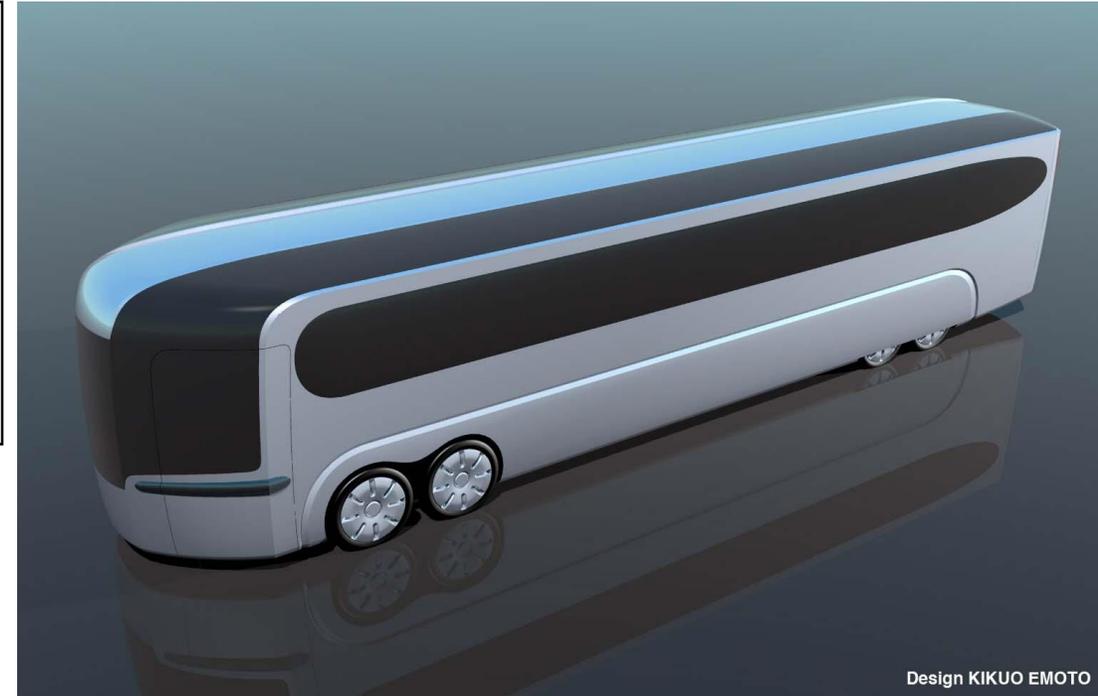




# "Aspectos a considerar en la tecnología de Buses Eléctricos"



Design KIKUO EMOTO

Jaime Alée – Universidad de Chile  
[jalee@ing.uchile.cl](mailto:jalee@ing.uchile.cl)

Agosto, 2017

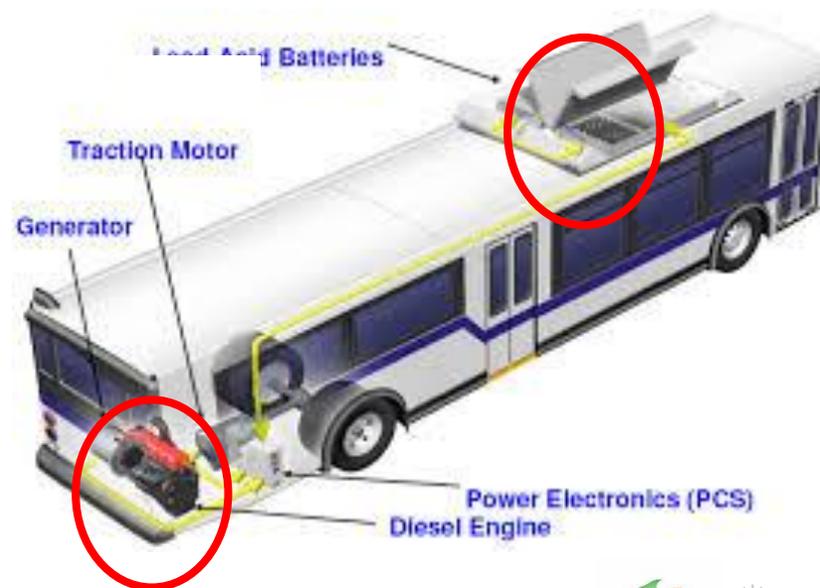
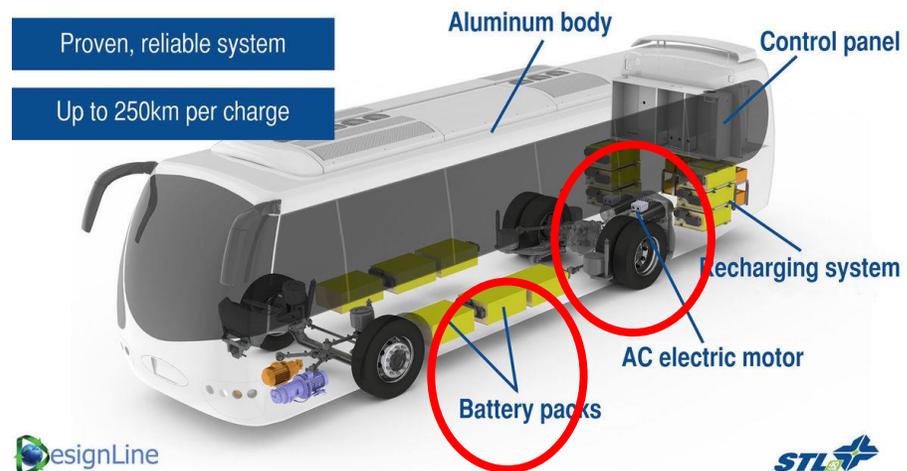
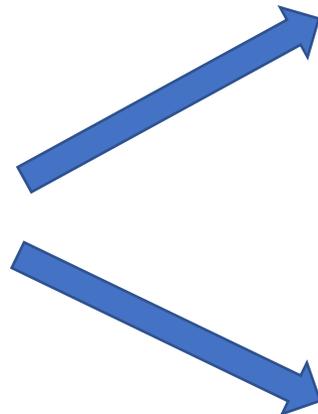
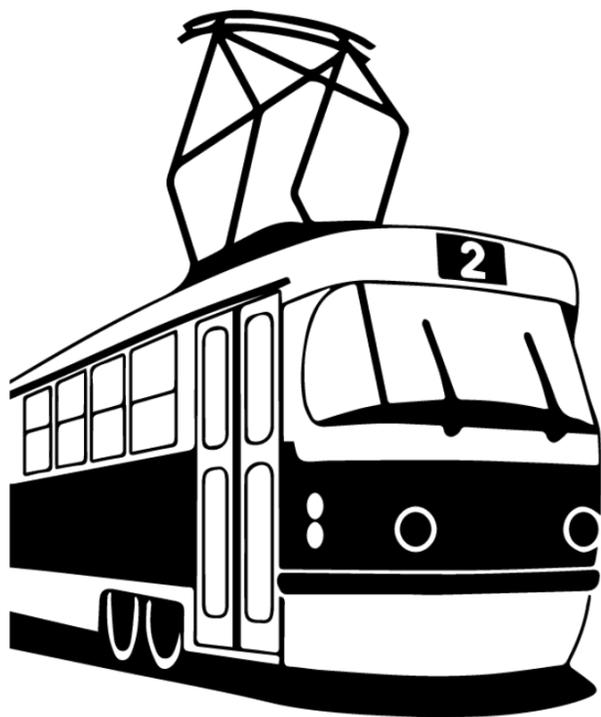
[www.centroenergía.cl](http://www.centroenergía.cl)

