

CICLO DE JORNADAS VIRTUALES

SESIÓN 2:

# INTRODUCCIÓN A LOS AUTOBUSES ELÉCTRICOS Y SUS BENEFICIOS

Noviembre 2020

Sebastián Galarza, Líder de Transporte y Energía, CMM Chile

# Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación - Mario Molina (Chile)

## Calidad del aire y Cambio climático

Incluimos investigación avanzada sobre la formación de aerosoles y su distribución de fuentes, así como procesos externos e internos de contaminación del aire.

**Temas tratados** Caracterización aerosoles urbanos / Emisiones atmosféricas y toxicidad / Nuevos sistemas de monitoreo atmosférico.



## Energía y transporte

Incluimos investigaciones sobre tecnología eficiente en el transporte y sus ramificaciones, además de la maquinaria pesada. Además, trabajamos en la eficiencia energética.

**Temas tratados** Líneas de base / Inventarios de emisiones / Electromovilidad / Transporte público.



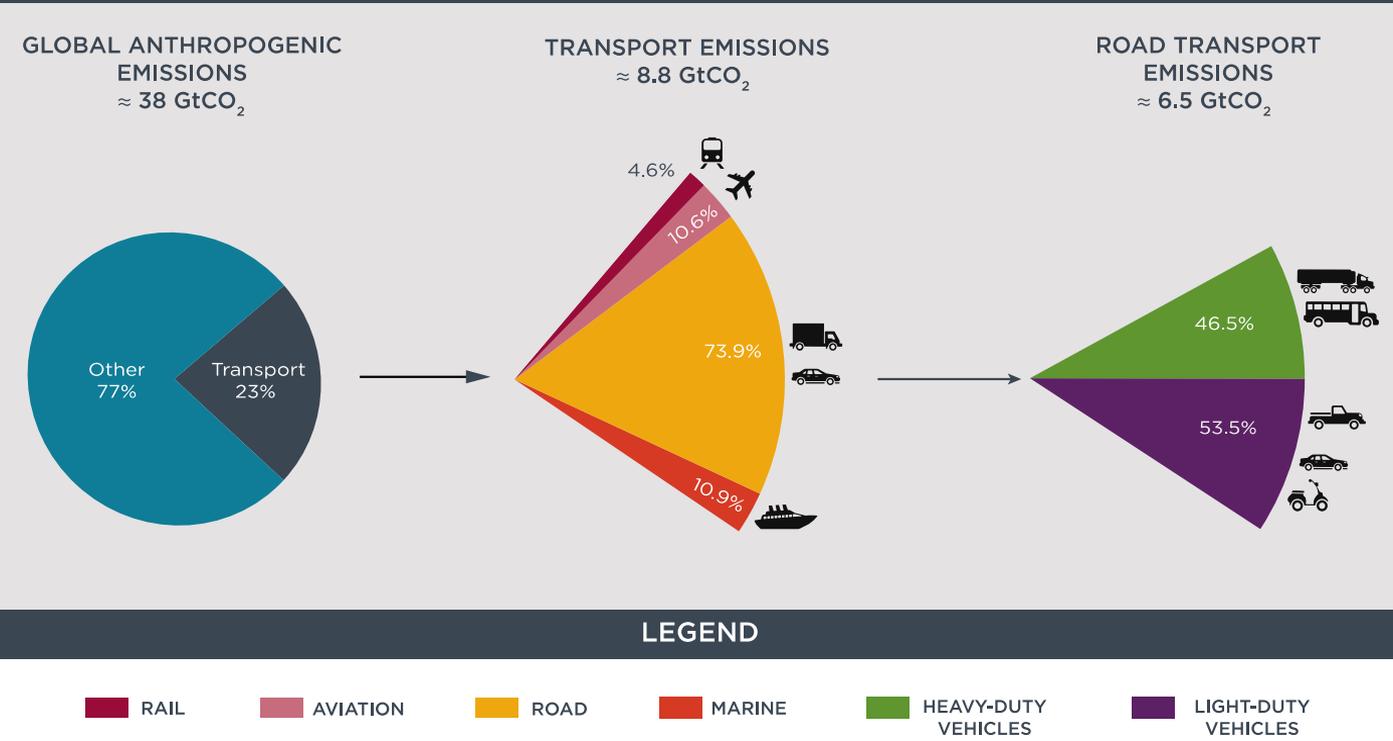
# Nuestro trabajo se enfoca en Chile y América Latina, desarrollado con socios a nivel global

---



# CONTEXTO

# El sector transporte representa una de las principales fuentes de emisiones – GEI y contaminantes locales



Notes:

# El avance del cambio climático se ha vuelto catastrófico y su mitigación aun más importante

## We have 12 years to limit climate change catastrophe, warns UN

Urgent changes needed to cut risk of extreme heat, drought, floods and poverty, says IPCC

● **Overwhelmed by climate change? Here's what you can do**



▲ A firefighter battles a fire in California. The world is currently 1C warmer than preindustrial levels. Photograph: Ringo HW Chiu/AP

SECCIONES

q

Clarín SOCIEDAD

SUSCRIBITE INGRESAR

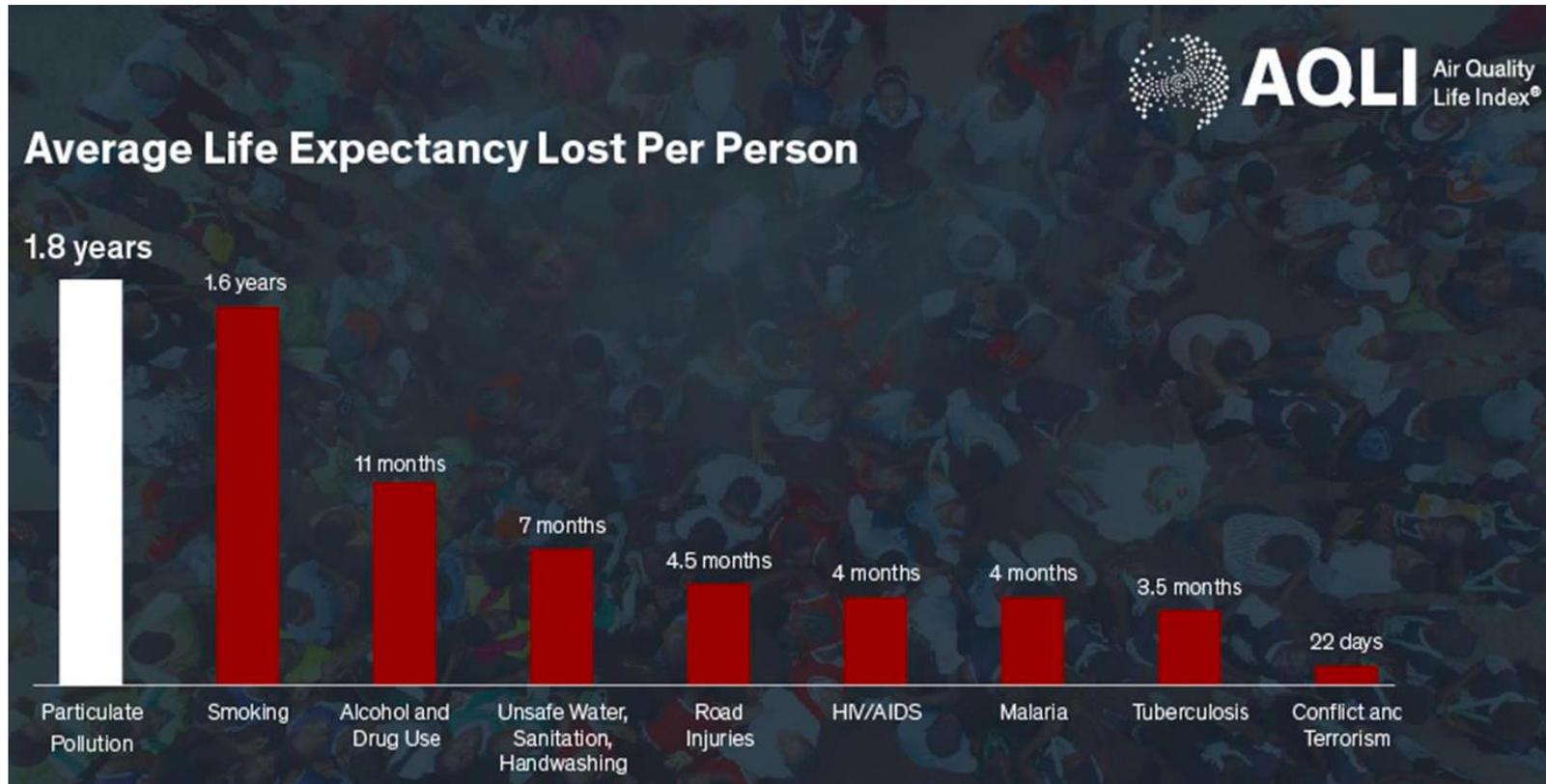
Por el cambio climático, América Latina pierde entre 17.000 y 27.000 millones de dólares por año

Un estudio difundido esta semana asegura que más de la mitad de Iberoamérica está en situación de altísima vulnerabilidad frente al calentamiento global.

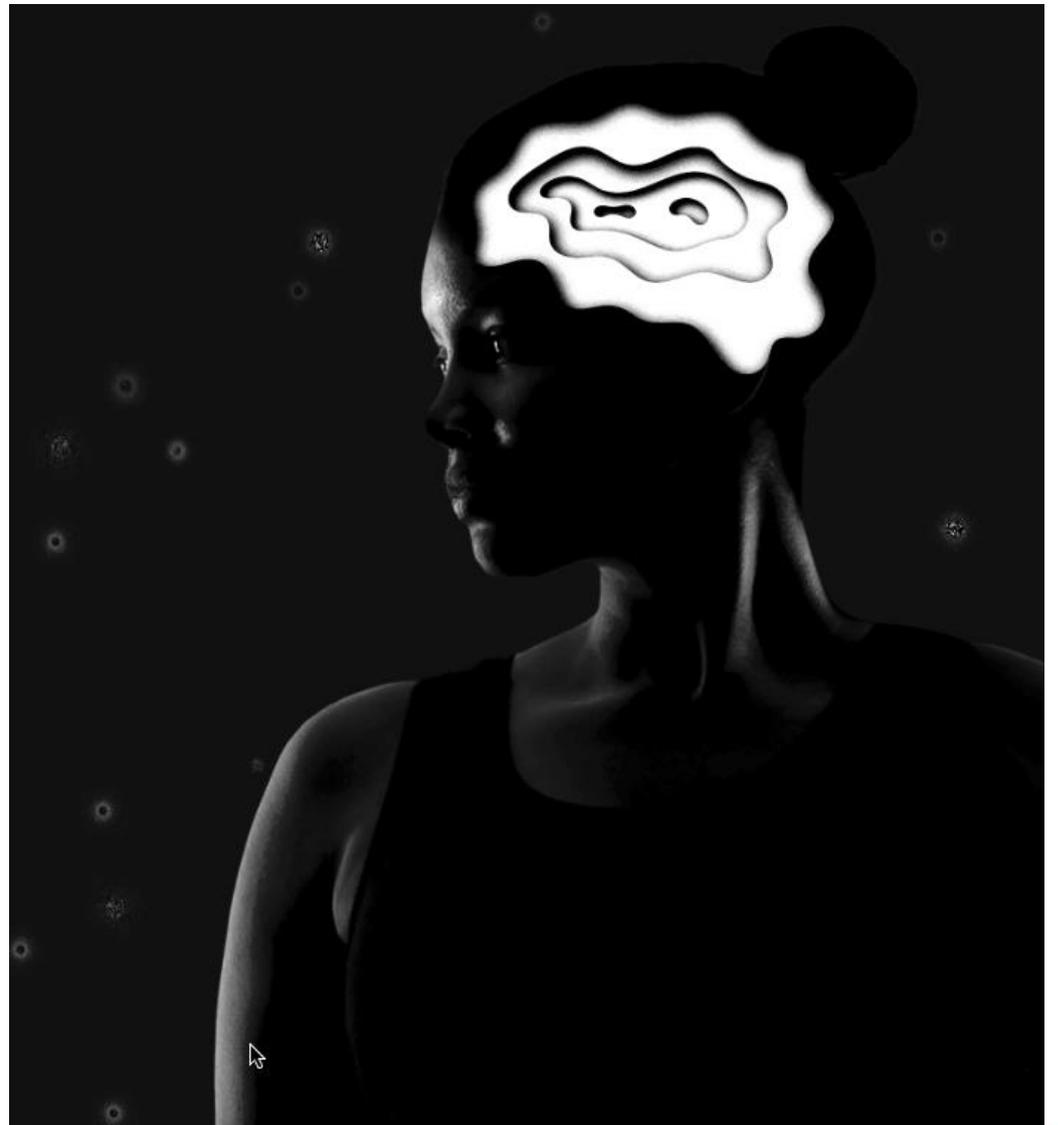


Un típico efecto del cambio climático son las inundaciones provocadas por crecidas en los ríos. En la foto, el desborde de febrero pasado del río Pilcomayo, en Salta (EFE/Cortésia Cruz Roja Santa Victoria Este).

