerza.<sup>(1)</sup>
- 2 Un auto eléctrico es **más barato de operar**: rinde 17 \$/km, mientras que uno a bencina rinde aprox 63 \$/km<sup>(2)</sup>
  - Con un estanque se recorren 500 km en un auto convencional, a un costo de \$31.500. En uno eléctrico costaría \$8.500 el mismo viaje.
- 3 Un **bus eléctrico consume** cuatro veces (un 75%) **menos de energía** que uno a combustible <sup>(2)</sup>
- 4 El **ahorro** de un VE comparado con un vehículo a combustible:
  - Usuario particular: 15.000 km/año es **\$900.000 al año**.
  - Taxi: 90.000 km/año el ahorro es de **\$5 millones al año**.

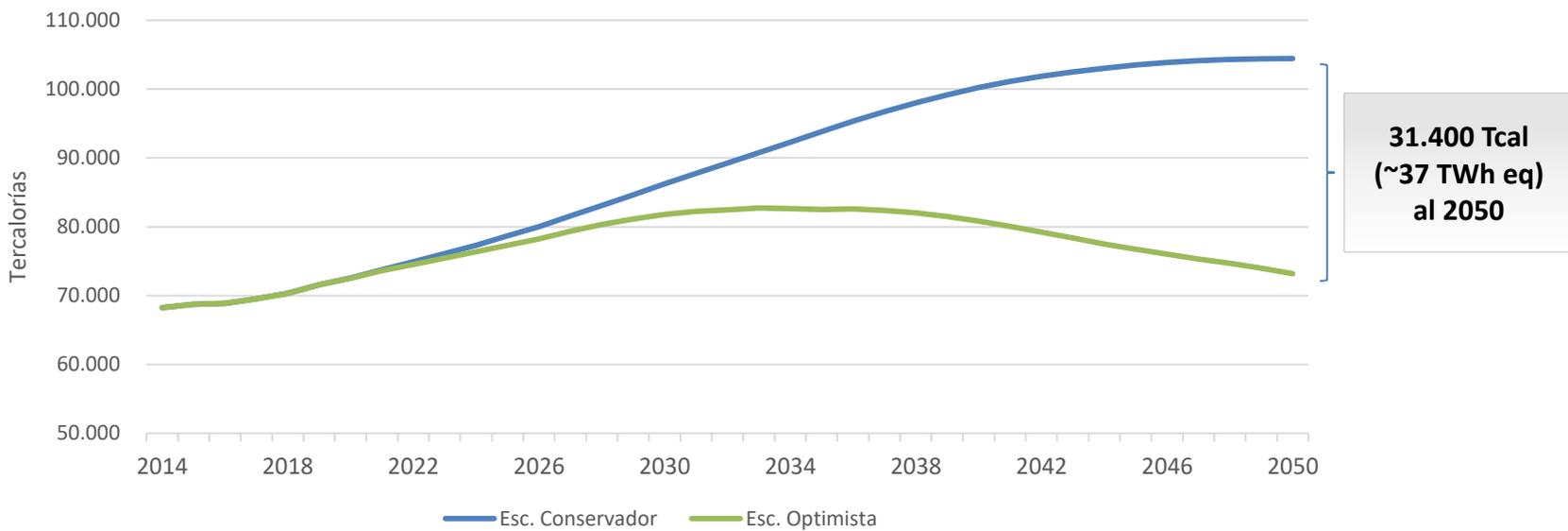
(1) [www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml)