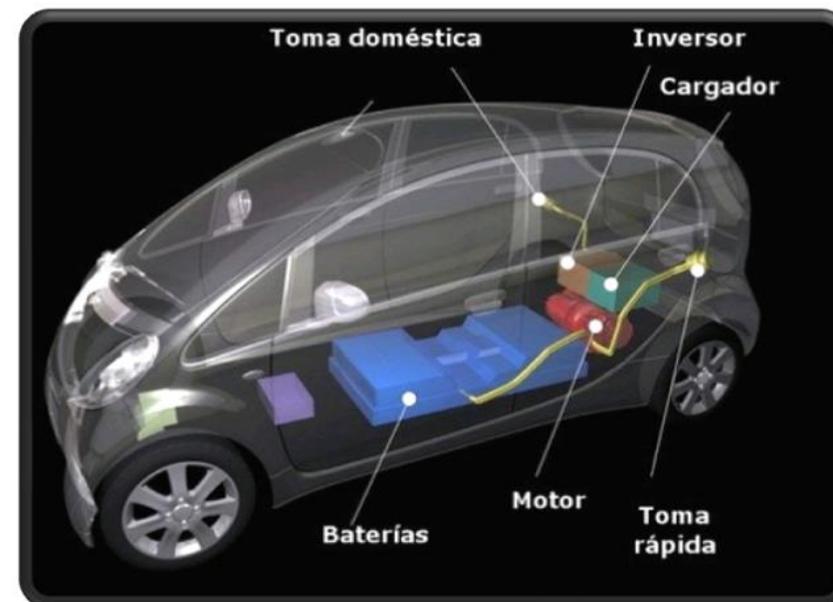
Conversión de Energía, Almacenamiento y Electromovilidad



# Aspectos a considerar en la tecnología de Buses Eléctricos

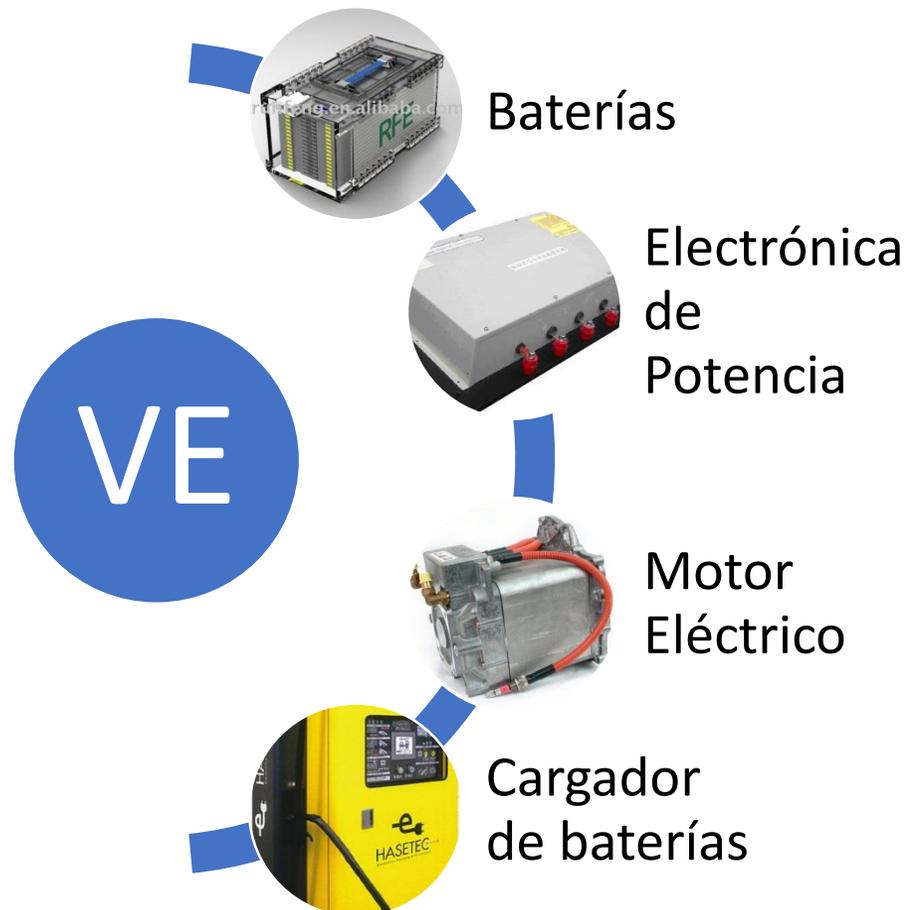
## EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE ELÉCTRICO