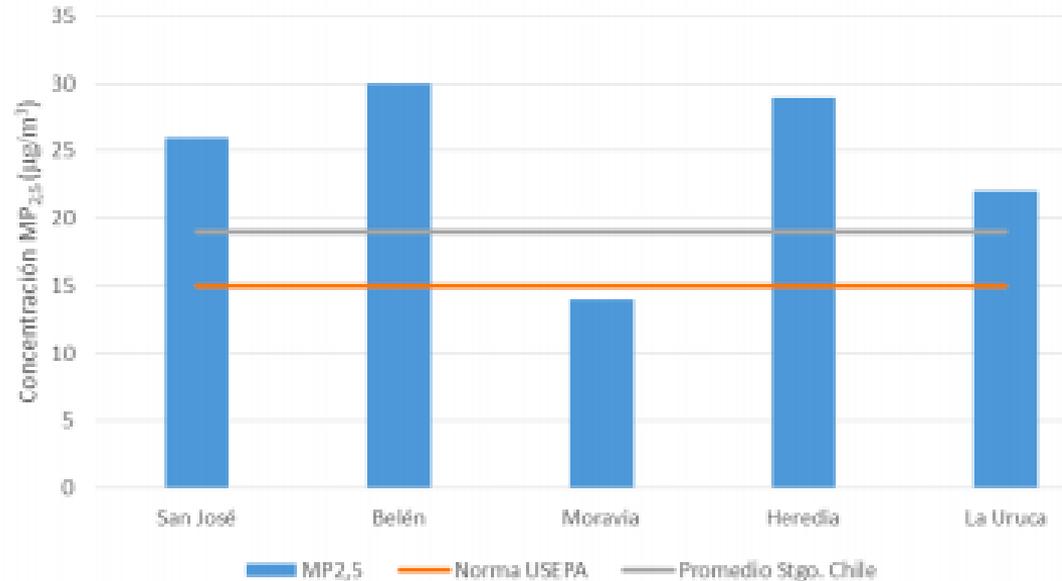
# Cada año mueren +140 mil personas por contaminación atmosférica (MP<sub>2.5</sub>) en América Latina



- El material particulado fino (MP<sub>2.5</sub>) tiene efectos nocivos sobre la salud humana
  - Impacto sobre el sistema cardiovascular y pulmonar
  - Impacto en enfermedades neuro-vasculares
  - Impacto sobre sistema digestivo y abdominal
  - Impacto sobre sistema reproductivo

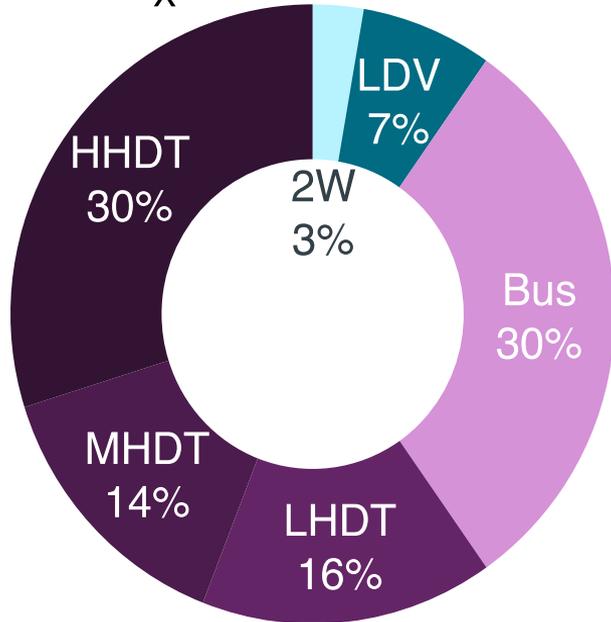


# Costa Rica no es una excepción - promedios anuales de $MP_{2.5}$ de muestras tomadas en San José (2013)

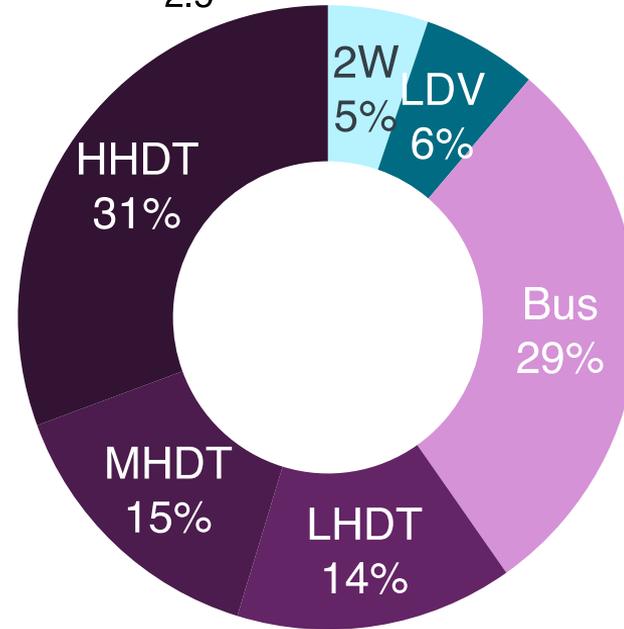


# Buses de transporte público son responsables por un tercio de todos los contaminantes locales en LATAM

NO<sub>x</sub> Emissions in Latin America, 2015



PM<sub>2.5</sub> Emissions in Latin America, 2015



# Introducir estándares de emisiones más estrictos logra reducir contaminantes de fuentes móviles

---



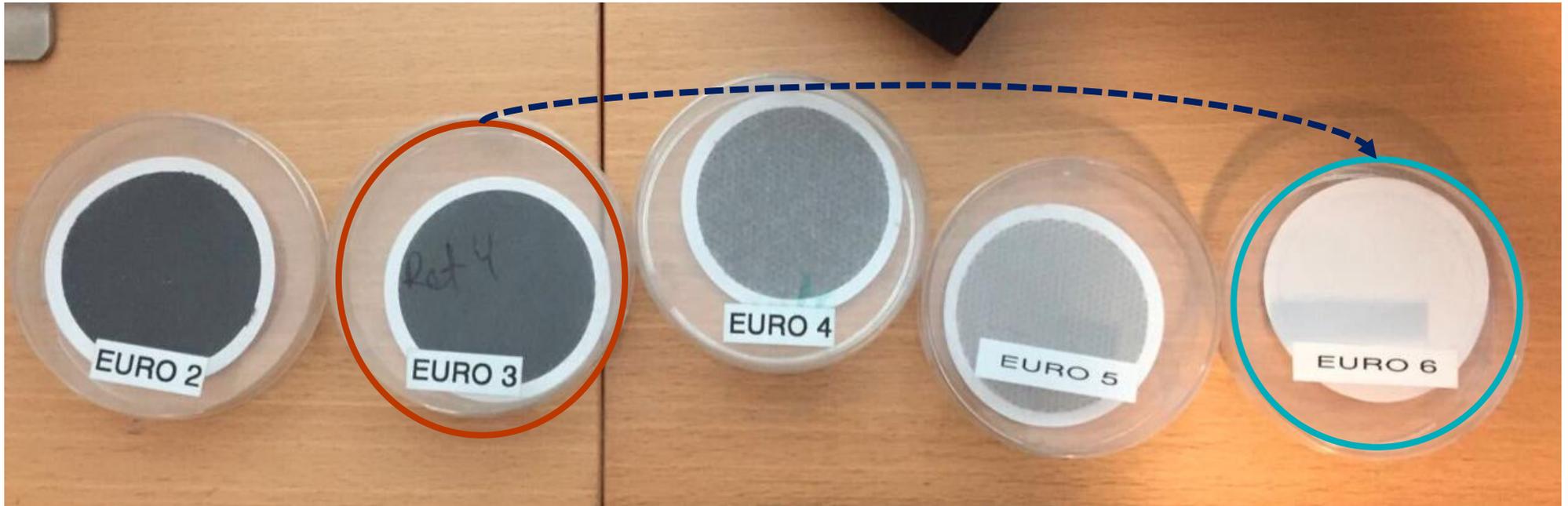
# Introducir estándares de emisiones más estrictos logra reducir contaminantes de fuentes móviles

---

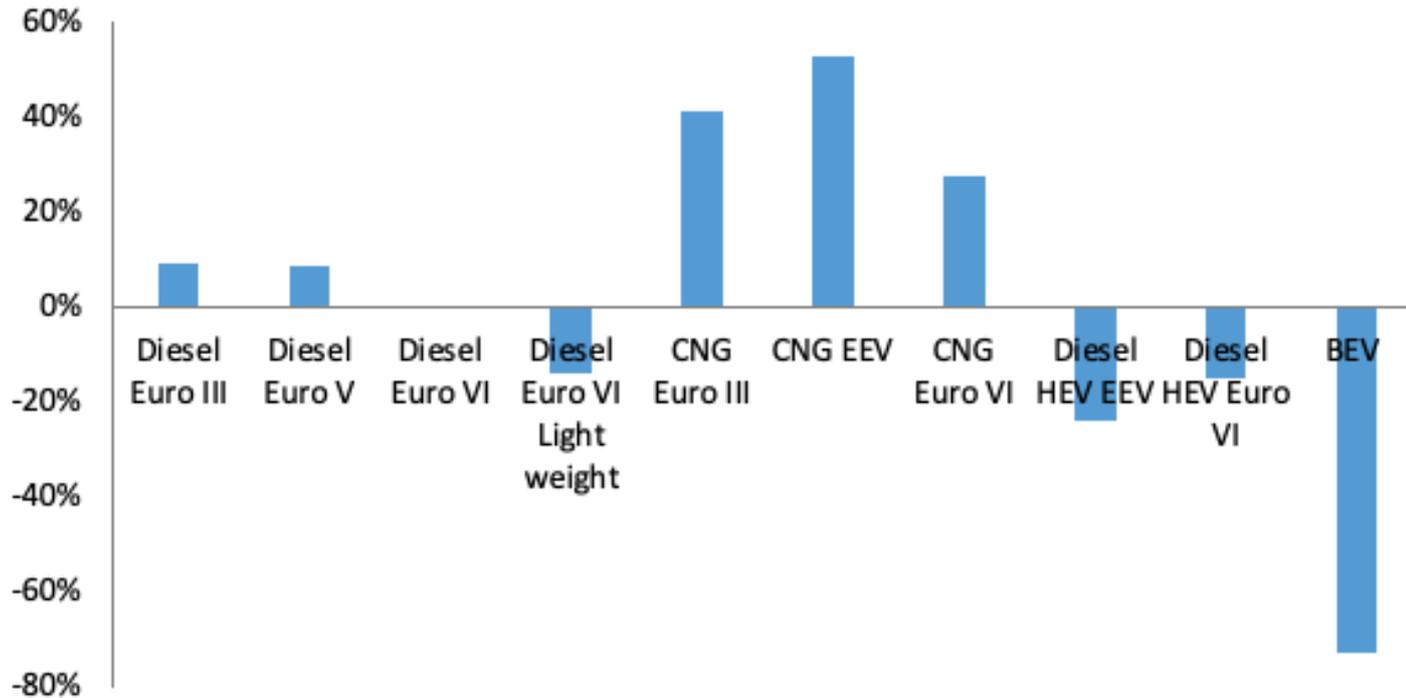


# Introducir estándares de emisiones más estrictos logra reducir contaminantes de fuentes móviles

---



# Un salto a buses eléctricos nos permite no solo eliminar emisiones toxicas pero reducir el consumo de combustible



Consumo de energía relativo a un Bus Euro VI – 12m (VTT 2016)