(2) Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017



# Mayor electromovilidad permitirá reducir crecimiento del consumo energético del país por concepto de transporte

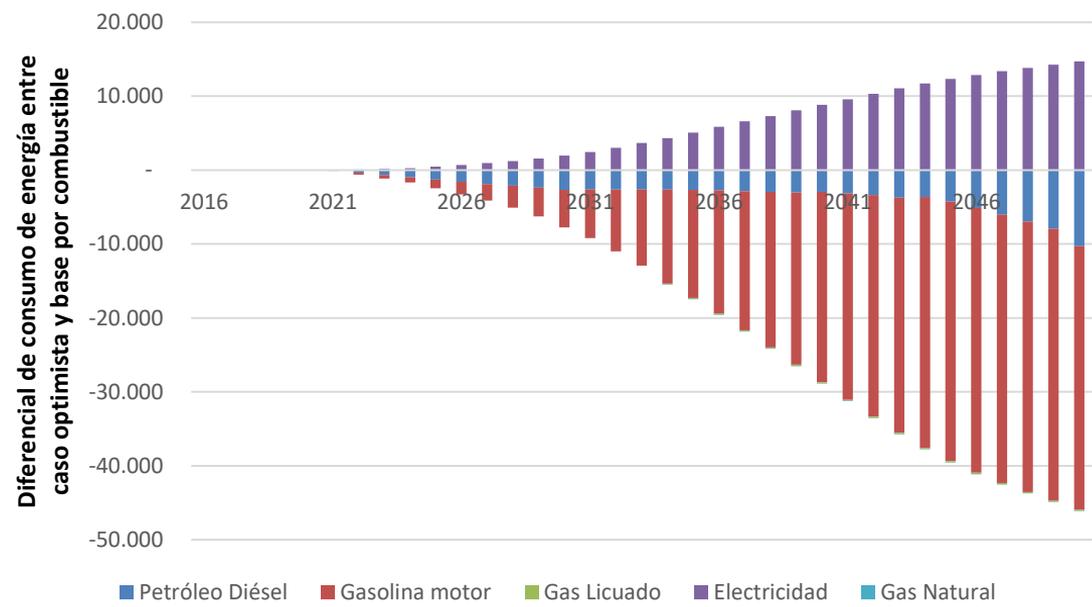
### Consumo total energía transporte terrestre (Teracalorías / año)





# La electromovilidad conlleva una importante reducción del consumo de energía: por cada unidad adicional de electricidad se ahorran tres unidades de energía de combustible fósiles

**Aumento consumo eléctrico vs reducción consumo combustibles fósiles (Tcal / año)**



**Aumento consumo eléctrico en escenario optimista versus base al 2050**

- 17 TWh (14.600 Tcal)

**Menor consumo energía de comb. fósiles en escenario optimista versus base al 2050**

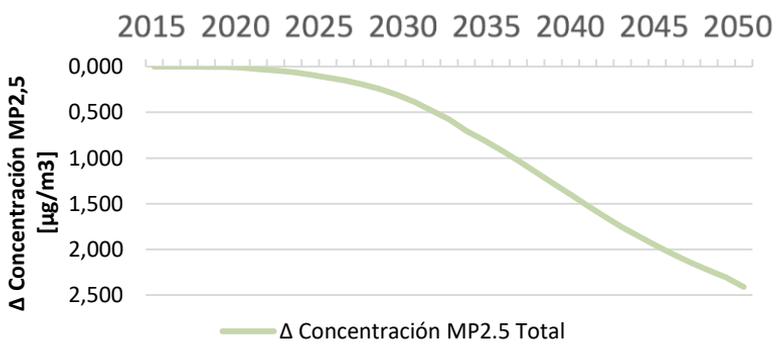
- 54 TWh (46.000 Tcal)



**Ahorro de ~37 TWh (31.400 Tcal) al 2050**

# ⊕ Electromovilidad permitirá reducir la concentración de material particulado fino dañino para la salud

**Reducción MP 2,5 escenario optimista vs base (µg / m3)**



## Beneficios

### Beneficio ambiental permitirá:

- A** Reducir 6.700 muertes prematuras al 2050.
- B** Generar beneficios, en valor presente, por 880 millones USD asociado a menor mortalidad y menores admisiones hospitalarias.

### Escenario optimista reduce emisión de MP2.5 en promedio en 150 ton / año, llegando a 450 ton / año en 2050

- Permite reducir concentración promedio anual de MP 2.5 en 2.5 µg / m<sup>3</sup> al 2050 para Santiago
- Concentración promedio MP 2.5 en 2011 entre ~3 y 35 µg / m<sup>3</sup> dependiendo de la ciudad<sup>1</sup>