# ¿CÓMPONENTES DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS?





Compensación de tamaño y costo de batería (rango) versus dependencia de instalaciones de cargadores en la ruta





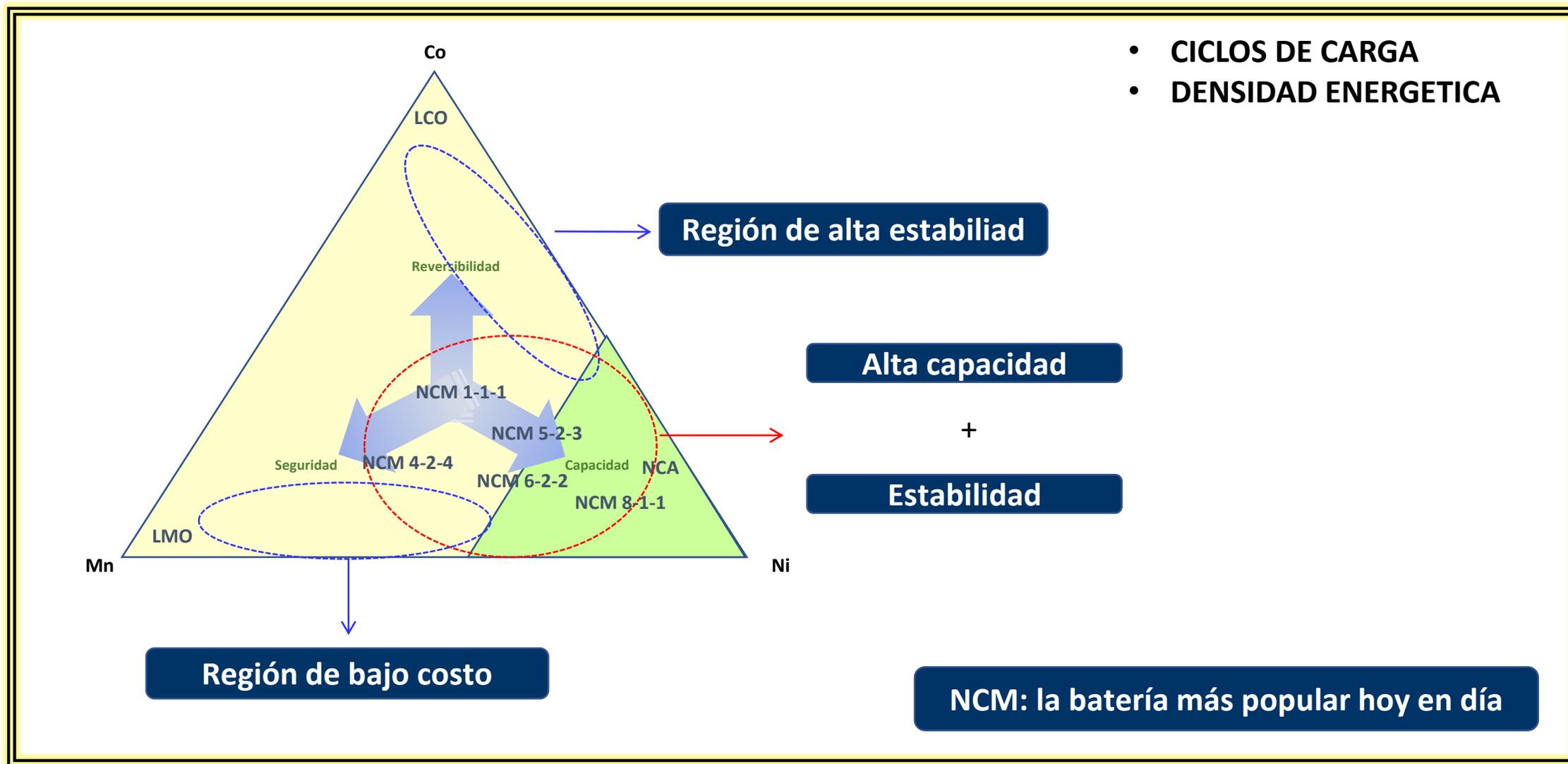
### BUS ELECTRICO

CONSUMO ENERGETICO DE ELECTRICIDAD  
**UNA SEMANA EQUIVALENTE AL CONSUMO  
ELECTRICO DE UNA CASA EN UN AÑO.**

**HAY QUE ALMACENAR EN LA BATERIA DEL BUS PARA UN DIA DE OPERACIÓN EL  
EQUIVALENTE AL CONSUMO DE CASI DOS MESES DE UNA CASA**

**COMO HACER UNA BATERIA DE ESAS CARACTERISTICAS QUE SEA ECONOMICA, QUE SEA  
LIVIANA, QUE SEA SEGURA, QUE SE CARGUE EN POCOS MINUTOS ..?**

***¡¡EQUIVALE A MAS DE 20 MIL NOTEBOOKS!!***



Evolución tecnológica



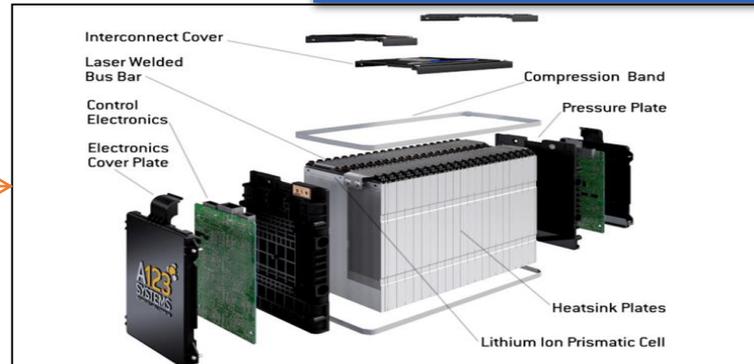
# Aspectos a considerar en la tecnología de Buses Eléctricos