# TIPOLOGÍAS DE BUSES ELÉCTRICOS

# Existen una alta variedad de buses eléctricos actualmente en operación

Incluyendo:

Buses Híbridos Eléctricos

Trolebuses

Buses a Hidrogeno

Buses Eléctricos a Batería

Todas las tecnologías tienen ventajas y desventajas

Sin embargo la presentación de hoy se centra en buses eléctricos a batería (BEBs)

Estos representan el mayor número de buses en operación en la región y el segmento con mayor potencial de crecimiento en el corto plazo

## TIPOLOGÍA DE BUSES SEGÚN LONGITUD Y CARACTERÍSTICAS DE SU CARROCERÍA

Clases de buses, según DS 122/1991



**CLASE A**  
≥ 8 m y < 11 m



**CLASE B**  
≥ 11 m y < 14 m

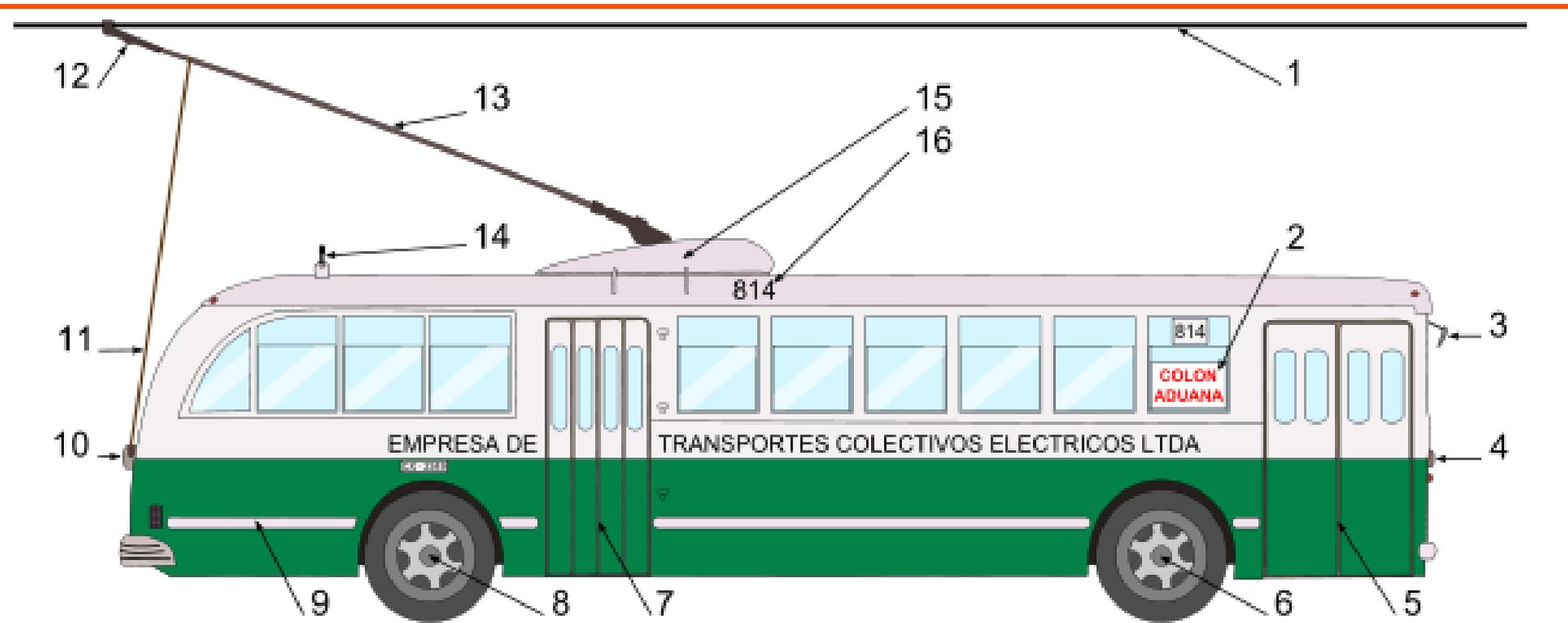


**CLASE C**  
≥ 14 m y < 18 m



**CLASE D**  
≥ 11 m y < 13 m de doble piso

# Existen distintas tecnologías de buses que usan electricidad, actualmente en uso en nuestra región (1)



# Actualmente existen 917 trolebuses en operación en América Latina – con las primeras líneas operando desde comienzos del siglo XX



Valparaíso (desde 1952), Mendoza (1954), Córdoba (1989) Quito (1995), CDMX (1951), entre otros  
**Ventajas:** No emiten contaminantes locales, son más flexibles que tranvías, tienen frenos regenerativos y otras ventajas operacionales, componentes eléctricos con mayor vida útil, menos pérdida al cargar, rango “ilimitado”.

**Desventajas:** Menor flexibilidad operacional, impacto en estética de la urbe, obstrucción de catenarias, alto costo de inversión, entre otros.

**Apoyo Híbrido:** Muchos troles tienen un sistema diésel de apoyo para operaciones fuera de catenaria. Últimamente, existe apoyo con baterías y uso de “Geo-Fencing” como es el caso de SF (California).

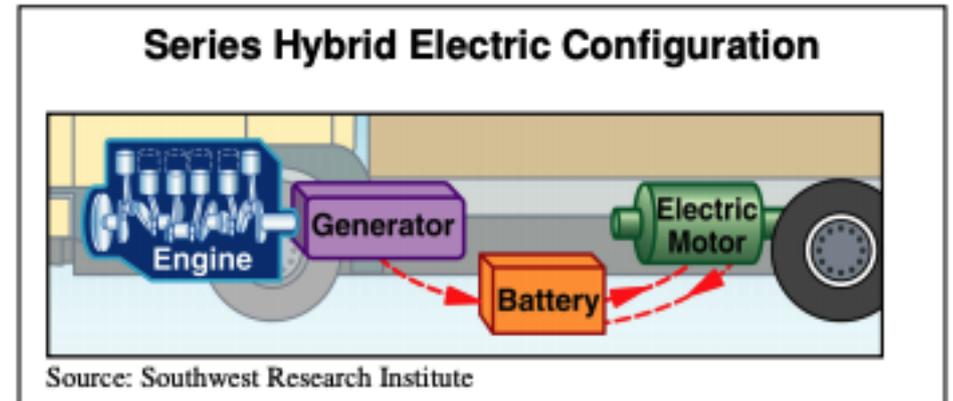
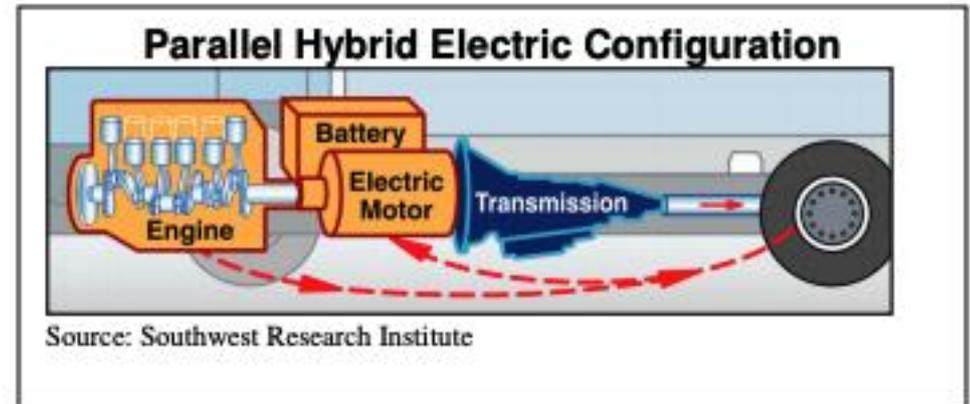
# También pero a mucho menor medida existen algunas operaciones que han incorporado buses híbridos

Existen distintos tipos de buses híbridos:

1. Híbrido en paralelo: El motor eléctrico y convencional están conectados de manera independiente a la transmisión. El motor eléctrico se usa en ciclo urbano y el convencional en ciclo extraurbano.

2. Híbrido en serie, el motor convencional está conectado a un generador que produce energía para el motor eléctrico.

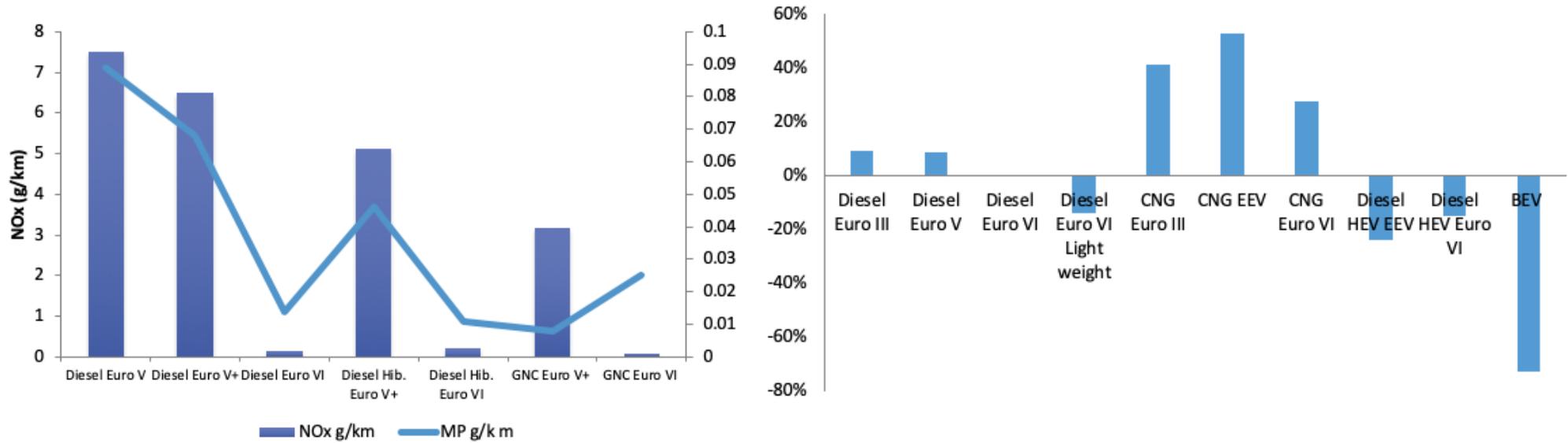
Así mismo se pueden tener híbridos enchufables, lo que no es el caso en LATAM