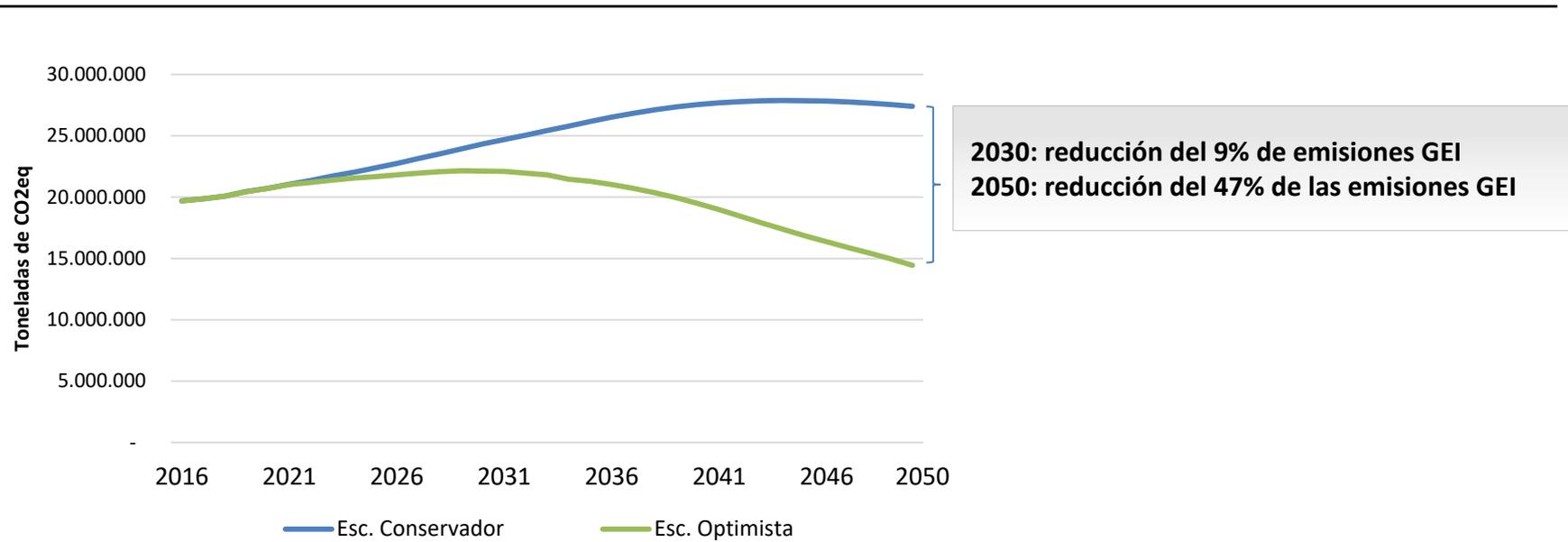
1. Calidad del aire, Ministerio del Medio Ambiente (2011). [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_1.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_1.pdf)

Fuente: Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017



# Adicionalmente aumento de penetración de VE permitirá revertir la tendencia al alza de las emisiones de GEI del transporte terrestre