## EL PACK O BATERÍA DE UN BUS ELÉCTRICO

### CELDAS



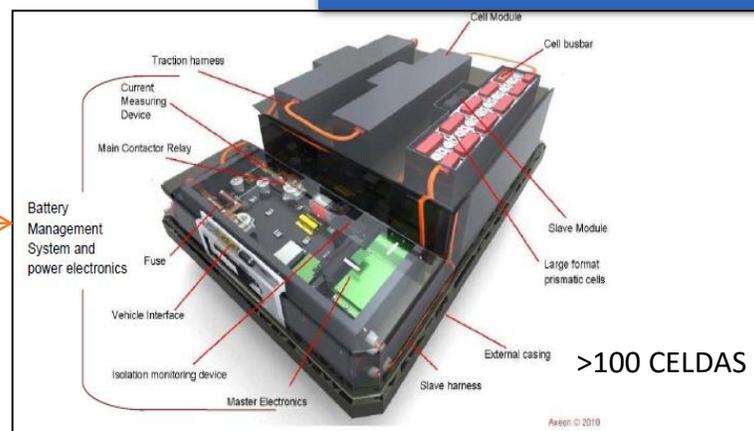
### MODULO



### EMPAQUETAMIENTO



### PACK



Evolución tecnológica



	Vida Calendario	Ciclo de Vida
Impacto de la Temperatura	Altas temperaturas disminuyen la vida	
Impacto SOC / DOD	Voltaje / SOC Un voltaje más bajo es mejor para la vida de la batería. Las celdas no se almacenan a SOC completo antes de ser ensambladas en un paquete de baterías	DOD La vida de ciclo tiene una relación fuerte con la profundidad de descarga: cuanto más bajo es el DOD, más larga es la vida de ciclo.
USABC / metas DoE	15 años PHEV 10 años BEV	1000 a 80% DOD, 1600 a 50% DOD, 2670 a 30% DOD

### Complejidades de la batería



La adquisición de una flota de buses eléctricos no es sólo una decisión de compra de buses , sino que la opción por una tecnología muy distinta a lo tradicional , la cual es emergente con muchas posibilidades de evolución.

**El cambio tecnológico  
es muy relevante y  
no debe tomarse a la  
ligera..**





## FACTORES A CONSIDERAR

	<b>RIESGO/FACTOR</b>	<b>EFFECTOS POTENCIALES</b>	<b>MITIGACIÓN(*)</b>
<b>Sobre tecnología</b>	<b>RIESGO DE EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA ACELERADA</b>	<b>Obsolescencia, soporte, depreciación acelerada</b>	<b>Contrato de evolución tecnológica</b>
<b>Sobre Proveedor</b>	<b>RIESGO DE PRODUCCIÓN O FINANCIERO</b>	<b>Plazos, soporte, M&amp;A, quiebra</b>	<b>Contrato de protección empresarial innovación temprana</b>
<b>Sobre Capex &amp; Opex</b>	<b>RIESGO DE RENTABILIDAD DE LA OPERACIÓN</b>	<b>Error en la evaluación por desconocimiento sutilezas tecnologías emergentes</b>	<b>Evaluación técnica y pruebas rigurosas</b>
<b>Sobre Soporte post venta</b>	<b>RIESGO DE INCAPACIDAD DE CUMPLIR CONTRATO DE CONCESION</b>	<b>Incapacidad de proveer servicio necesario y a tiempo</b>	<b>Contrato de riesgo compartido tecnología emergente</b>
<b>Sobre modalidad de transferencia</b>	<b>RIESGO DE ATADURA VS MINIMIZAR RIESGOS</b>	<b>Modalidad elegida puede comprometer futuro impredecible</b>	<b>Evaluación rigurosa de escenarios técnico-económicos</b>

(\*) la terminología es propia y representa un tipo de acción representativa de mitigación.



## FACTORES A CONSIDERAR

<b>TECNOLOGÍA</b>	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
<b>PROVEEDOR</b>	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
<b>CAPEX Y OPEX</b>	Precio total de la Unidad
	Costo de Mantenimiento y Garantías
<b>SOPORTE POST VENTA</b>	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
<b>MODALIDAD DE TRANSFERENCIA</b>	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)



## FACTORES A CONSIDERAR

<b>TECNOLOGÍA</b>	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
<b>PROVEEDOR</b>	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
<b>CAPEX Y OPEX</b>	Precio total de la Unidad
	Costo de Mantenimiento y Garantías
<b>SOPORTE POST VENTA</b>	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
<b>MODALIDAD DE TRANSFERENCIA</b>	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)



En un bus eléctrico, es necesario analizar el diseño técnico y la tecnología de baterías ofrecida para entender si existe riesgo de obsolescencia acelerada

- Arquitectura de la celda y química empleada
- Modularidad y acceso a servicios a la batería
- Localización del motos o motores
- Sistemas de control y automatización
- Certificación y estandarización del proveedor de celdas
- Soporte de capacitación y transferencia tecnológica
- Manuales y personal de soporte técnico disponible
- Tipo de necesidad de carga y propiedad de protocolos
- Necesidades especiales de instalaciones de carga



En un bus eléctrico, sin normas estándares a nivel mundial, hay versiones para Europa, para EEUU, para países del tercer mundo, etc

- Certificaciones en los grandes mercados (japon, Usa, Europa)
- Certificación de batería y proveedor



**TESLA P100D 2017**  
**Batería 100 kWh**  
**CICLO DE HOMOLOGACION**



Europa (NEDC)	EEUU (EPA)
613 kms de autonomía	503 kms de autonomía



En un bus eléctrico, es prácticamente seguro que sus versiones de baterías, de inteligencia computacional y de diseño cambiarán varias veces en los próximos 10 años. Todas ellas mejorarán la performance del vehículo.

Ello implica obsolescencia tecnológica, soporte incierto y eventual desvalorización acelerada.