# Operaciones de buses híbridos en Bogotá, Buenos Aires, Curitiba, Sao Paulo, CDMX



# Los buses híbridos no tienen necesariamente un mejor desempeño en cuanto a emisiones y rendimiento



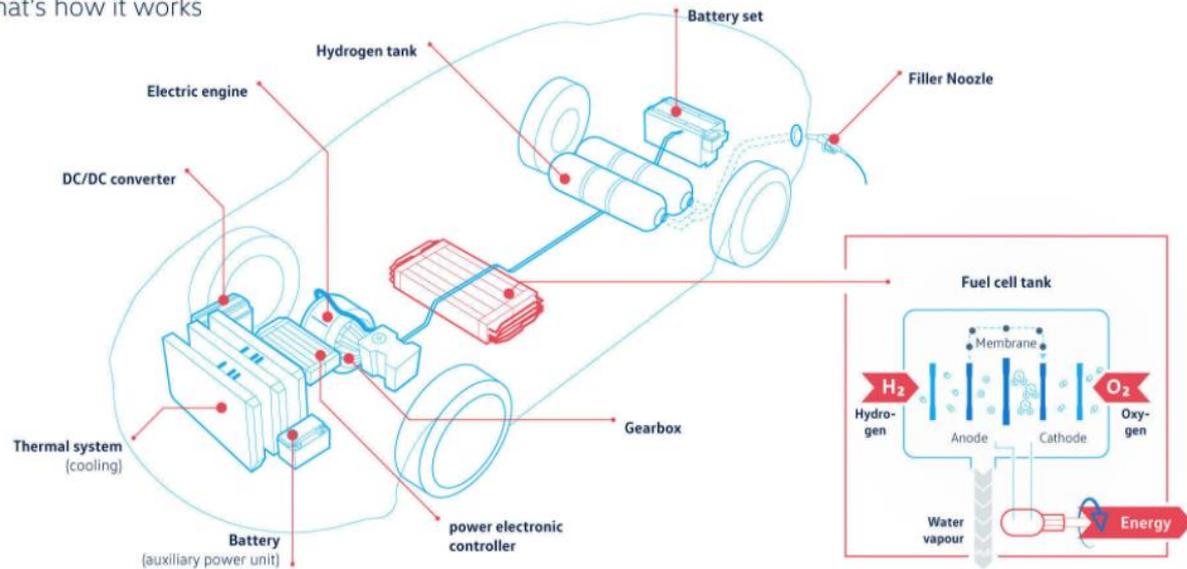
Consumo de energía relativo a un Bus Euro VI – 12m (VTT 2016)

# Buses a hidrógeno han surgido como una nueva alternativa de transporte bajo en emisiones

- Utilizan hidrógeno líquido o comprimido, junto con una celda que permite transformar la energía y alimentar el motor eléctrico y sistemas auxiliares del vehículo.
- Agua de vapor es el remanente
- Permite una carga rápida y tienen en general autonomías similares a buses convencionales y pueden tener menor PBV.

## Hydrogen Drive

That's how it works

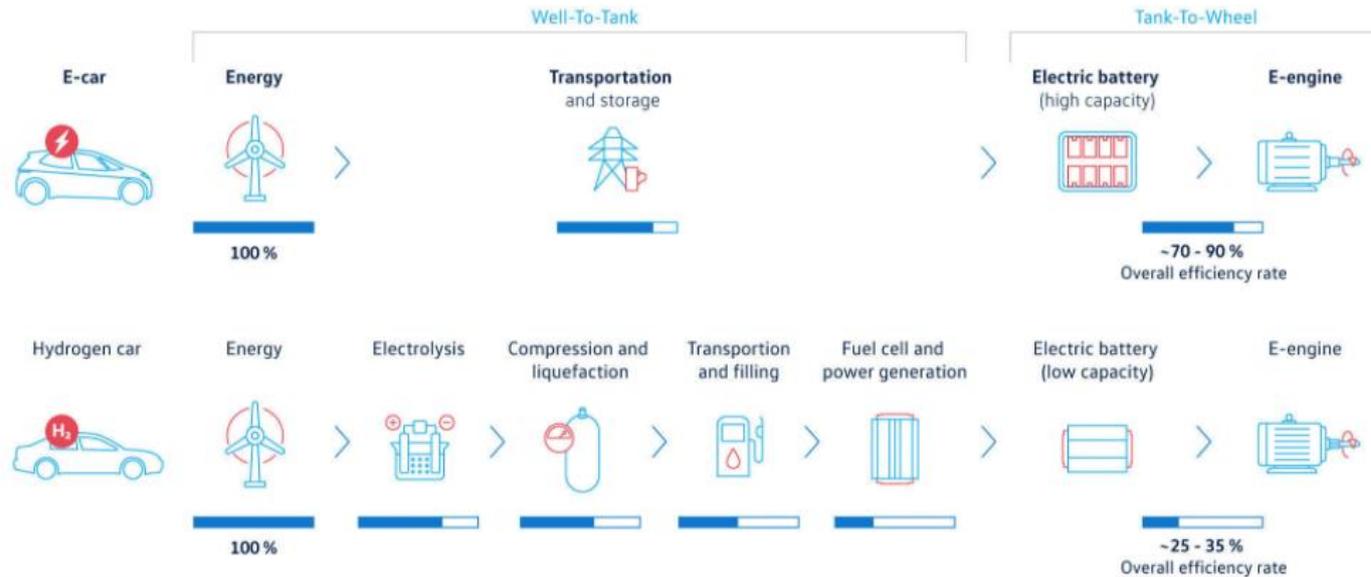


Source: [afdc.energy.gov](http://afdc.energy.gov), [energieagentur.nrw](http://energieagentur.nrw)

# Sin embargo, suelen ser menos eficientes que los buses a batería en su uso de energía

## Hydrogen and electric drive

Efficiency rates in comparison using eco-friendly energy



Source Volkswagen

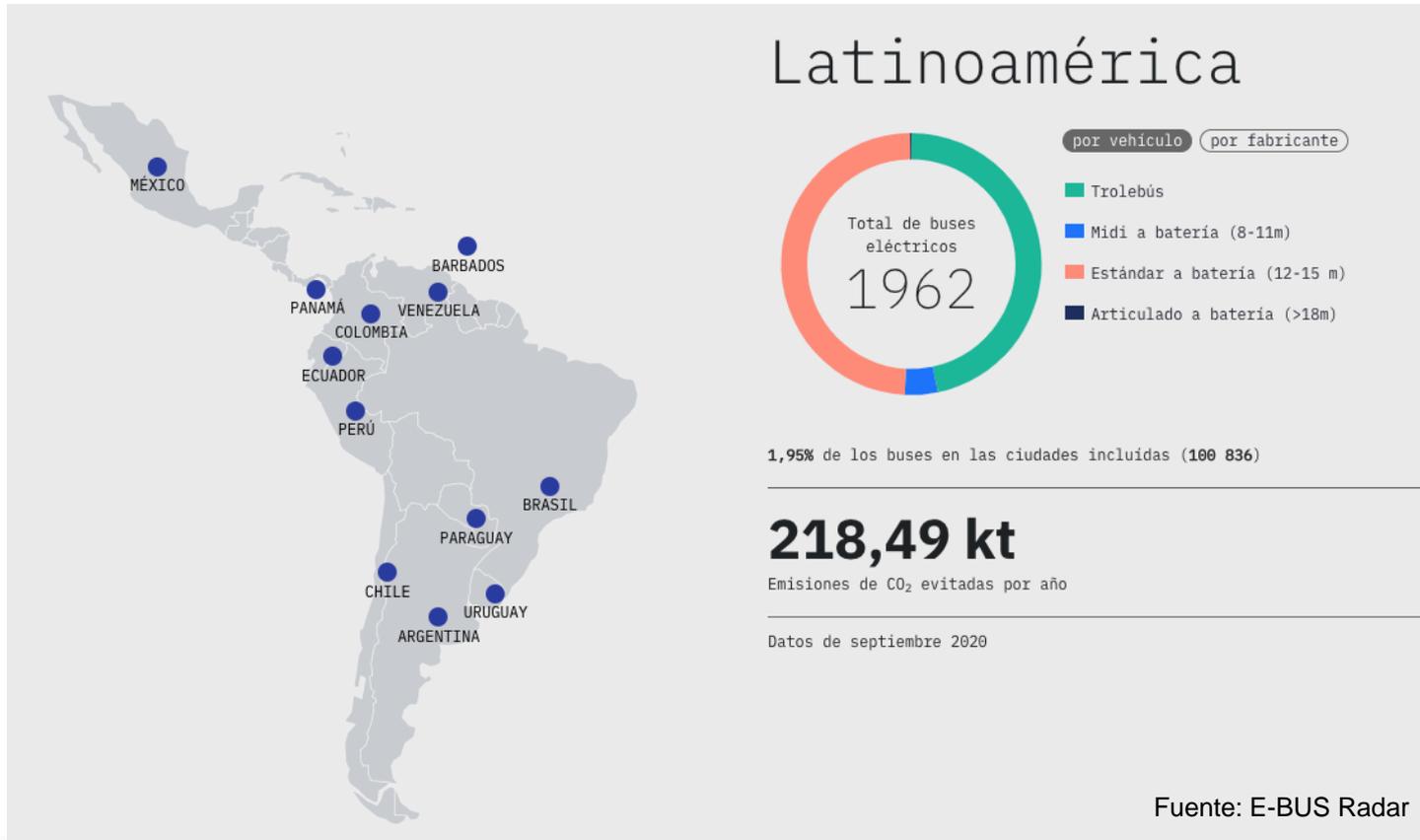
Por el momento, los precios de la tecnología y redes de carga pueden ser un impedimento para su masificación

---



# BUSES ELÉCTRICOS A BATERÍA

# Los buses eléctricos a batería son el segmento de mayor crecimiento en cuanto a tecnología vehicular en la región

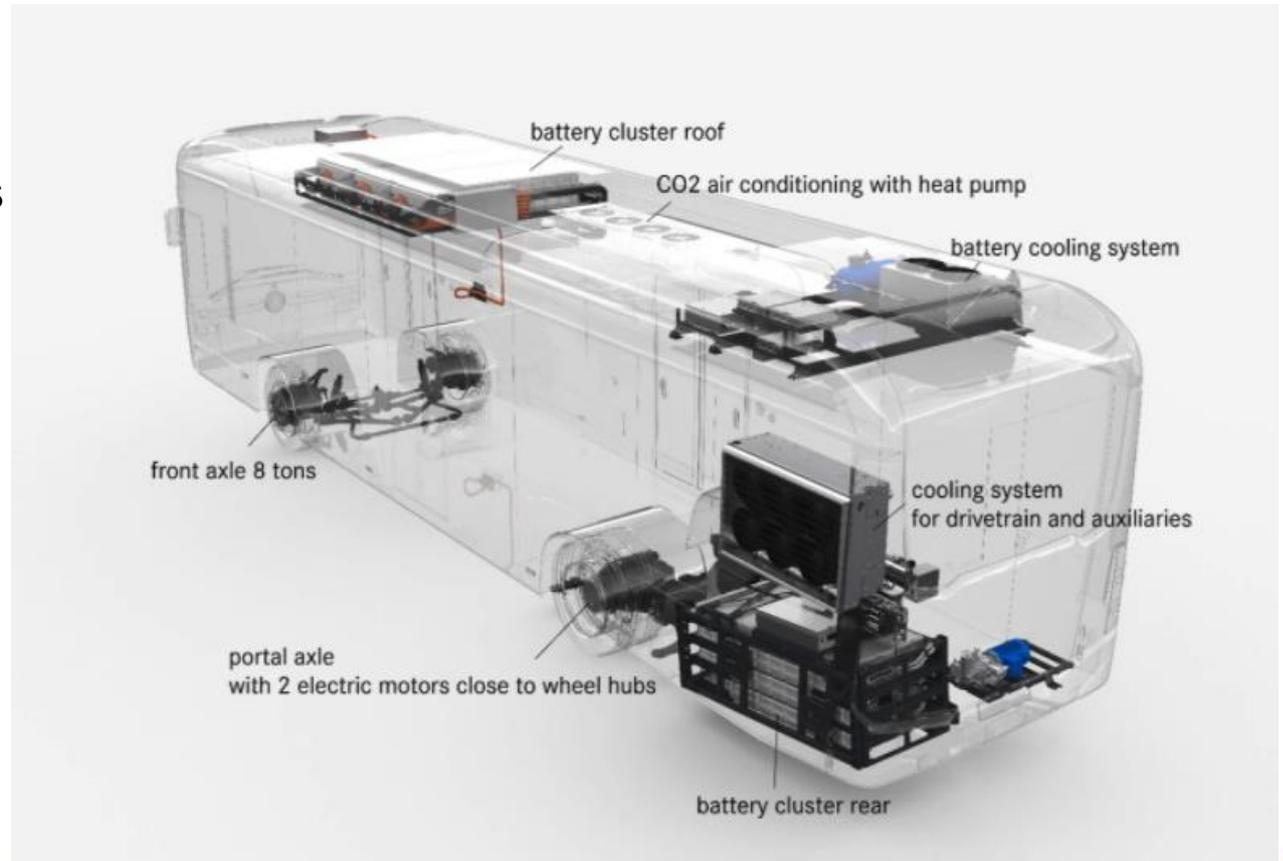


# Los buses eléctricos a batería son el segmento de mayor crecimiento en cuanto a tecnología vehicular en la región

Un bus a baterías eléctrico utiliza energía almacenada en sus baterías para impulsar sus motores eléctricos.

La energía para sus baterías es obtenida de una fuente externa (enchufe) y a través del frenado regenerativo.

Los componentes principales son sus baterías, BMS, motor de tracción eléctrico, regulador, puerto de carga e inversor.



# ¿Cómo se mueve un bus eléctrico?

La electrónica de potencia gestiona la distribución de la energía a través del tren de potencia.

Las baterías incorporadas alimentan al motor de tracción.

El motor de tracción impulsa al eje motriz.

La energía eléctrica se transforma en energía mecánica.

Se utiliza el frenado regenerativo para recargar la batería del vehículo.

Se gestiona mediante el controlador de electrónica de potencia con el motor de tracción funcionando en reversa.

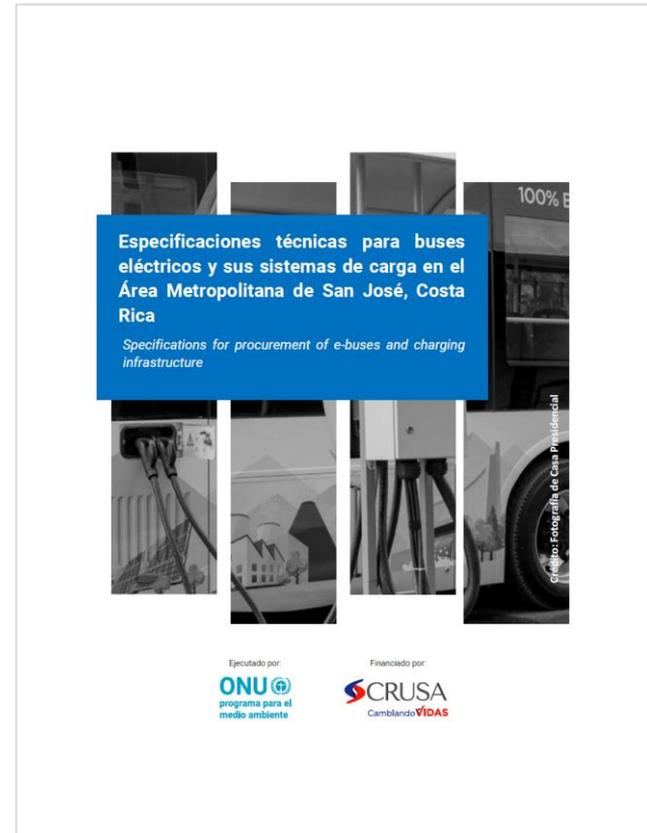


# Cambios en sub-sistemas de buses eléctricos

Sistema	Bus Diesel	Bus Eléctrico Batería	Cambio
Propulsión	Combustión interna, transmisión y sistema post-tratamiento	Motor eléctrico de tracción + almacenaje de baterías	Mayor
Componentes eléctricos	Sistemas de bajo voltaje	Sistemas de alto voltaje	Mayor
Dirección	Hidráulica	Eléctrica	Mayor
Frenos, ejes, suspensión y diferencial	Estándar	Frenos regenerativos y suspensión adaptada a peso de baterías	Mayor
HVAC (AC)	Diésel	Eléctrico (puede ser Diesel)	Menor
Puertas, rampas, plataforma de pago	Estándar	Estándar	No hay cambio
Diseño interior	Estándar	Distribución de peso de acuerdo a baterías	Mayor

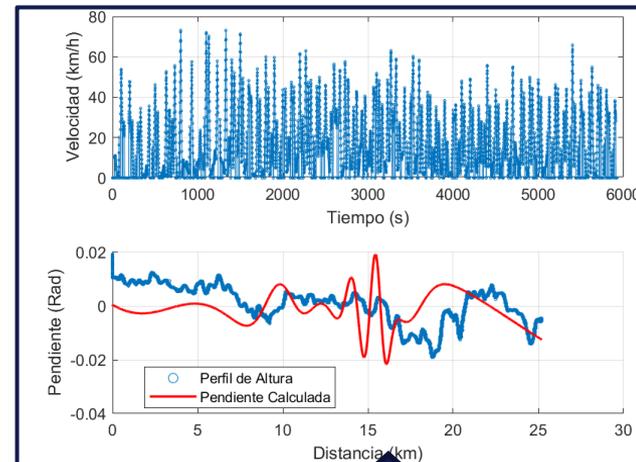
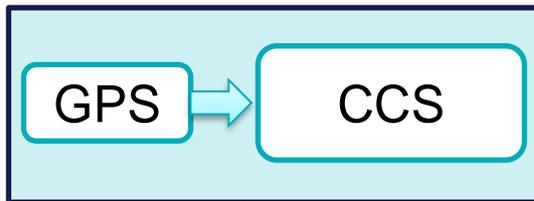
# Especificaciones técnicas para buses eléctricos y sistemas de recarga

- Dimensiones y peso
- Prestaciones Mínimas (pendiente, potencia, torque, velocidad)
- Consumo de energía
- Autonomía mínima
- Deterioro máximo permitido de la autonomía del vehículo
- Normativa de marga y protocolos de comunicación abierta
- Normativas relativas al sistema de propulsión del bus
- Monitoreo de la operación
- Disponibilidad de flota
- Control de conformidad
- Mantenimiento
- Entrenamiento
- Infraestructura y gestión de carga



# Definiendo especificaciones técnicas con modelaciones de operación

1	Tiempo	Latitud	Longitud	Velocidad
2	0	-33.4205742	-70.6076965	0.0
3	30	-33.42062	-70.6078415	0.0
4	100	-33.42062	-70.6078415	0.0
5	130	-33.42062	-70.6078415	0.0
6	200	-33.420959...	-70.6078491	7.96
7	230	-33.4215622	-70.6074905	28.89
8	300	-33.4233589	-70.6068954	7.96
9	330	-33.4233894	-70.6057968	4.82
10	400	-33.4233551	-70.6056213	0.0
11	430	-33.4233551	-70.6056213	0.0
12	500	-33.4233551	-70.6056213	0.0



Data collection from GPS data every 30s

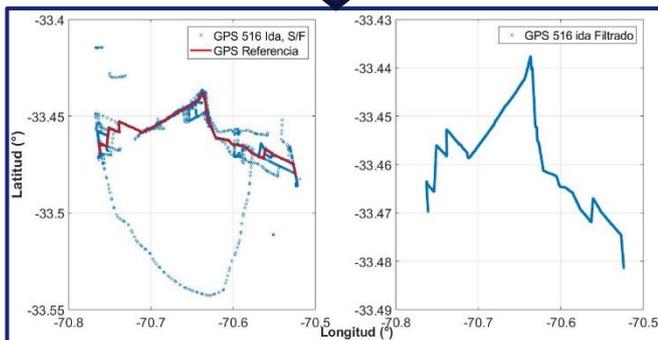
Identify 100 routes and data filtering.

Compute the average of distances traveled, and time average for each distance.

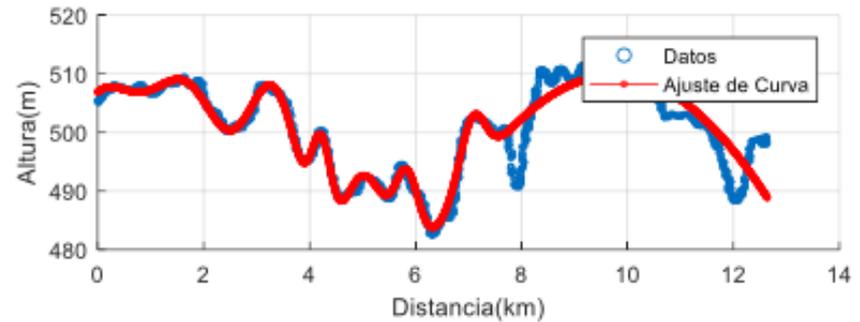
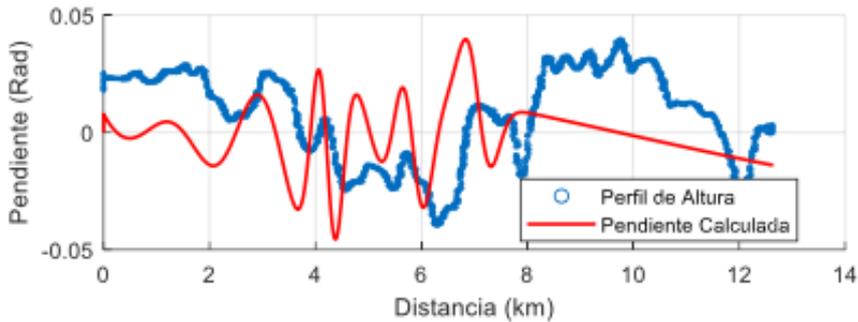
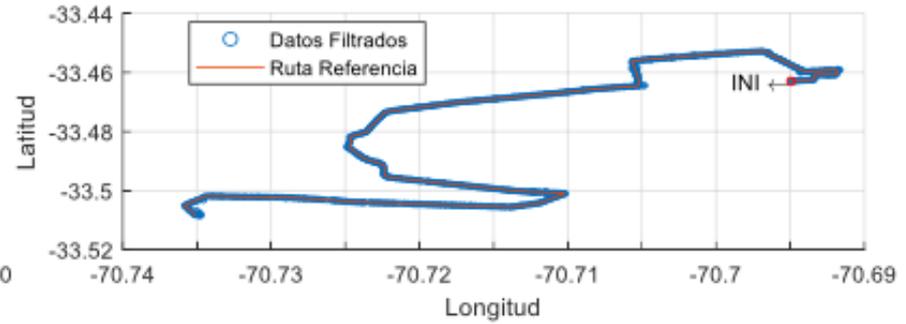
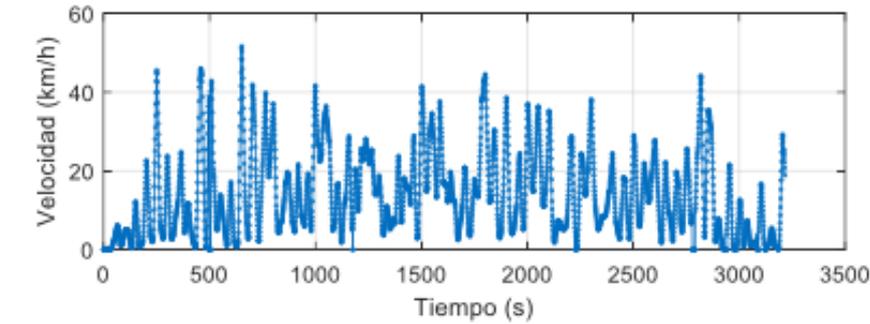
Develop of "raw speed" profile

Transform of frequency of data to 1 Hz. Optimization and smoothing

*Freq ≠ constant*



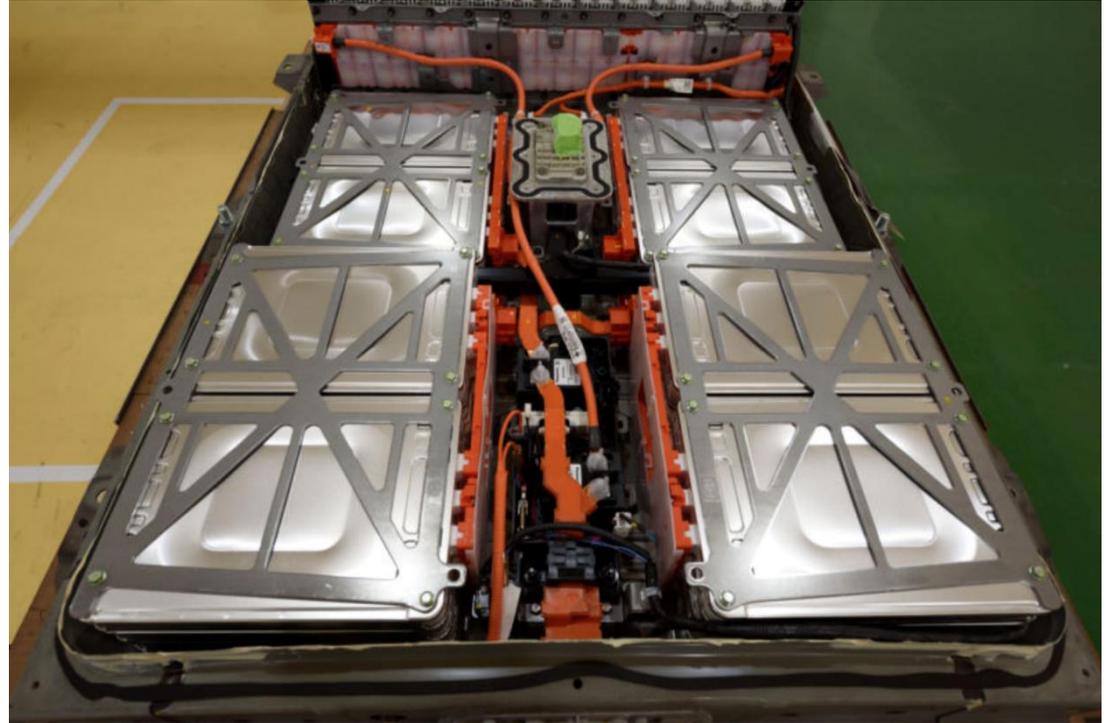
# Desarrollo de perfiles de velocidad y ciclos de conducción para ruta de RED



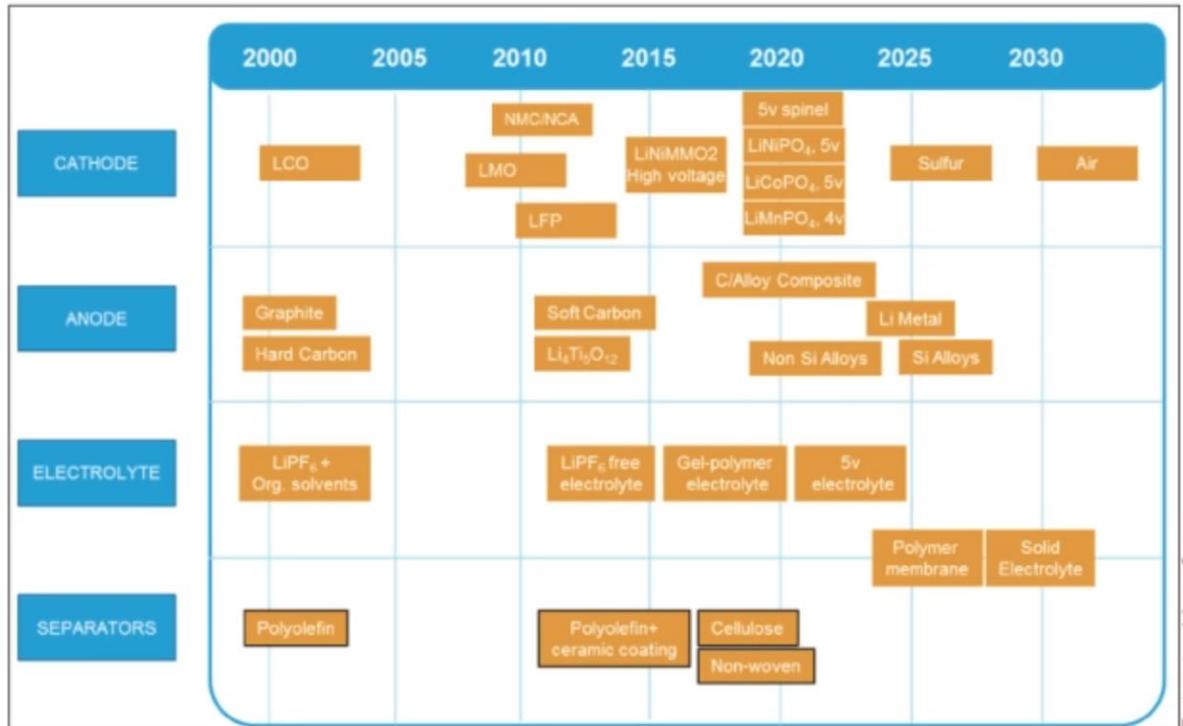
# BATERÍAS DE BUSES ELÉCTRICOS

# Las baterías del bus eléctrico son, quizás, el componente más determinante en su operación

- Capacidad de Carga: Define cuanta energía puede tener una batería almacenada en una carga (kWh)
- Potencia de la Batería (Kw): Implica cuanta energía puede cargar o descargar una batería en un periodo o ciclo de operación.
- Las baterías han tenido un proceso evolutivo importante, en particular en su composición – y enfatizando el auge de baterías de polímero de litio.



# En los últimos años hemos visto un desarrollo importante en las baterías para buses eléctricos

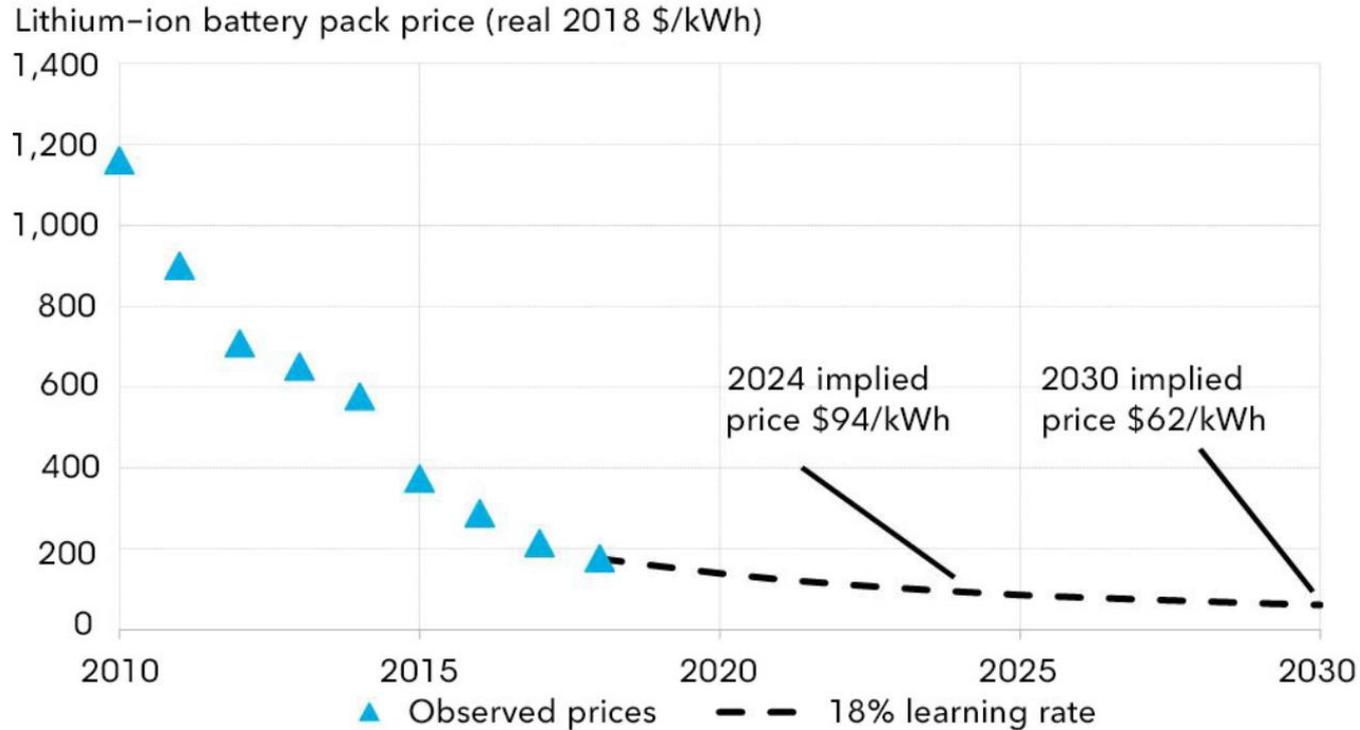


Academic and aftermarket research drives the invention and innovation of battery technologies from lab to market. Typically, it takes many years between initial research and manufacturing implementation.

La batería de Litio ion se ha consolidado en el mercado de VEs, dado que:

- Elemento altamente reactivo y densidad alta de energía (kWh/kg)
- Peso liviano en (por ejemplo, plomo ácido (Pb) and Níquel (Ni))
- Fuentes abundantes y recursos accesibles

# En los últimos años hemos visto un desarrollo importante en las baterías para buses eléctricos



Source: BloombergNEF

# En los últimos años hemos visto un desarrollo importante en las baterías para buses eléctricos



Variantes de baterías químicas de Li-Ion:

- Óxido de litio y cobalto de aluminio (NCA)
- Espinela de litio y manganeso (LMO)
- Fosfato de litio, hierro y manganeso (LFMP)
- Fosfato de litio y hierro (LFP)
- Litio, níquel, manganeso y cobalto (NMC)

# Las composiciones químicas de las baterías tienen distintas ventajas dependiendo de su uso

---

## **Fosfato de litio y hierro (LFP):**

### **Pros:**

- Más tolerante a condiciones más altas de estado de carga (SOC) y alto voltaje
- Menor costo de batería (fabricación)
- Tecnología de batería probada con alto volumen de producción / fabricación

### **Contras:**

- Menor densidad de energía en comparación con NMC
- Capacidad de almacenamiento de energía más baja

**Aplicación:** Carga en deposito, carga nocturna

## **Litio, Níquel, Manganeso y Cobalto(NMC)**

### **Pros:**

- Mayor densidad de energía
- Mejor gestión térmica, menor tasa de auto-calentamiento

### **Contras:**

- Todavía en desarrollo activo (riesgo de que la tecnología sea desplazada)
- Mayor costo de batería (fabricación)

**Aplicación:** Carga de oportunidad, carga rápida

# Las composiciones químicas de las baterías tienen distintas ventajas dependiendo de su uso

Tipo de Almacenamiento / Estrategia de Carga	Baja Capacidad / Alta Potencia	Capacidad Media / Potencia Media	Alta Capacidad / Baja Potencia
Carga de Oportunidad	Escenario – Carga Ultra Rápida de Oportunidad		
Carga en Deposito		Carga Moderada de Oportunidad	Carga Nocturna
Carga en Ruta			
Tipos de Batería	NMC/LTO	LFP	LFP

# Las baterías se degradan dependiendo del ciclo de operación del vehículo, la composición química de la batería entre otros factores

---

La degradación de la batería se produce debido a:

Envejecimiento: degradación causada por las condiciones de almacenamiento de la batería y la descomposición química, entre otros factores

Envejecimiento cíclico: de la carga y descarga de la batería (dependiendo del uso)

La velocidad de carga también puede acelerar la degradación de las baterías.

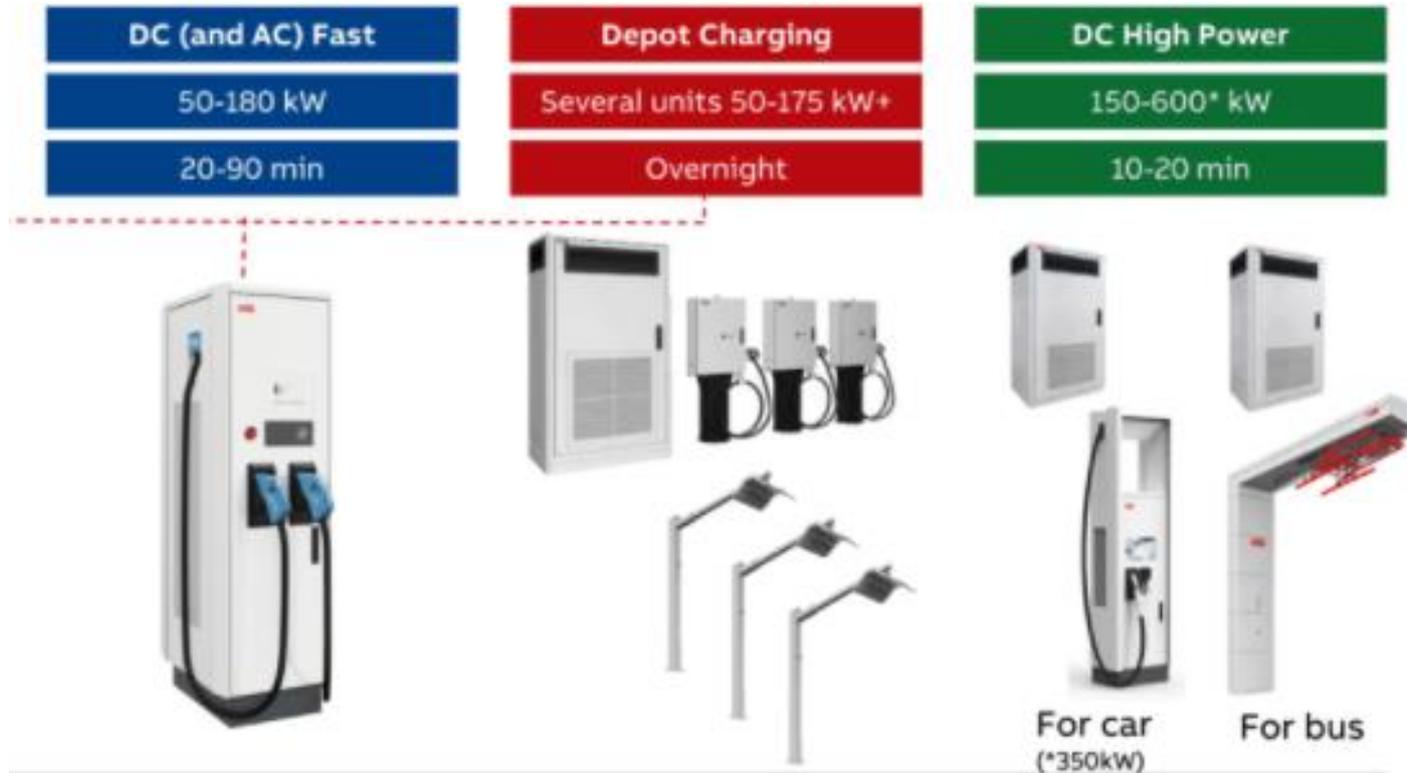
Las baterías de buses eléctricos usualmente tienen garantías expresadas de distintas formas (número de ciclos, degradación menor a %, años de operación)

Si una batería se recarga constantemente a la mitad de su capacidad, su tasa de degradación es aproximadamente 4 veces más lenta que si la batería se recargara constantemente al 100% (SOC = 1).

Recomendación : Minimizar el tiempo en que la batería está al 100% SOC.

# SISTEMAS DE RECARGA PARA BUSES ELÉCTRICOS

# Tipos de cargadores para buses eléctricos



# Las sistemas de carga tienen que cumplir con distintos estándares y/o protocolos de carga

**AC**

Norte América



J1772 (Type 1)

Europa



Mennekes (Type 2)

China



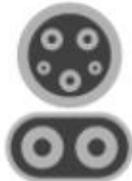
GB/T

Japón

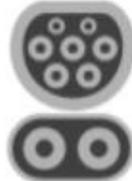


J1772 (Type 1)

**DC**



CCS 1



CCS 2



GB/T



CHAdeMO



Protocolo OppCharge  
SAE J3105  
IEC 61851-23

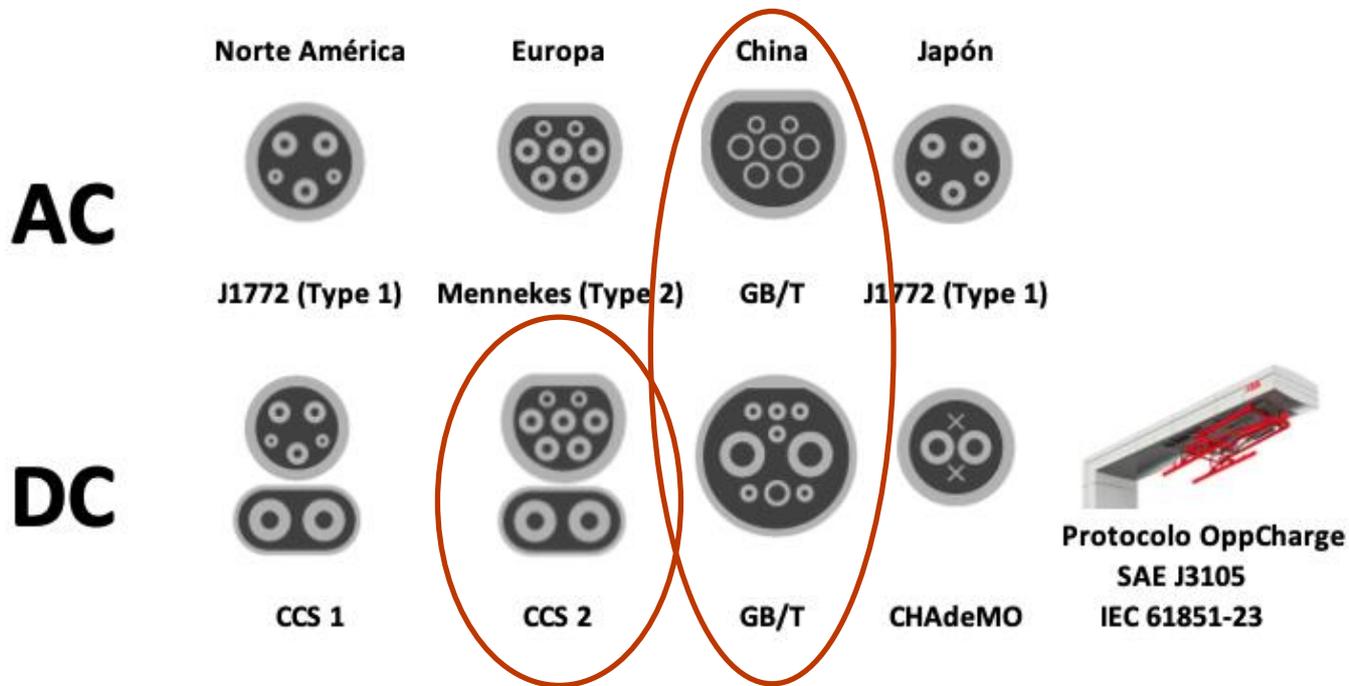


**Carga Inductiva (J2954)**  
Cargador sin cableado usando corriente inductiva con bloques de batería

En Santiago tenemos 10 electroterminales con más de 200 cargadores y una potencia instalada superior a 22MW

Terminal	Cargadores	Potencia (MW)	Estándar
Peñalolén	65 (1x80KwAC)	5,2	GB/T
Los Acacios	37 (1x80KwAC)	2,4	GB/T
Los Pinos	37 (1x80KwAC)	3	GB/T
Las Palmas	13 (1x80KwAC)	1,25	GB/T
El Salto	5 (3x50KwDC)	0,75	CCS 1
Nueva Bilbao (1)	3 (3x50KwDC)	0,5	CCS 1
Nueva Bilbao (2)	3 (4x40KwDC)	0,5	CCS 1
I+D Peñalolén	1 (350Kw + Pantógrafo)	0,4	CCS 1
Rinconada	37(1x150KwDC)	6,0	GB/T
Juanita	13(1x150KwDC)	2,1	GB/T
<b>10 Terminales</b>	<b>214 Cargadores</b>	<b>22.1 MW</b>	<b>Mixto</b>

# Actualmente tenemos dos estándares de carga que dificultan la interoperabilidad del transporte público



# ¿Cómo se cargan las baterías de un bus eléctrico?

---



# OPERACIONES DE BUSES ELÉCTRICOS: SANTIAGO

# Pilotos de buses eléctricos comenzaron en el 2013 – Santiago punto de entrada para tecnología eléctrica en buses urbanos

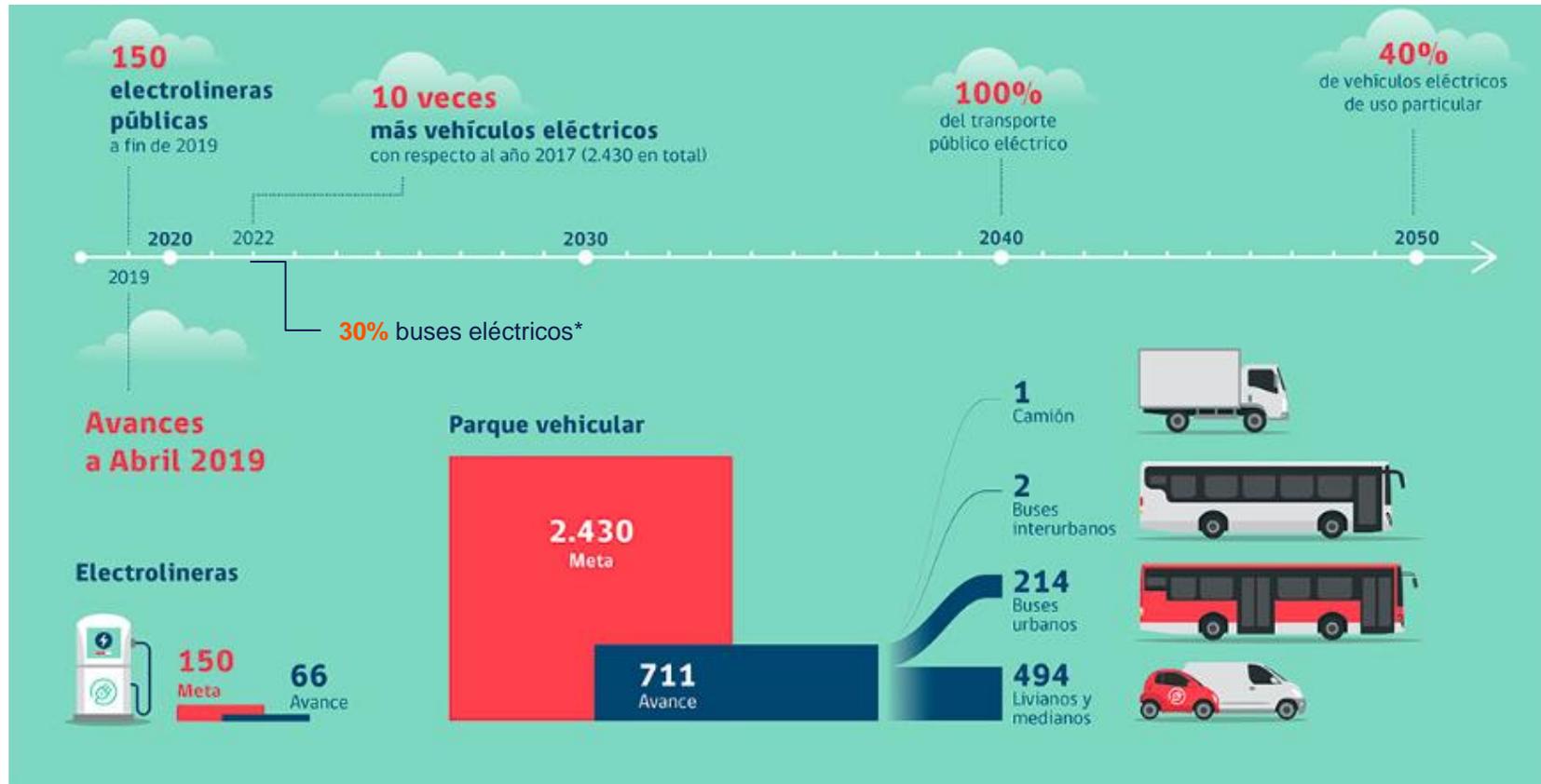


# Chile ha tenido un enfoque histórico en mejorar la tecnología de su transporte - en particular el público



Año	Contenido de azufre en diesel (ppm)	Estándar de Emisión (Norma D.S.130/94 MTT)
1990	5000	N/A
1994	3000	N/A
1997	1000	N/A
2002	300	Euro III/EPA 98
2006	50	Euro III Avanzado / EPA 98
2010	50	Euro III Avanzado + DPF / EPA 98 + DPF
2012	15	Euro V / EPA 2004 + DPF
2016	15	Euro V / EPA 2007 + DPF
2018	15	Euro VI / EPA 2010

# Metas del Ministerio de Energía (Chile) para electromovilidad al 2050 (livianos y buses urbanos)



# Pilotos han permitido a empresas eléctricas, operadores y fabricantes escalar servicios de buses eléctricos



# Buses eléctricos homologados por el Ministerio de Transportes para el transporte público de Santiago

Clase	Marca	Modelo	Modelo	Potencia [kw]	Capacidad Baterías [kwh]	Capacidad Pasajeros	Consumo [kwh/km]	Autonomía [km/charge]	Rutas
B2	BYD	K9 FE	BYD 2912TZ-XY-A	300	276.5	81	1.57	176.1	507c, 516, 519
B2	YUTONG	ZK6128BEVG	YUTONG YTM280-CV9-H	215	324.4	87	1.48	219.7	213e, 109, 109c, 109e
B2	FOTON	eBus U12 QC	PRESTOLITE TM4 E	350	151.55	90	1.67	90.9	N.A.
A1	BYD	K7	BYD TY90A	180	156.6	45	1.13	138.6	N.A.
A1	FOTON	EBus U8,5 QC	BEIQI FOTON MOTOR FTTB090-FT1VT120	130	129	47	1.24	104.0	N.A.
B2	ZHONGTONG	LCK6122EVG	PRESTOLITE TZ488XSPE 351 WH	350	351.237	88	1.58	222.3	N.A.
B2	KING LONG	XMQ 6127G PLUS	KING LONG DM2800	280	374.65	90	1.74	215.0	CO2, CO2c, C06, C14

# Buses eléctricos homologados por el Ministerio de Transportes para el transporte público de Santiago

Clase	Marca	Modelo	Modelo	Potencia [kw]	Capacidad Baterías [kwh]	Capacidad Pasajeros	Consumo [kwh/km]	Autonomía [km/charge]	Rutas
B2	BYD	K9 FE	BYD 2912TZ-XY-A	300	276.5	81	1.57	176.1	507c, 516, 519
B2	YUTONG	ZK6128BEVG	YUTONG YTM280-CV9-H	215	324.4	87	1.48	219.7	213e, 109, 109c, 109e
B2	FOTON	eBus U12 QC	PRESTOLITE TM4 E	350	151.55	90	1.67	90.9	N.A.
A1	BYD	K7	BYD TY90A	180	156.6	45	1.13	138.6	N.A.
A1	FOTON	EBus U8,5 QC	BEIQI FOTON MOTOR FTTB090-FT1VT120	130	129	47	1.24	104.0	N.A.
B2	ZHONGTONG	LCK6122EVG	PRESTOLITE TZ488XSPE 351 WH	350	351.237	88	1.58	222.3	N.A.
B2	KING LONG	XMQ 6127G PLUS	KING LONG DM2800	280	374.65	90	1.74	215.0	CO2, CO2c, C06, C14

Actualmente tenemos 776 buses eléctricos en operación – la mayor flota urbana fuera de China y 1,670 en licitación



# RETOS Y BENEFICIOS DE BUSES ELÉCTRICOS

# Las operaciones de buses eléctricos traen muchos beneficios, pero también muchas preguntas

---

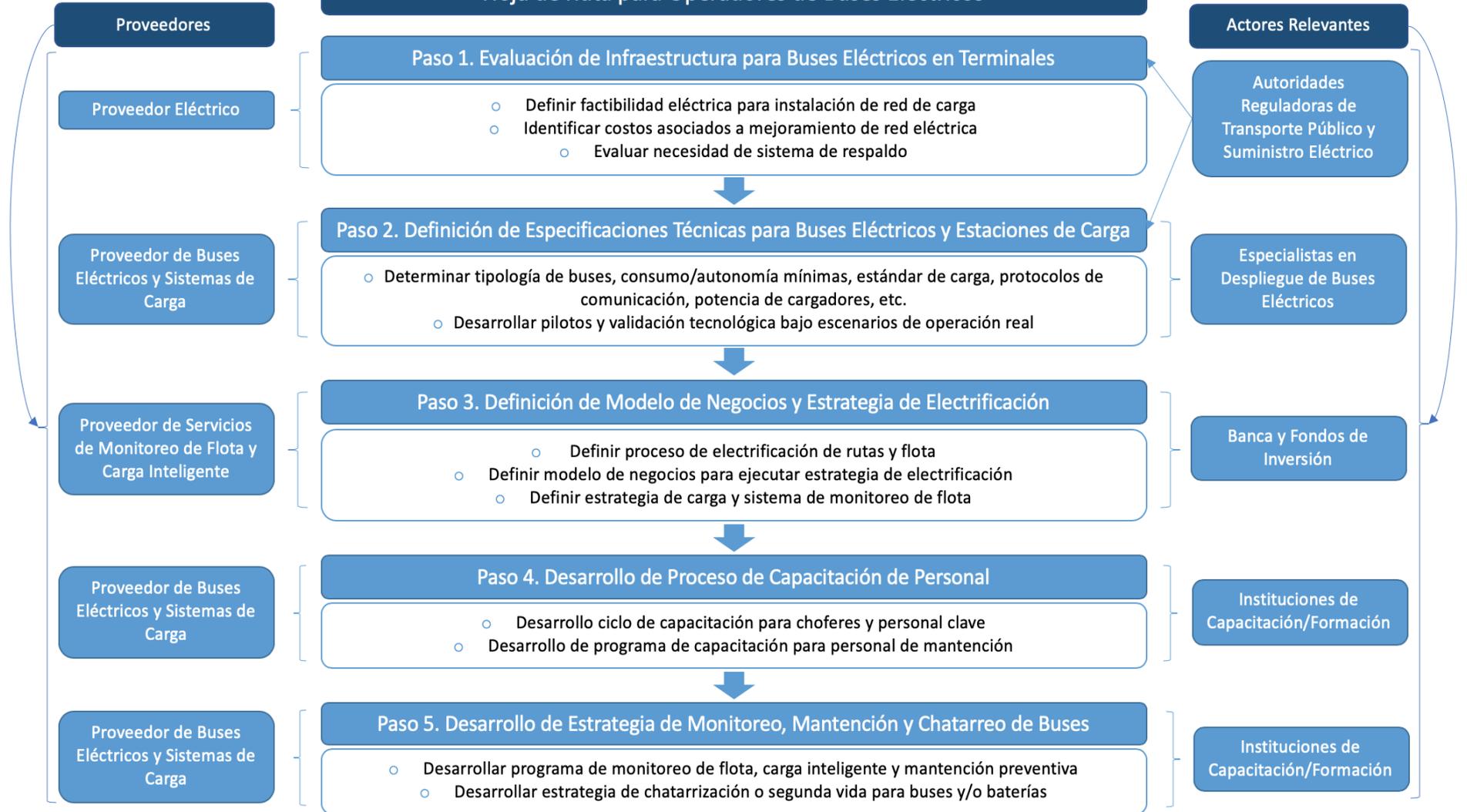
- ¿Cuántos proveedores de flota ofrecerán buses eléctricos como parte de su oferta de mercado?
- ¿Cuánto permitirán las licitaciones/compras cumplir las metas de electromovilidad que tiene el país?
- ¿Qué pasará con las baterías cuando fallen o tengan un deterioro significativo?
- ¿Qué mecanismos utilizará la entidad reguladora de transporte público para obtener datos sobre el estado de salud de las baterías, su deterioro y reducir las asimetrías de información entre operadores y proveedores?
- ¿Cuándo se comprará el último bus convencional (diésel) para el sistema de transporte público?
- ¿Qué pasará con las baterías de los buses urbanos una vez que cumplan su ciclo de vida útil?
- ¿Qué sistema de recarga y protocolo será adoptado para asegurar la interoperabilidad de distintos vehículos/buses eléctricos?

# Operaciones con buses eléctricos tienen múltiples beneficios, pero requieren de un ambiente habilitante y una planificación apropiada

---

- Los buses eléctricos tienen múltiples beneficios ambientales a tener cero emisiones de combustión y una reducción importante en el consumo de energía por km de operación
- En el caso de muchos países de la región permite también dar un salto sin tener que seguir invirtiendo en tecnología convencional y sus combustibles
- Igualmente, los costos de operación y mantenimiento de operaciones de buses eléctricos han mostrado ser competitivas
- En el caso de Santiago, por ejemplo, hemos visto que los costos de operación de los buses eléctricos rondan los \$0.10 USD/km vs \$0.86 USD/km para buses Euro VI. Similar al ahorro que se obtiene por los costos de mantención menores.
- Sin embargo, los consumos de energía pueden ser altos y requieren una larga planificación
- En muchos casos también, el despliegue de buses ha sido más rápido que el ambiente regulatorio.

# Hoja de Ruta para Operadores de Buses Eléctricos



# Gracias!

## Sebastián Galarza

Líder Área de Transporte y Energía

[sgalarza@cmmolina.cl](mailto:sgalarza@cmmolina.cl)

[www.cmmolina.cl](http://www.cmmolina.cl)

[www.moveLATAM.org](http://www.moveLATAM.org)