Toneladas de CO2 eq

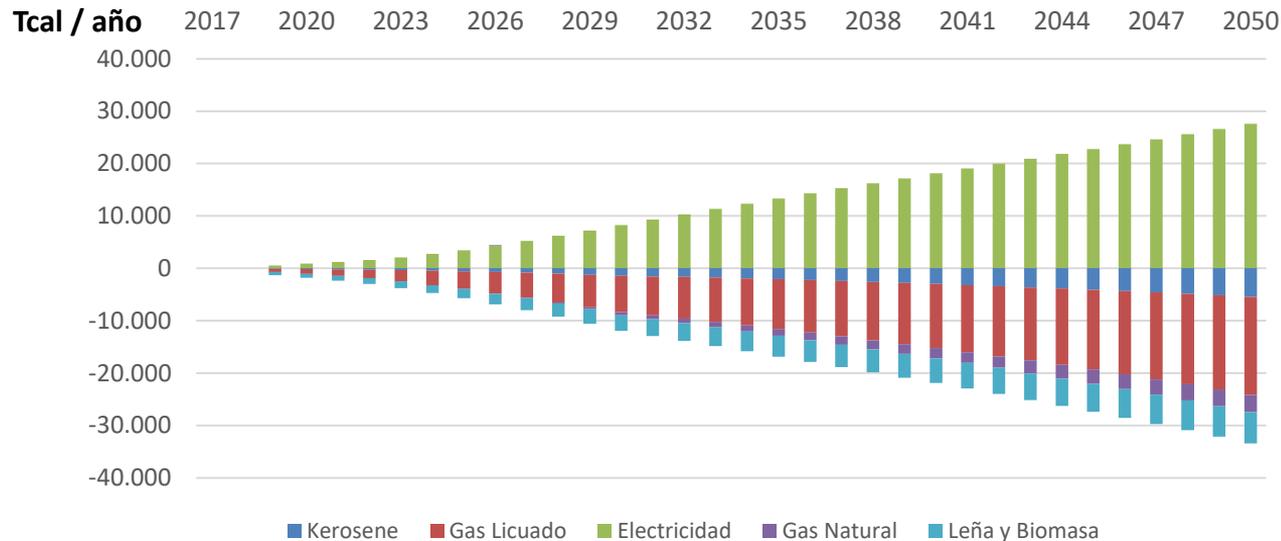


# Existe la oportunidad de concretar agenda que permita alcanzar beneficios del escenario de electrificación de manera costo efectiva

- 1 Definir hoja de ruta (política, estrategia, plan) que considere criterios de eficiencia económica, ambientales y de cambio climático.
- 2 Brindar *oportunamente* condiciones que permitan el ingreso de vehículos eléctricos: puntos de carga, servicio técnico, protocolos de seguridad, gradualidad para generar estas condiciones.
- 3 Aumentar gradualmente las exigencias de buses cero emisión en las futuras licitaciones.
- 4 Exigir recambio de taxis con cero emisión.
- 5 Considerar subsidios o exenciones tributarias transitorias a la compra de vehículos eléctricos consistentes con reducción de externalidades para vehículos livianos, en particular para taxis.
- 6 Desarrollar instrumentos de mercado de precio del CO2 y que permitan compensaciones que permitan movilizar recursos para inversión en electromovilidad.

# Aumento de consumo eléctrico es acompañado de una reducción mayor de uso de combustibles fósiles

**Aumento consumo eléctrico vs reducción combustibles fósiles (Tcal / año)**



**Aumento consumo eléctrico**

- 32 TWh (27.500 Tcal)

**Reducción comb. fósil**

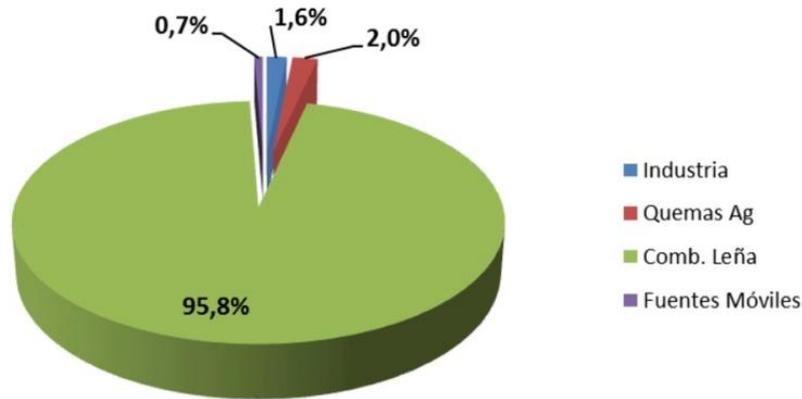
- 39 TWh (33.400 Tcal)



**Ahorro de ~7 TWh (5.900 T Cal)**

# ⊕ Caso de estudio Temuco- Padre las Casas : el 96% de las emisiones proviene de la combustión a leña

**Emisiones MP2,5 Temuco**



Fuente: Plan de descontaminación atmosférica por MP 2,5, para las comunas de Temuco y Padre las Casas y de actualización del plan de descontaminación por MP 10, para las mismas comunas. Ministerio de Medio Ambiente. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/04/Resumen-PDA-Temuco-y-PLC.pdf>  
Calefacción Sustentable. Ministerio de Medio Ambiente. 2016.



## La calefacción eléctrica mejorará la salud de Temuco

- 1 La mayor electrificación de la calefacción permite reducir material particulado proveniente de la leña.
- 2 En promedio se reducen más de 1.700 toneladas de material particulado MP2,5 por año al comparar el escenario conservador con el optimista.
- 3 En la Región de la Araucanía hay más de 340 mil viviendas<sup>(1)</sup>. Si 20 mil de esas viviendas utilizaran electricidad en vez de leña<sup>(2)</sup>:
  - Se evitarían 140 casos de mortalidad prematura al año.
  - Se evitarían 200 casos de admisiones hospitalarias al año.
  - Habría beneficios en menores costos de atenciones hospitalarias del orden de US\$ 90 millones por año.

Fuente:

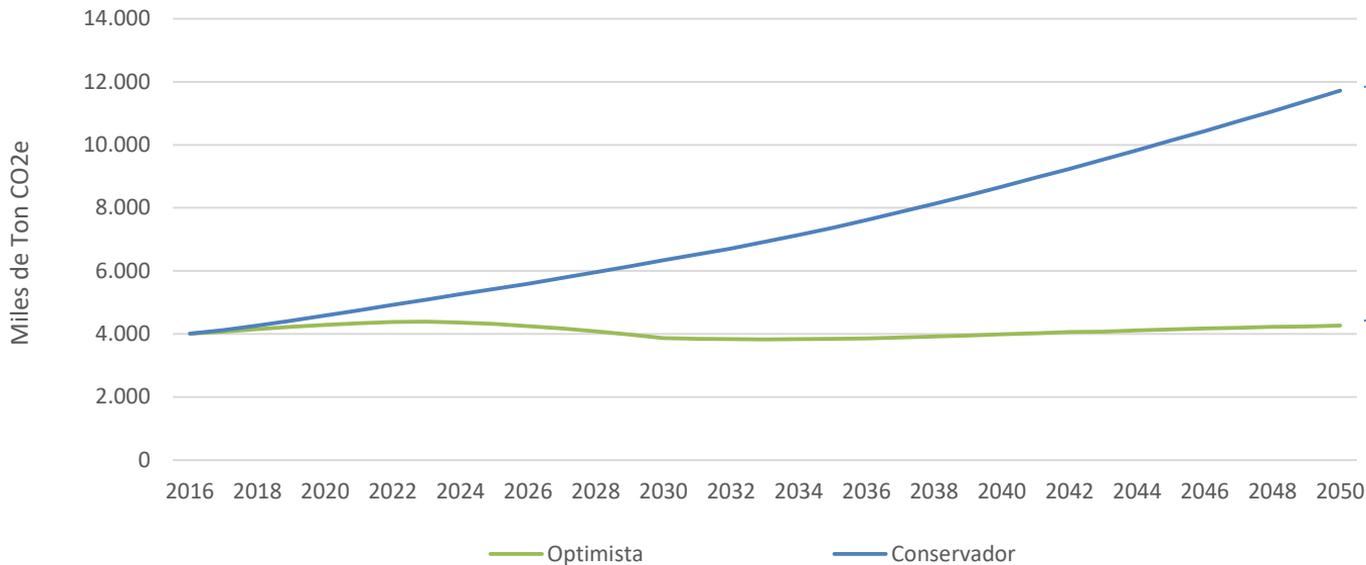
(1) Censo 2012

(2) Estudio Escenarios Prospectivos de Consumo Eléctrico, 2017



# Electricificación del consumo residencial permitiría evitar un aumento de emisiones GEI del ámbito residencial

## Emisiones de CO2 eq (ton)



Al 2030 se reducirán emisiones GEI al 38% y al 2050 en un 63% entre caso conservador (base) y optimista

# Agenda

- Objetivos y alcance
- Contexto
- Escenarios en transporte y residencial
- Resultados en eficiencia energética, emisiones y GEI
- **Conclusiones**

# Conclusiones

- 1 Mayor de **uso de electricidad en transporte** produce **eficiencia energética**
  - Por cada unidad adicional de electricidad se ahorran tres unidades de energía de combustibles fósiles
- 2 Mayor uso futuro de electricidad reducirá la **contaminación local evitando efectos en salud**
  - Por mayor uso de electromovilidad se evitaría 6.700 muertes prematuras al 2050
  - Por mayor uso de electricidad residencial solo en el caso de Temuco se evitarían 140 casos de mortalidad prematura al año
- 3 Mayor uso de electricidad permitirá evitar el aumento e incluso revertir las emisiones de **gases efecto invernadero** y por ende combatir el **cambio climático**.



**Generadoras de Chile**  
energía que nos mueve



## ESTUDIO ESCENARIOS DE USOS FUTUROS DE LA ELECTRICIDAD

Agosto 2017