- Garantía de upgrade de partes claves
- Devaluación asegurada
- Opción de re-compra
- Precio especial de renovación
- Riesgo compartido
- Seguro de soporte por X años



**NISSAN LEAF 2012**



**NISSAN LEAF 2018**

AÑO	2012	2016	2018
AUTONOMIA	130 kms	200 kms	420 kms
BATERÍA	24 KWh	30 KWh	80KWh
PRECIO US\$	32-34	32-34	32-36
NOVEDAD			autónomo

### Todo por la Ciencia C13 2012



<https://youtu.be/wt0Nq-72DcQ>



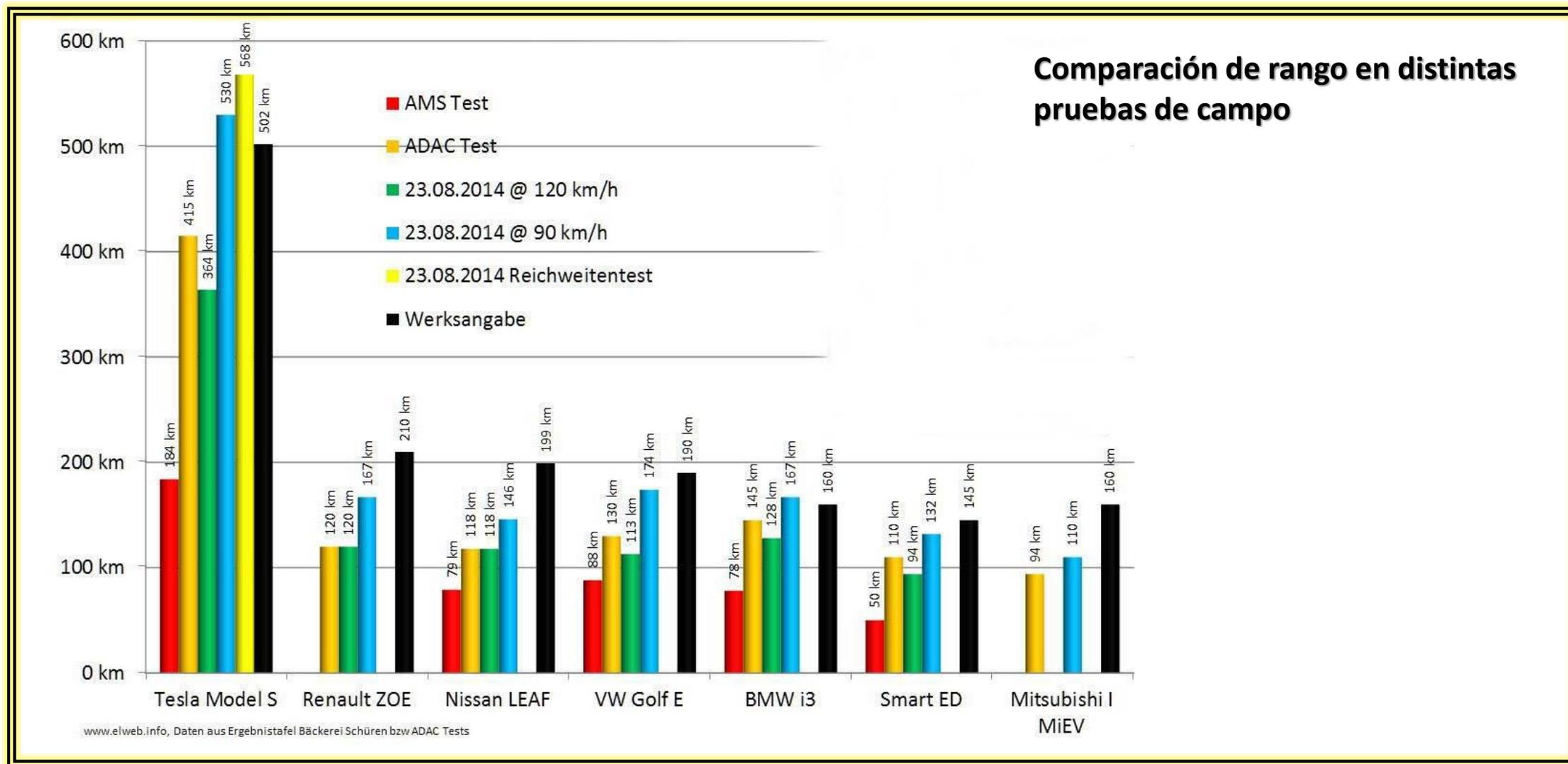
Hay que desarrollar un protocolo de inspección y pruebas en fábrica para la primera unidad a fin de verificar cumplimiento de especificaciones

- Diseño de protocolo
- Generar equipo de inspección y pruebas
- On the job training
- Especificar condiciones de aceptación
- Fechas y procesos de pruebas



Condiciones propias de Santiago (alto desnivel) requiere algunas mejoras en las baterías (W-E) so riesgo de sobredimensión o rápido deterioro

- Especificaciones especiales
- Modelamiento
- Sensores especiales
- Supervisión on line





- **MODO DE CONDUCCIÓN**  
30% del consumo energético

- Efectividad del conductor al usar la inercia del vehículo
- Pericia en el uso del freno regenerativo
- Tacto del acelerador

- **CLIMA**

- Gradiente térmico entre Temperatura exterior y de confort interna

- **OROGRAFÍA**

- Cuanto mayor sea el desnivel en el recorrido, y a mayor porcentaje de pendiente, el consumo energético será mayor.



Las baterías son elementos delicados que pueden ser peligrosos ante choques o siniestros por desorden público, igualmente el sistema eléctrico debe ser protegido para trabajo de mantención

- Análisis de seguridad
- Certificaciones estándares y rigor/calidad de las mismas
- Entrenamiento ante accidentes
- Calidad de manuales y protecciones



### Real World Accidents



October 4, 2012  
**Model S Fire**  
 By Dan Mark, Chairman, Product Analyst & CEO  
 (with comments - Model S)  
 11 Comments

Earlier this week, a Model S traveling at highway speed struck a large metal object, causing significant damage to the vehicle. A curved section that fell off a semi-trailer was recovered from the roadway near where the accident occurred and, according to the road crew that was on the scene, appears to be the culprit. The geometry of the object caused a powerful four-wheel drive jack to slide under the car, pushing upward and ripping the Model S with a peak force on the order of 25 tons. Today a force of that magnitude would be strong enough to punch a 3' x 3' hole through the quarter inch armor plate protecting the base of the vehicle.

This Model S carrier was insufficiently able to see the highway as obstructed by the onboard blind camera. After the car hit the object and dented the vehicle without injury. After contact by the vehicle located in their front camera, the video took the car through the highway. The video shows the car being pushed up and over the highway. The video shows the car being pushed up and over the highway. The video shows the car being pushed up and over the highway.

### Another Tesla catches fire after 'significant accident' in Mexico (video)

Michael Graham Richard  
Transportation News  
October 28, 2012



Video: Renán Rodríguez



Table 2

Overview of tests in standards and regulations applicable to lithium ion batteries in automotive applications. Test level is indicated as C: Cell, M: Module, P: Pack and V: Vehicle.

Region of applicability			International					EU and further countries <sup>a</sup>	USA			Korea	India	China
Test	Section	SAE J2464 [61] (2009)	SAE J2929 [66] (2013)	ISO 12405-1 (2) [67,68] <sup>c</sup> (2012)	ISO 12405-3 [69] <sup>c</sup> (2014)	IEC 62660-2 (3) [70,71] (2011) (2016)	UN/ECE-R100.02 [62] (2013)	UL 2580 [63] (2013)	USABC [72] (1999)	FreedomCAR [65] (2005)	KMVSS 18-3 [73] (2009)	AIS-048 [74] (2009)	QC/T 743 [75] <sup>d</sup> (2006)	
Mechanical	Mechanical shock	3.1.a	C M P	C M P V	P	P	C	C M P V	C M <sup>e</sup> P	M P	M P	M		
	Drop	3.1.b	P	P				C P	P	P	P		C	
	Penetration	3.1.c	C M P						C M P	C M P		C M	C P	
	Immersion	3.1.d	M P	P		P		M P	M P	M P	P			
	Crush/crash	3.1.e	C M P	P V		P V	C	C M P V	C M P	C M P	C M P		C P	
	Rollover	3.1.f	M P	P				P	M P	M P		M		
	Vibration	3.1.g		C M P	P	P	C	C M P	C M P	C M <sup>e</sup> P	C M P	M	P	
Electrical	External short circuit	3.2.a	C M P	P	P	P	C	C M P	C M P	C M P	C M P	P	C M P	C P
	Internal short circuit	3.2.b												
	Overcharge/overdischarge	3.2.c	C M P <sup>f</sup>	P	P	P	C	C M P V	C M P	C M P	M P	P	C M P <sup>g</sup>	C P
Environmental	Thermal stability	3.3.a	C					C	C	C M P	C M P	P		C P
	Thermal shock	3.3.b	C M P	C M P	P			C	C M P	C M P	C M P			
	and cycling													
	Overheat	3.3.c	M P	P				C M P V		M P				
	Extreme cold temperature	3.3.d								C M P				
Fire	3.3.e	M P	P		P V <sup>b</sup>		C M P V	C M P	C M P	C M P	P			
Chemical	Emissions	3.4.a	C M P	P					C M P	C M P	C M P			
	Flammability	3.4.b	C M P	P					C M P	C M P	C M P			

<sup>a</sup> Norway, Russia, Ukraine, Croatia, Serbia, Belarus, Kazakhstan, Turkey, Azerbaijan, Tunisia, South Africa, Australia, New Zealand, Japan, South Korea, Thailand and Malaysia.

<sup>b</sup> Vehicle body may be included.

<sup>c</sup> Also possible at battery pack subsystem: representative portion of the battery pack (energy storage device that includes cells or cell assemblies normally connected with cell electronics, voltage class B circuit, and overcurrent shut-off device, including electrical interconnections and interfaces for external systems,

<sup>d</sup> Applicable to the LIB cell and pack whose rated voltage is 3.6 V and nx3.6 V (n: quantity of batteries), respectively.

<sup>e</sup> At the module level for those electric energy storage assemblies intended for use in applications larger than passenger vehicles. The module level testing shall be representative of the electric energy storage assembly.

<sup>f</sup> Overdischarge not at pack level.

<sup>g</sup> Overdischarge not performed.

Estándares de seguridad



## FACTORES A CONSIDERAR

TECNOLOGÍA	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
PROVEEDOR	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
CAPEX Y OPEX	Precio total de la Unidad
	Costo de Mantenimiento y Garantías
SOPORTE POST VENTA	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
MODALIDAD DE TRANSFERENCIA	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)



En un proveedor de buses eléctricos, no hay un registro o referencias de clientes suficientes, salvo proyectos pilotos o clientes cautivos del país fabricante.

- Obtención de evidencias
- Condiciones y reputación de la fábrica
- Garantías de sustentabilidad de la empresa
- Verificar fábrica y capacidad de producción
- Análisis estratégico
- Garantía del país
- Inventario en operación



## FACTORES A CONSIDERAR

TECNOLOGÍA	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
PROVEEDOR	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
<b>CAPEX Y OPEX</b>	<b>Precio total de la Unidad</b>
	<b>Costo de Mantenimiento y Garantías</b>
SOPORTE POST VENTA	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
MODALIDAD DE TRANSFERENCIA	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)



En un Bus eléctrico el precio tiene letras chicas debido a la incerteza tecnológica, la poca experiencia y a las expectativas del usuario.

- Precio básico
- Precio opcionales
- Precio puesta en servicio (training, capacitación, etc)
- Precio batería según rango
- Precio instrumentación y elementos ad-hoc
- Precio repuestos elementos claves
- Precio instalación de sistema(s) de carga



En un Bus eléctrico el principal problema es la falla/reparación del sistema de baterías (alto porcentaje del costo del bus) , sus sistemas computacionales (necesidades expertas) e instrumentos de taller además de la rápida obsolescencia tecnológica

- Garantía de la Batería y condiciones
- Opción de reposición de partes y piezas de la batería
- Opciones locales de reposición
- Costo de repuestos de rápido acceso
- Costo de personal y equipamiento local operador
- Costo de instrumental
- Entrenamiento y personal
- Acceso a planos y manuales



## Garantía de baterías

- El Rango de uso de la batería es un 80% o menos (ventana de uso): 10%-90%
- La batería tiene un límite de ciclos de vida (cargas completas) antes que se esté bajo el límite superior . Bajo éste nivel, la batería se considera inútil para el uso en el vehículo
- Los rangos pueden llegar a ser 3000 ciclos o mas en un bus (3.000 cargas)



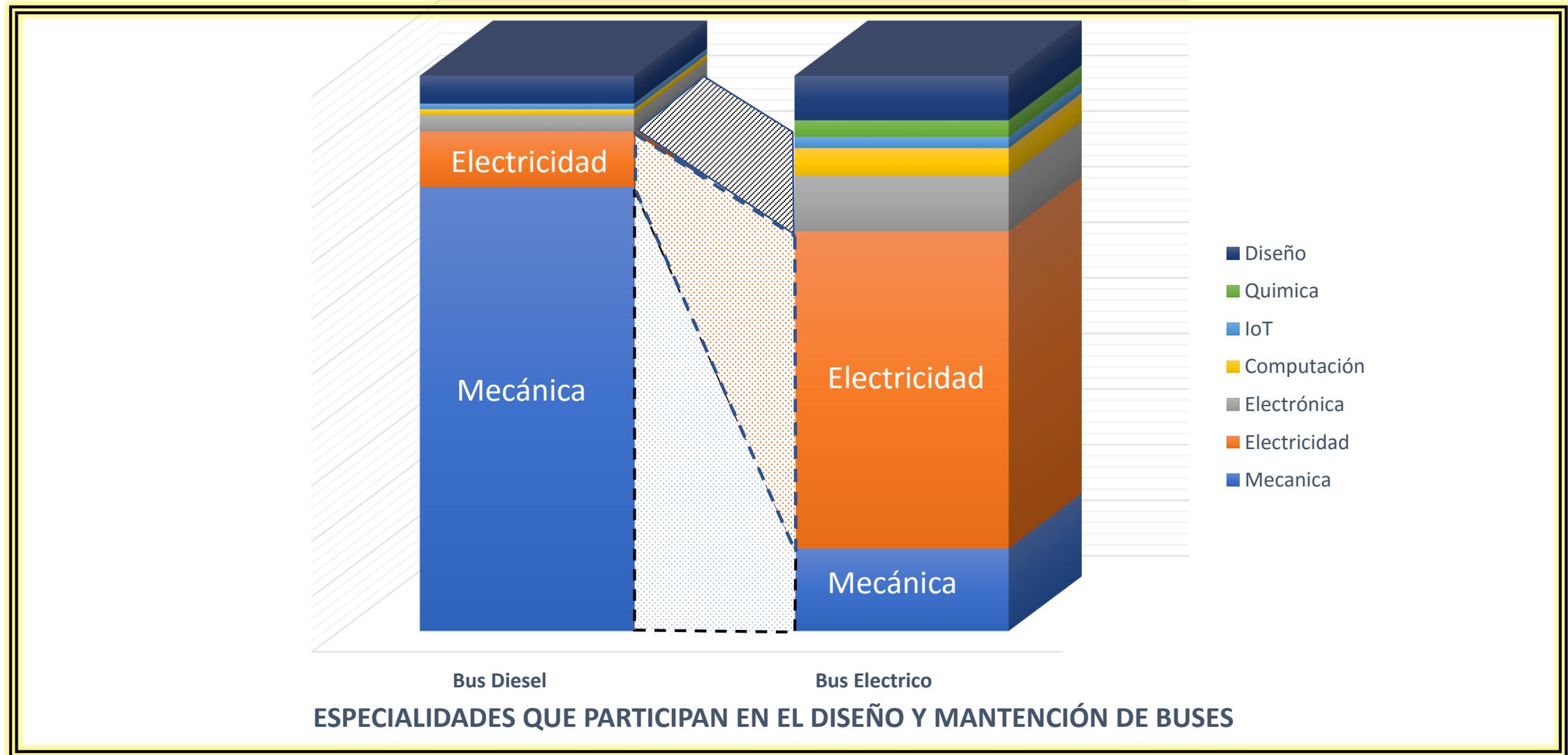
**Las Garantías tienen letras chicas, normalmente se expresan en Kms y/ tiempo:**

- Garantizan la caída de rango por desgaste en el tiempo más allá de un limite (p.ej si el rango cae más de un 40% en el periodo)
- Limitan el tiempo sin cargar a un máximo de meses.
- Uso en climas fríos desgasta más la batería
- Normalmente están asociadas a un rango inferior al máximo (Garantizan un rango en kms inferior al nominal)



## FACTORES A CONSIDERAR

<b>TECNOLOGÍA</b>	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
<b>PROVEEDOR</b>	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
<b>CAPEX Y OPEX</b>	Precio total de la Unidad
	Costo de Mantenimiento y Garantías
<b>SOPORTE POST VENTA</b>	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
<b>MODALIDAD DE TRANSFERENCIA</b>	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)





- **ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA**

- BATERÍAS
- ELECTRÓNICA DE POTENCIA
- MICRO-REDES Y DISTRIBUCIÓN ELECTRICA
- CARGADORES ELECTRICOS
- MOTORES ELECTRICOS
- SENSORES

- **TECNOLOGIAS DE INFORMACIÓN**

- SISTEMAS COMPUTACIONALES AUTOMOTRICES
- SOFTWARE
- SISTEMAS DE MODELAMIENTO
- ANALISIS DE DATOS

- **MECÁNICA**

- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE SUSPENSION, FRENOS, ETC
- CHASIS Y DIRECCIÓN



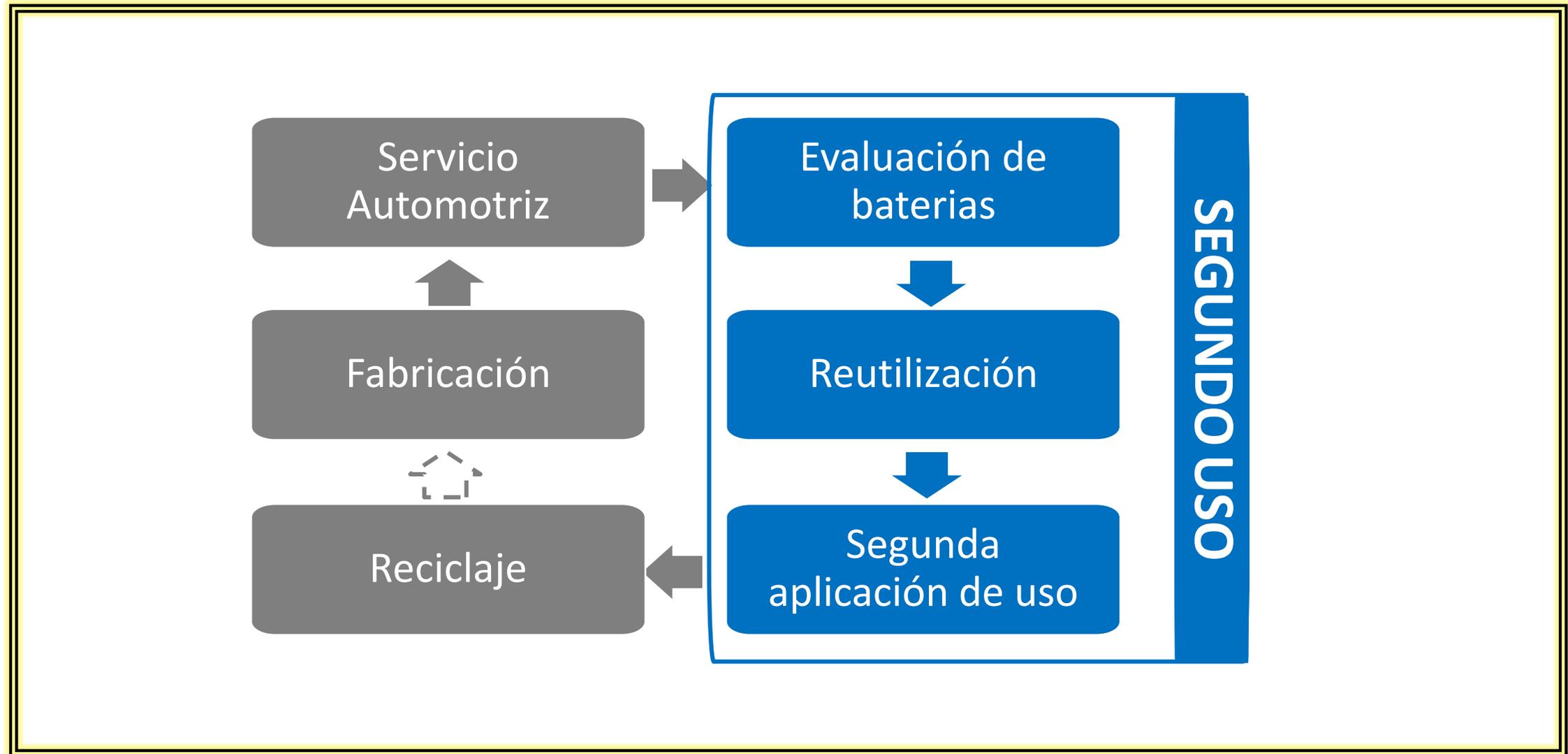
## FACTORES A CONSIDERAR

<b>TECNOLOGÍA</b>	Tecnología ofrecida
	Homologación tecnológica
	Actualización tecnológica
	Pruebas de aceptación en Fábrica
	Personalización
	Seguridad
<b>PROVEEDOR</b>	Experiencia y reputación del Proveedor
	Capacidad de producción y entrega
	Capacidad Financiera
<b>CAPEX Y OPEX</b>	Precio total de la Unidad
	Costo de Mantenimiento y Garantías
<b>SOPORTE POST VENTA</b>	Pruebas de aceptación locales
	Servicios Locales o Regionales
	Instalaciones de mantenimiento regionales
	Entrenamiento local
	Estandarización de mejoras
<b>MODALIDAD DE TRANSFERENCIA</b>	Segundo uso baterías
	Financiamiento o arriendo o leasing (total/parcial)



Es posible transferir riesgos si el operador arrienda el bus con todo el soporte incluido. Otra opción es arrendar la batería y comprar el resto del bus. Todo ello tiene ventajas y desventajas

- Costo del financiamiento
- Condiciones en cada caso
- Costos de mantención serán aumentados
- Cliente cautivo
- Análisis estratégico
- Indicadores de calidad back to back
- Buses de respaldo





Two-wheelers, three-wheelers and non-air-conditioned city buses made by [automobile companies](#) in India will be sold without batteries as part of the plan, thus slashing prices by as much as 70%. The batteries will be leased at a specified cost and can be swiftly swapped with recharged ones at stations, he said. "The private vehicles will be the last lap of the scheme. We expect the programme to start scaling in three years. The programme is in the final stages of drafting," the official said.

**Plug And Play**

**India plans to shift** to all-electric vehicle fleet by 2030

**Tax breaks for manufacturers of e-vehicles**

**Vehicles to be sold without battery;** Discharged battery can be swapped for a recharged one

**Specific plans for e-rickshaws, electric two-wheelers, buses, commercial vehicles and cars** in final stages

**Charging stations** proposed for private cars and taxis

**Aggregators to play key role in transition of public transport to e-vehicles**

"It will take just two-and-half minutes to replace auto batteries and can be done in 10 minutes when city buses rest after about a 30-km trip. The model, however, will not work for AC cars and AC buses," the government official said.

THE ECONOMIC TIMES

Policy

Aug 28, 2017, 04.15 AM IST



La adquisición de una flota de buses eléctricos no es sólo una decisión de compra de buses , sino que la opción por una tecnología muy distinta a lo tradicional , la cual es emergente con muchas posibilidades de evolución.

**El cambio tecnológico  
es muy relevante y  
no debe tomarse a la  
ligera..**





Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

**DTP**

Directorio de Transporte Público Metropolitano



Gobierno de Chile

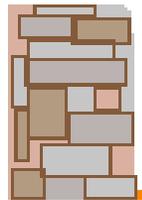


Transantiago  
**Se Renueva**

Licitaciones para un mejor Transporte Público

# SEMINARIO **ELECTROMOVILIDAD EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SANTIAGO**

... GRACIAS



Jaime Alée – Universidad de Chile  
[jalee@ing.uchile.cl](mailto:jalee@ing.uchile.cl)

Agosto, 2017  
[www.centroenergía.cl](http://www.centroenergía.cl)  
Conversión de Energía, Almacenamiento y Electromovilidad



**fcfm**

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE