

**ESTRATÈGIA PER A LA DEFINICIÓ, DESENVOLUPAMENT I  
EXPLOTACIÓ DE LA INFRAESTRUCTURA ELÈCTRICA PER A XARXES  
D'AUTOBUSOS DE LA RMB**

Juliol 2019



EVIM3 MOBILITY SERVICES A.I.E

NIF: V-66788704  
Calle de Milán 34, planta 1  
28034 Madrid

Tel. 91 388769  
e-mail [info@evecetra.es](mailto:info@evecetra.es)

## Índex

<b>1</b>	<b>Introducció.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Objectius i metodologia .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Estat de l'Art.....</b>	<b>11</b>
3.1	Avantatges de la mobilitat elèctrica.....	11
3.1.1	Altres aspectes a considerar a la mobilitat elèctrica.....	11
3.2	Xarxa d'autobusos de la TMB.....	14
3.2.1	Xarxes en l'àmbit de la ciutat de Barcelona .....	14
3.2.2	Xarxa en l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.....	15
3.2.3	Xarxes a la resta de la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB) .....	16
3.3	Situació actual en el mercat internacional.....	16
3.3.1	Situació actual i estratègia de la mobilitat elèctrica a Europa:.....	17
3.4	Benchmarking .....	20
3.4.1	Infraestructura de Recàrrega.....	20
3.4.2	Vehicles.....	23
3.4.3	Casos d'estudi d'operació .....	33
3.4.4	Models de finançament .....	38
3.4.5	Projectes europeus: .....	39
3.5	Marc Normatiu .....	44
<b>4</b>	<b>Tecnologia de Recàrrega .....</b>	<b>46</b>
4.1	Recàrrega amb pantògraf .....	46
4.1.1	Estructura física pantògraf .....	47
4.1.2	Pantògraf càrrega ràpida.....	48
4.1.3	Pantògraf càrrega lenta.....	49
4.1.4	Càrrega mixta.....	51
4.2	Recàrrega cablejada .....	52
4.2.1	Carregador intel·ligents .....	53
4.3	Recàrrega per Inducció.....	56
4.4	Vehicles elèctrics .....	58
4.4.1	Benchmarking fabricant autobusos elèctrics .....	58
4.4.2	Autobusos > 18m .....	58
4.4.3	Autobusos 18m .....	59
4.4.4	Autobusos 12m .....	61
4.4.5	Autobusos Midi.....	66
4.4.6	Autobusos Micro.....	69

4.4.7	Altres .....	69
4.5	Altres tipologies de vehicles.....	70
4.5.1	Vehicles híbrids elèctrics .....	70
4.5.2	Vehicles de pila de combustible .....	71
4.5.3	Trolleybus.....	72
4.6	Interfície infraestructura vehicle .....	74
4.6.1	Recàrrega cablejada .....	74
4.6.2	Recàrrega pantògraf .....	74
4.6.3	Recàrrega inductiva .....	75
4.7	Modes d'operació.....	76
4.7.1	Autobús elèctric càrrega Overnight .....	76
4.7.2	Autobús elèctric amb càrrega d'Oportunitat. Pantògraf.....	78
4.8	Explotació i Optimització .....	81
4.8.1	Models d'explotació .....	81
4.8.2	Criteris d'optimització .....	84
<b>5</b>	<b>Condicions de contorn .....</b>	<b>85</b>
5.1	Serveis de línies d'autobús .....	85
5.2	Infraestructura elèctrica existent en el territori .....	88
5.2.1	Infraestructura de recàrrega existent a la RMB.....	88
5.2.2	Xarxa elèctrica de tracció dels operadors ferroviaris.....	89
5.2.3	Xarxa elèctrica existent a la SIMMB.....	93
5.3	Diagnosi de la infraestructura elèctrica .....	96
5.3.1	Demanda energètica .....	96
5.3.2	Disponibilitat energètica .....	107
<b>6</b>	<b>Definició d'escenaris .....</b>	<b>111</b>
6.1	Consideracions per l'estratègia global .....	111
6.1.1	Metodologia de l'Impacte econòmic: Anàlisi cost-benefici.....	111
6.1.2	Metodologia de l'Impacte Ambiental.....	116
6.2	Estratègia a curt-mig termini: Escenaris 2021-2030 (PDM/PDI) .....	120
6.2.1	Introducció.....	120
6.2.2	Fases de l'estratègia 2021-2030 .....	120
6.3	Estratègia a llarg termini: Escenari >2030 .....	133
<b>7</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>134</b>

## Índex de Taules

<b>Taula 1 Comparativa de les estratègies de recàrrega existents. Font: Pròpia a partir de l'informe Electric Buses in Cities (Bloomberg, 2018)</b> .....	23
Taula 2 Principals models d'autobusos elèctrics, les característiques del vehicle i de les bateries utilitzades, així com les ciutats/operadors exemples d'aplicació.....	32
Taula 3 Principals casos d'estudi d'operació detectats.....	34
Taula 4.- Pressupost econòmic instal·lació d'unt pantògraf estàndard de 300 kW de potència.....	48
Taula 5.- Pressupost econòmic instal·lació d'un pantògraf invertit de 300 kW de potència.....	48
Taula 6.-Cost fabricant 1 - instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres.....	50
Taula 7.-Cost fabricant 2 - instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres.....	50
Taula 8.-Cost fabricant 3 – instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres.....	51
Taula 9.- Valoració econòmica instal·lació punt de recàrrega a cotxeres.....	51
Taula 10.-Pressupost per subministrament de potencia en la instal·lació de les cotxeres de la planta baixa del Triangle.....	55
Taula 11.-Models d'autobusos en funció del fabricant.....	58
Taula 12.-Especificacions Autobús VDL SLFA-187.....	58
Taula 13.-Especificacions Autobús VDL SLFA-180.....	59
Taula 14.-Especificacions Autobús BYD 18m.....	59
Taula 15.-Especificacions Autobús Irizar 18m.....	60
Taula 16.-Especificacions Autobús New Flyer 18m.....	60
Taula 17.-Especificacions Autobús Solaris Urbino 18m.....	61
Taula 18.-Especificacions Autobús Solaris VDL SLF-120 18m.....	61
Taula 19.-Especificacions Autobús Solaris BYD 12m.....	62
Taula 20.-Especificacions Autobús Solaris Irizar 12m.....	62
Taula 21.-Especificacions Autobús New flyer 12m.....	63
Taula 22.-Especificacions Autobús Volvo 12m.....	63
Taula 23.-Especificacions Autobús Solaris Urbino 12m.....	64
Taula 24.-Especificacions Autobús BlueBus 12m.....	64
Taula 25.-Especificacions Autobús Skoda 12m.....	65
Taula 26.-Especificacions Autobús Skoda Fast-Charge 12m.....	65
Taula 27.-Especificacions Autobús VDL SLF-120.....	66
Taula 28.-Especificacions Autobús BYD midi.....	66
Taula 29.-Especificacions Autobús Irizar 10m.....	67
Taula 30.-Especificacions Autobús New flyer 10m.....	67
Taula 31.-Especificacions Autobús Solaris Urbino midi.....	68
Taula 32.-Especificacions Autobús BYD micro.....	69
Taula 33.-Especificacions Autobús BlueBus 6m.....	69
Taula 34.-Benchmarking de diversos autobusos de cel·la de combustible a Europa.....	72
Taula 35.-Autonomia autobús elèctric en funció capacitat bateria i consum. Considerant rang operació bateria i estat inicial bateria.....	76
Taula 36.- Autonomia autobús elèctric en funció capacitat bateria i consum. Considerat rang operació bateria i estat final de la seva útil.....	77
Taula 37.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 2 kWh/km.....	79
Taula 38.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 2,5 kWh/km.....	79
Taula 39.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 3,0 kWh/km.....	79
Taula 40.- Taula resum de les jurisdiccions en la opció 1.....	82
Taula 41.-Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 2.....	82
Taula 42.- Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 3.....	83
Taula 43.- Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 4.....	83
Taula 44.- Llistat Subestacions TMB Metro.....	90
Taula 45.- Potències contractades Tram.....	93

Taula 46.- Subestacions elèctriques de la xarxa ICAEN amb potencial d'atendre nou subministrament no pertorbador. Font: ICAEN .....	94
Taula 22 Costos de recàrrega associats a cada un de les tipologies .....	112
Taula 23 Hipòtesis de càlcul associades a cada un de les tipologies .....	112
Taula 24 Hipòtesis de càlcul associat al cost del vehicle .....	113
Taula 25 Hipòtesis de càlcul de número de busos necessaris per cada un de les tipologies .....	113
Taula 26 Valors de cost de manteniment de la infraestructura anual segons tecnologia .....	114
Taula 27 Valors de cost de manteniment del vehicle en funció km segons tecnologia .....	114
Taula 28 Línies amb major potencial de ser electrificades .....	121
Taula 29 Línies electrificables de la primera fase sobre la segona fase .....	123
Taula 30 Resultats del VAN i TIR dels dos escenaris calculats per cada un dels sistemes analitzats. ....	123
Taula 31 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema TMB – escenari 1 .....	124
Taula 32 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema TMB – escenari 2 .....	125
Taula 33 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema AMB menys TMB - escenari 1 .....	126
Taula 34 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema AMB menys TMB - escenari 2 .....	127
Taula 35 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema SIMMB menys AMB - escenari 1 .....	128
Taula 36 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema SIMMB menys AMB escenari 2 .....	129
Taula 37 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema GLOBAL - escenari 1 .....	130
Taula 38 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema GLOBAL - escenari 2 .....	131

## Índex de Figures

Figura 3.1 La futura mobilitat motoritzada .....	12
Figura 3.2 Plànol actual de la xarxa d'autobusos a l'àmbit ciutat de Barcelona .....	14
Figura 3.3 Característiques de les línies d'autobusos de l'AMB .....	15
Figura 3.4 Plànol actual de la xarxa d'autobusos a l'àmbit AMB .....	15
Figura 3.5 Característiques de les línies d'autobusos de l'RMB .....	16
Figura 3.6 Plànol de l'àmbit RMB .....	16
Figura 3.7 Flota d'autobusos elèctrics a Europa, 2017. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities .....	18
Figura 3.8: Tecnologies de mobilitat elèctrica d'autobusos a Europa 2017. Font: ZeEUS eBus Report #2 ....	18
Figura 3.9 Evolució del mercat d'autobusos europeu. Font: ZeEUS eBus Report #2 .....	19
<b>Figura 3.10 Configuracions de recàrrega als projectes actuals d'autobusos elèctrics a Europa. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3.11 Demanda global de bateries de ions de liti i capacitat global de fabricació de bateries de ions de liti. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities .....</b>	<b>23</b>
Figura 3.12 Resultats de l'enquesta de preus de la bateria de ions de liti – mitjana pondera en volum. El preu inclou dades sobre vehicles elèctrics amb bateries, vehicles híbrids, autobusos elèctrics i emmagatzematge estacionari. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities .....	24
Figura 3.13 Evolució dels preus de les bateries de ions de liti. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities .....	24
Figura 3.14 Capacitat de les bateries al 2030 segons escenaris Global EV Outlook 2018 .....	25
Figura 3.15 La mida de la bateria i la capacitat de producció tenen grans impactes sobre el cost total de les bateries. Font: Global EV Outlook 2018 .....	26
Figura 3.16 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Paris. Font: ZeEUS eBus Report #2 .....	35
Figura 3.17 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Hamburg. Font: ZeEUS eBus Report #2 .....	36
Figura 3.18 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Budapest. Font: ZeEUS eBus Report #2 .....	37
Figura 3.19 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Turin. Font: ZeEUS eBus Report #2 .....	37
Figura 3.20 Influència del projecte ZeEUS. ....	40
Figura 3.21 Influència del projecte Elíptic. ....	41
Figura 3.22 Assured es va llençar a Barcelona el Novembre de 2017. ....	41
Figura 3.23 Socis del projecte UNPLUGGED .....	42
Figura 3.24 Esquema dels casos analitzats al projecte FABRIC. ....	43

Figura 4.1.- Pantògraf invertit a la ciutat d'Hamburg.....	46
Figura 4.2.-Estructura física d'un pantògraf .....	47
Figura 4.3.-Elements constituents d'un pantògraf invertit .....	47
Figura 4.4.-Representació esquemàtica d'autobusos recarregant en una cotxera usant pantògrafs de baixa potència .....	49
Figura 4.5.-Representació esquemàtica d'un pantògraf situat a cotxeres .....	50
Figura 4.6.- Connector Mennekes .....	52
Figura 4.7.- Connector CHAdEMO.....	52
Figura 4.8.- Connector CCS .....	52
Figura 4.9.- Interconnexió entre l'estació de recàrrega principal i per realitzar la recàrrega de l'autobús .....	53
Figura 4.10.- Simulació CAD d'una flota d'autobusos realitzant una recàrrega cablejada intel·ligent .....	53
Figura 4.11.-Recorregut línia del projecte Victoria.....	56
Figura 4.12.-Funcionament de la recàrrega inductiva dinàmica en el projecte Victoria.....	56
Figura 4.13.-Funcionament recàrrega inductiva estàtica.....	57
Figura 4.14.- Autobús amb recàrrega inductiva circulant en la línia 76 de la ETM.....	57
Figura 4.15.- Distribució dels autobusos a Europa que utilitzen la cel·la de combustible com a font d'energia .....	71
Figura 4.16.- Esquema sistema d'explotació mixte càrrega overnight i pantògraf. Font: Projecte Zeus TMB .	78
Figura 4.17.-Esquema elèctric bàsic d'un punt de recàrrega per autobús.....	81
Figura 4.18.-Esquema gràfic de l'opció 1 representatiu de les diferents jurisdiccions .....	82
Figura 4.19.- Esquema gràfic de l'opció 2 representatiu de les diferents jurisdiccions .....	82
Figura 4.20.- Esquema gràfic de l'opció 3 representatiu de les diferents jurisdiccions .....	83
Figura 4.21.- Esquema gràfic de l'opció 4 representatiu de les diferents jurisdiccions .....	83
Figura 5.1 Xarxa de bus urbans de Barcelona. Font: TMB.....	86
Figura 5.2 Soluciones eBUS.....	87
Figura 5.3 Línies interurbanes de la RMB. Font: ATM.....	87
Figura 5.4 Ubicació de les subestacions elèctriques. Font: ATM i ICAEN.....	94
Figura 5.5 Ubicació de les subestacions elèctriques amb potencial d'atendre nou subministrament no pertorbador. Font: ICAEN .....	95
Figura 5.6 Demanda energètica actual i futura dels diferents organismes públics responsables del transport d'autobusos de la RMB.....	96
Figura 5.7 Disponibilitat energètica actual i futura dels diferents organismes públics responsables. ....	97
Figura 5.8 Càlcul de les línies.....	99
Figura 5.9 Mapa cotxeres i infraestructures elèctriques .....	110
Figura 6.1 Servei de Transport Públic d'autobús a electrificar.....	111
Figura 6.2 Diferència de manteniment segons tecnologia .....	114
Figura 6.3 Costos quilomètrics del dièsel .....	114
Figura 6.4 Costos quilomètrics de l'electricitat amb tarifa 6.1.....	115
Figura 6.5 Costos quilomètrics de l'electricitat amb tarifa 6.4.....	115
Figura 6.6 Diferència de pol·lució segons tecnologia .....	116
Figura 6.7 Diferència de canvi climàtic segons tecnologia .....	116
Figura 6.8 Diferència de soroll segons tecnologia .....	116
Figura 6.9 Esquema de cicle de vida entre un vehicle dièsel o gasolina en front un vehicle elèctric a Bèlgica, però aplicable en el nostre cas d'estudi.....	117
Figura 6.10 Impactes canvi climàtic: exemple comparació de vehicles elèctrics amb vehicles de combustió. Font: Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA.....	117
Figura 6.11 Principals matèries primes utilitzades en els vehicles elèctrics. Font: Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA. ....	119
Figura 6.12 Tipologia de càrrega segons sistema de transport analitzat.....	120
Figura 6.13 Escenari 1.....	121
Figura 6.14 Escenari 2.....	121

---

Figura 6.15 Hipòtesis de consum. Font: Electric Buses in Rotterdam: <a href="http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/e-Busz_Rotterdam_final_Ecomobiel-Bremen_-_Rieck_small_.pdf">http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/e-Busz_Rotterdam_final_Ecomobiel-Bremen_-_Rieck_small_.pdf</a> .....	132
Figura 6.16 Hipòtesis de quilometratge. Font: Elaboració pròpia a partir dades Transmet Xifres .....	132
Figura 6.17 Emissions produïdes en l'escenari dièsel .....	132
Figura 6.18 Emissions produïdes en l'escenari elèctric .....	132
Figura 6.19 Comparativa entre els dos escenaris. Reducció final d'impacte ambiental. ....	132

# 1 Introducció

La mobilitat – com el moviment de persones i mercaderies - és una necessitat humana fonamental i un factor clau de prosperitat econòmica i social. No obstant, el paradigma actual no és ni saludable, ni sostenible, ni eficient:









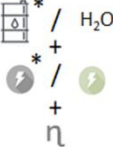

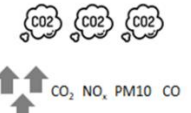
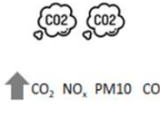








- la mobilitat causa moltes morts cada any;
- una part important de les emissions de gasos d'efecte hivernacle es relacionen amb el transport, a causa de la dependència del petroli del sector;
- la congestió suposa milions d'euros en pèrdues de temps i energia

Concretament l'Autoritat del Transport Metropolità, mitjançant els Plans Directors d'Infraestructures i els Plans Directors de Mobilitat, està treballant per millorar la qualitat de vida, garantir l'accessibilitat de la ciutadania, aconseguir una mobilitat sostenible i segura que promogui la millora de la competitivitat del teixit econòmic de la RMB i, per extensió, de Catalunya, i col·laborar en el principi de facilitar la igualtat d'oportunitats a tots els ciutadans i ciutadanes.

En aquest context és on encaixa aquesta assistència tècnica per tal d'analitzar les infraestructures elèctriques per a la xarxa d'autobusos, amb l'objectiu de definir un planejament i estratègia per les INFRAESTRUCTURES ELÈCTRIQUES en el nou paper com a element clau de la nova mobilitat sostenible del sistema integrat de transport de la Regió Metropolitana de Barcelona.

## Aposta estratègica per la tecnologia elèctrica

Tenint en compte el marc actual i futur pròxim en relació a les possibles tecnologies alternatives als combustibles tradicionals, ATM considera oportú fer una aposta estratègica per la mobilitat elèctrica. Es presenten tot seguit les avantatges i inconvenients de cada una de les alternatives estudiades, on es constata que els autobusos elèctrics són la millor opció ja que obté els costos d'exploració més baixos, juntament amb uns impactes ambientals i de salut menors.

Tipologia Bus	 DIÈSEL	 HÍBRID	 GAS NATURAL	 HIDRÒGEN	 ELÈCTRIC
Font energètica					
Contaminació					
Manteniment					

En primer lloc, pel que fa a la tecnologia actual dièsel, com a avantatges presenta una altra fiabilitat ja que és la tecnologia existent, per altra banda, el cost del vehicle més baix i finalment, no es necessària cap nova infraestructura. Per altra banda, presenta unes grans emissions de gasos efecte hivernacle que cal eliminar per aconseguir els objectius climàtics marcats per les administracions.



La primera alternativa la configuren els vehicles híbrids, que presenten un menor impacte ambiental que els convencionals, una conducció molt similar a l'actual i tampoc necessita infraestructura addicional. Per altra banda, el cost del vehicle és elevat.

Pel que fa a l'alternativa del gas natural, GNC i GNL, presenta unes avantatges econòmiques ja que el cost del combustible és més baix i també el cost del vehicle. Per altra banda, es necessiten unes infraestructures de recàrrega addicionals i continuen emetent unes altes emissions, sobretot de gasos d'efecte hivernacle. Finalment, els cotxes amb hidrogen són una de les alternatives netes que més temps porten entre nosaltres però, fins al moment, la seva aplicació real és bastant residual. És cert que es té interioritzat que l'H2 per alimentar el bus elèctric no surt a compte a causa de l'eficiència de tot el cicle des de la producció del combustible. Ara ve, actualment hi ha línies d'investigació en relació al H2 provinent d'excedents de la indústria petroquímica, de forma que només s'ha de transportar i emmagatzemar a alta pressió. Una d'aquestes línies és la que està estudiant el projecte europeu 3Emotion (Environmentally friendly Efficient Electric Motion), que pretén superar la seva implementació a nivell demostració i aconseguir el desplegament a gran escala.

Actualment l'hidrogen és molt incipient a nivell de Catalunya i Espanya. De fet, segons dades del Balanç energètic català (Idescat 2014), els residus industrials no renovables, on s'inclou fonamentalment hidrogen i d'altres gasos de procés utilitzats en el sector químic, representen un 1,7% de la producció d'energia primària. Ara ve, si que cal apuntar que l'hidrogen com a font energètica apareix en gairebé tots els plans d'Energia regionals i nacionals:

- Pla d'Energia Catalunya 2006-2015

*“Per a fer un ús massiu de l'hidrogen, cal desenvolupar més les tecnologies d'obtenció, de transport, de distribució i d'ús, especialment pel que fa a aspectes de seguretat. L'horitzó d'aplicació massiva és encara llunyà.*

*Línies noves a desenvolupar: En el marc d'aquestes línies bàsiques, algunes de les noves línies de recerca i desenvolupament a promoure seran: Aplicacions de l'hidrogen (essencialment anàlisis del seu cicle de vida i producció a partir d'energies renovables) i aplicacions eficients de l'hidrogen en piles de combustible en els sectors del transport i l'edificació.”*

- Informe del sector de l'energia, Generalitat de Catalunya 2009

*“Altres tecnologies, com la pila d'hidrogen encara es troben en fase de desenvolupament amb un cos molt elevat.”*

- Marco de acción nacional de energías alternativas en el transporte, 2016

*“Con base a lo anterior, las estimaciones preliminares elaboradas hasta la fecha consideran factible alcanzar en 2020 un parque de aproximadamente 500 vehículos FCEV y que España cuente con 20 hidrogeneras.”*

Finalment, és molt important destacar que la tecnologia elèctrica aporta un debat més enllà de la simple mobilitat, cal reflexionar per tant, en com dissenyar la infraestructura i les polítiques de recàrrega associades. Així doncs, l'estratègia que es planteja a continuació analitza la pròpia infraestructura elèctrica en primer lloc, però també té en compte el Pla de renovació de la flota, en coherència amb l'evolució del desenvolupament de la xarxa elèctrica, i finalment, analitza les possibles alternatives per aquell conjunt de línies que no entren dins el vigent pla.

## 2 Objectius i metodologia

L'objectiu d'aquest estudi és definir el planejament i l'estratègia de treball amb la que el PDI 2021-2030 ha d'afrontar la importància, el disseny, l'actualització de les xarxes existents i la redefinició de les infraestructures elèctriques en el nou paper com a element clau de la nova mobilitat sostenible a la vegada que forma part del conjunt de sistemes urbans, suburbans i regionals dintre de l'àmbit del sistema integrat de transport de la Regió Metropolitana de Barcelona.

Per altra banda, també es definiran aquelles estratègies de desenvolupament i gestió de la xarxa elèctrica de transport públic en superfície que ha d'incloure el pla director de mobilitat 2020-2025 de cara a garantir la bona incorporació de la xarxa en el sistema de mobilitat

En definitiva, la present estratègia tindrà en compte els següents punts:

1. Anàlisi de les diferents tecnologies de recàrrega per a autobusos existents i en desenvolupament
2. Benchmarking dels punts crítics detectats
3. Extensió de la mobilitat elèctrica a altres serveis de mobilitat col·lectiva. Creació de sinergies
4. Implicacions a la infraestructura futura
5. Definició d'escenaris
6. Propostes d'actuació

Explicar que un altre objectiu és plasmar la viabilitat tècnica per adaptar-se a la infraestructura de recàrrega però a nivell normatiu i legal, a dia d'avui, no és viable.

## 3 Estat de l'Art

### 3.1 Avantatges de la mobilitat elèctrica

En general la mobilitat elèctrica aporta avantatges energètics, ambientals i econòmics:

- Avantatges en termes energètics:
  - És més eficient que el vehicle convencional
  - Afavoreix la reducció de la dependència energètica dels derivats del petroli
  - Permet la integració de les energies renovables a la mobilitat
  - Contribueix a la generació distribuïda i afavoreix l'autoconsum
  - Accelera el desenvolupament de les xarxes intel·ligents d'energia (Smart grids)
  - Consolida un sector industrial innovador
  - Contribueix al reequilibri territorial
  - Permet la connectivitat i interacció amb les TIC
- Avantatges en termes ambientals:
  - No genera emissions, ni partícules amb emissions locals: PM10, NOx, CO, CO2
  - Disminueix la contaminació acústica
- Avantatges en termes econòmics:
  - Impost de matriculació gratuït (en el cas del vehicle convencional, el cost d'aquest impost és d'entre 1.500€ i 2.000€) i descomptes en l'impost de vehicles de tracció mecànica (IVTM) de fins al 75%, depenent del municipi (en el cas del vehicle convencional, el cost de l'IVTM anual és d'entre 80 i 170€)
  - Gratuïtat dels peatges en les autopistes de la Generalitat de Catalunya (ecoviaT)
  - Tarifes reduïdes en aparcaments públics municipals.
  - Menor despesa de manteniment
  - Menor cost de l'energia:
    - Entre 1 i 2€ per cada 100 km en funció de la tarifa contractada
    - Amortització del cost del vehicle al voltant dels 80.000 km

En aquest sentit, encara que la prioritització general és facilitar el transvasament modal cap als modes no motoritzats com la mobilitat a peu o amb bicicleta, és evident que els modes motoritzats continuaran essent necessaris per la mobilitat diària de la ciutadania. En aquests casos doncs, cal procurar que siguin eficients, nets i sostenibles, com és el cas de la mobilitat elèctrica.

#### 3.1.1 Altres aspectes a considerar a la mobilitat elèctrica

Un aspecte fonamental de cara a promoure el valor ambiental dels vehicles elèctrics és garantir que l'electricitat que aquests consumeixen sigui d'origen renovable. És evident que la mobilitat elèctrica no configura una solució sostenible si l'electricitat que es fa servir s'obté de centrals que cremen combustibles fòssils com ara el carbó, el petroli o el gas. Si per contra l'origen de l'electricitat és renovable (ja sigui solar, eòlica, hidràulica, bioenergia, etc.) llavors si es que es poden considerar vehicles realment ecològics.

En aquest aspecte, la inclusió del vehicle elèctric suposa una gran oportunitat per millorar l'equilibri i l'eficiència del nostre sistema elèctric. Una oportunitat ja que la recàrrega de les bateries d'aquests vehicles

es pot realitzar en el moment en què els usuaris/sistema consideren més oportú, sempre disposant d'una certa flexibilitat per gestionar les hores necessàries per a aquesta, cosa que no passa amb la majoria dels consums elèctrics. Aquesta capacitat de gestionar la demanda presenta importants avantatges, ja que ofereix al sistema elèctric la possibilitat de millorar la seva eficiència global aplanant la corba de demanda i facilitant la integració de les energies de fonts renovables en el sistema.

No obstant aquesta visió de que el 100% dels vehicles elèctrics haurien de carregar de fonts renovables es contraposa amb el fet que la major part de la mobilitat és diürna i per tant, els vehicles en moviment no poden ser carregats en el moment de major producció de renovables. Addicionalment, si superposem la distribució de l'energia per mobilitat en les hores diürnes poden arribar a un col·lapse de les xarxes de distribució.

Caldrà veure per tant com dissenyar la infraestructura i les polítiques de recàrrega, però en tot cas, la flexibilitat del vehicle elèctric per gestionar las hores òptimes de recàrrega permet adaptar-se a la situació que millor convingui. **És evident que el desenvolupament de la mobilitat elèctrica anirà lligada al desenvolupament de les energies renovables i el seu potencial per produir electricitat en el lloc on es consumeix.**

Des d'una perspectiva més global, ens trobem en un moment en què els sistemes econòmics actuals estan canviant dramàticament, desencadenats pel desenvolupament dels mercats emergents, l'accelerat augment de les noves tecnologies, les polítiques de sostenibilitat i el canvi de preferència dels consumidors envers el sentit de propietat. La digitalització i nous models de negoci han revolucionat moltes indústries, i l'automoció i la mobilitat no n'és cap excepció. Pel que fa al sector de la mobilitat, aquestes forces donen lloc a **quatre tendències tecnològiques disruptives: la mobilitat elèctrica, connectada, compartida i autònoma.**

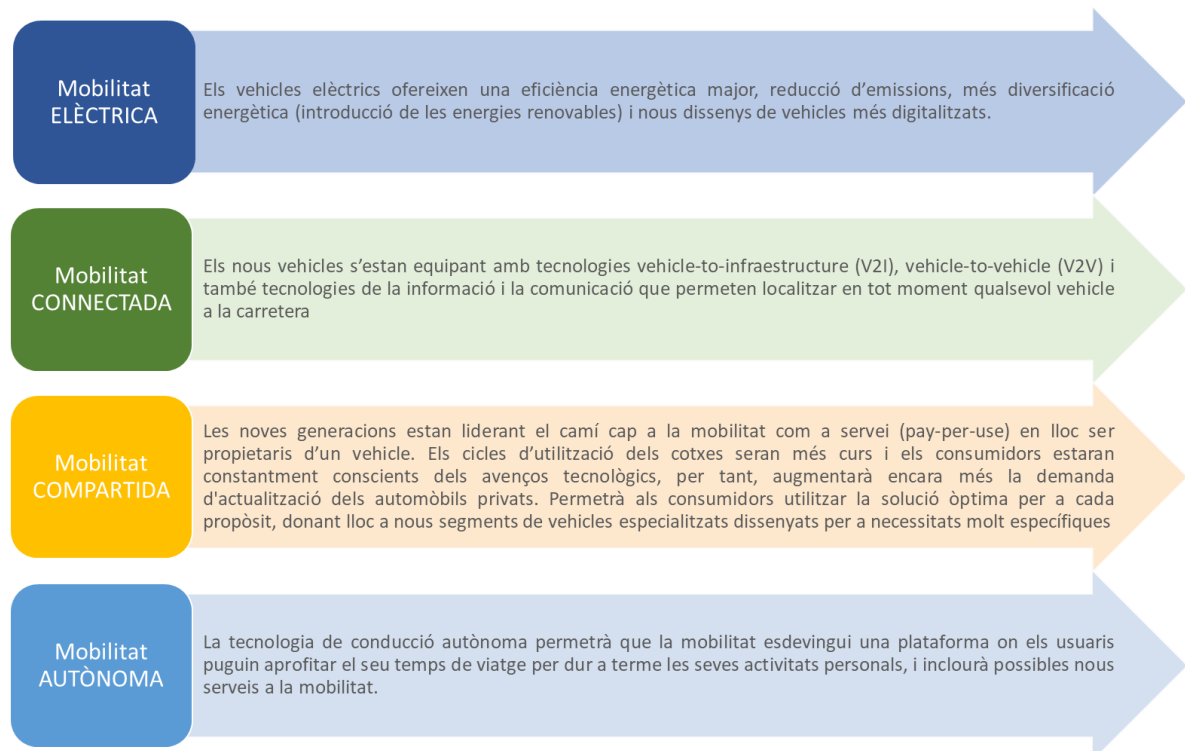


Figura 3.1 La futura mobilitat motoritzada.

---

En aquest sentit, cal afegir que la mobilitat elèctrica representa una de les tendències tecnològiques de la mobilitat del futur no només perquè ofereix avantatges en relació als problemes mediambientals, sinó perquè també ofereix una conducció agradable, tranquil·la, pacífica i silenciosa.

## 3.2 Xarxa d'autobusos de la TMB

### 3.2.1 Xarxes en l'àmbit de la ciutat de Barcelona

La xarxa d'autobusos a l'àmbit de la ciutat de Barcelona es correspon pràcticament a la xarxa TMB, que segons es detalla l'informe de gestió del 2017, es composava de:

- Número de línies: 98
- Longitud xarxa: 833,17 km
- Carril bus: 191,22 km
- Parades: 2.541
- Flota d'autobusos: 1.085
- Número de cotxeres: 5
- Personal de TB: 4.022
- Viatgers / any: 202,05 M
- Cotxes-km útils: 40,59 M

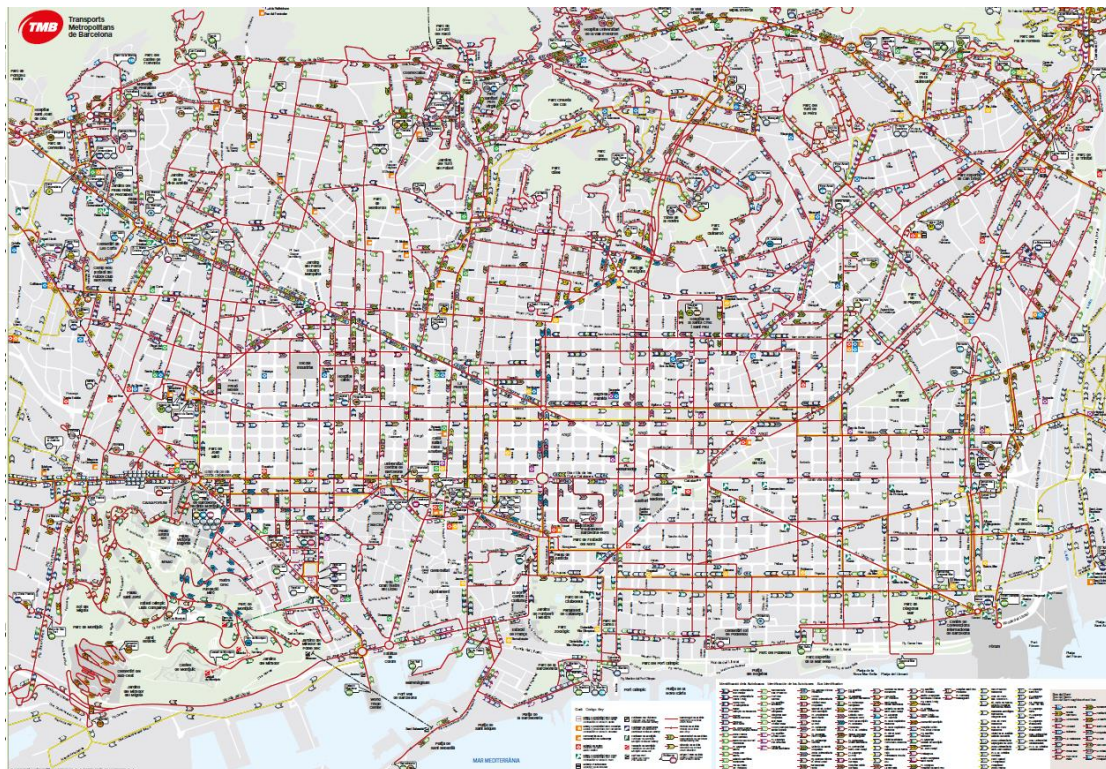


Figura 3.2 Plànol actual de la xarxa d'autobusos a l'àmbit ciutat de Barcelona

### 3.2.2 Xarxa en l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona

A nivell AMB, la xarxa d'autobusos es compon de:

Oferta de línies d'autobús de l'àrea metropolitana (2013)			
1a Corona	Nombre de línies	Titularitat	Gestió
TMB	100	AMB	AMB (Directa)
Resta diürn (Bus metropolità)	85	AMB	AMB (Indirecta)
Nocturn (Nitbus)	17	AMB	AMB (Indirecta)
<b>Total 1a Corona</b>	<b>202</b>	-	-

2a Corona: Transport urbà	Nombre de línies	Titularitat	Gestió
Sant Vicenç dels Horts	10	Municipi	Ajuntament
Molins de Rei	3	Municipi	Ajuntament
Pallejà	1	Municipi	Ajuntament
Cervelló	(#)	Municipi	Ajuntament
Cerdanyola	3	Municipi	Ajuntament
El Papiol	1	Municipi	Ajuntament
Sant Cugat	12	Municipi	Ajuntament
Castellbisbal	4	Municipi	Generalitat
Corbera de Llobregat	4	Municipi	Generalitat
Barberà del Vallès	1	Municipi	Generalitat
Sant Andreu de la Barca	1	Generalitat / Aj St Andreu / Aj Castellvi	Generalitat
<b>Total 2a Corona Urbà</b>	<b>40</b>		

#) L'any 2013 s'ha suprimit el transport urbà. En funcionament un servei social

2a Corona: Transport interurbà	Nombre de línies	Titularitat actual	Gestió actual
Diürn	61	Generalitat	Generalitat
Nocturn	8	Generalitat	Generalitat
<b>Total 2a Corona Interurbà</b>	<b>69</b>	-	-

Figura 3.3 Característiques de les línies d'autobusos de l'AMB

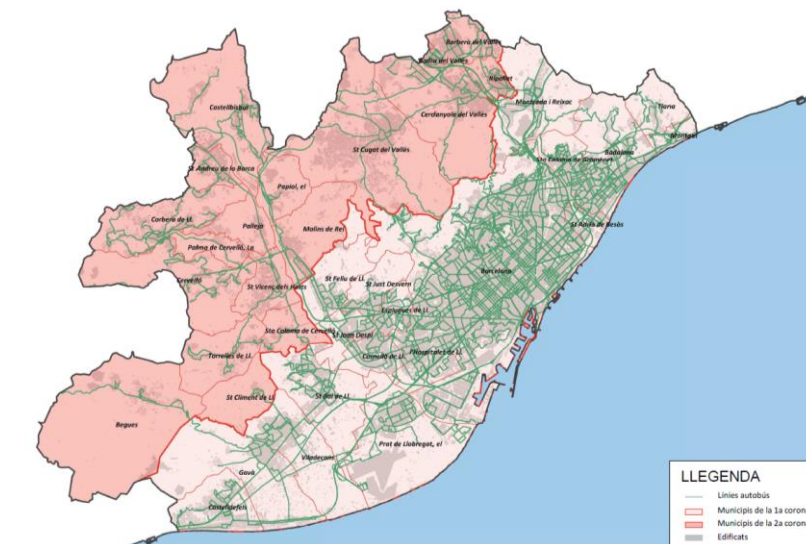


Figura 3.4 Plànol actual de la xarxa d'autobusos a l'àmbit AMB

### 3.2.3 Xarxes a la resta de la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB)

A nivell RMB, la xarxa d'autobusos es compon de:

#### Resum transport en autobús

	Línies	Longitud xarxa (km)	Vehícles en servei	Edat mitjana flota en servei	Vehícles-km (milions)	Δ 17/16 (%)	Viatges (milions)	Δ 17/16 (%)	Recaptació (M€)
<b>Autobusos gestió AMB</b>	204	2.203,8	1.471	9,3	78,3	0,4%	292,0	3,4%	236,36
<b>Transport interurbà DGTM</b>	416	12.232,3	660	6,8	50,2	6,1%	36,2	5,5%	45,48
<b>Turbà competència municipal</b>	133	1.183,1	267	9,9	13,9	2,4%	41,6	4,4%	23,11
<b>Total transport en autobús</b>	<b>753</b>	<b>15.619,3</b>	<b>2.398</b>	<b>8,7</b>	<b>142,4</b>	<b>2,6%</b>	<b>369,8</b>	<b>3,7%</b>	<b>304,95</b>

Figura 3.5 Característiques de les línies d'autobusos de l'RMB

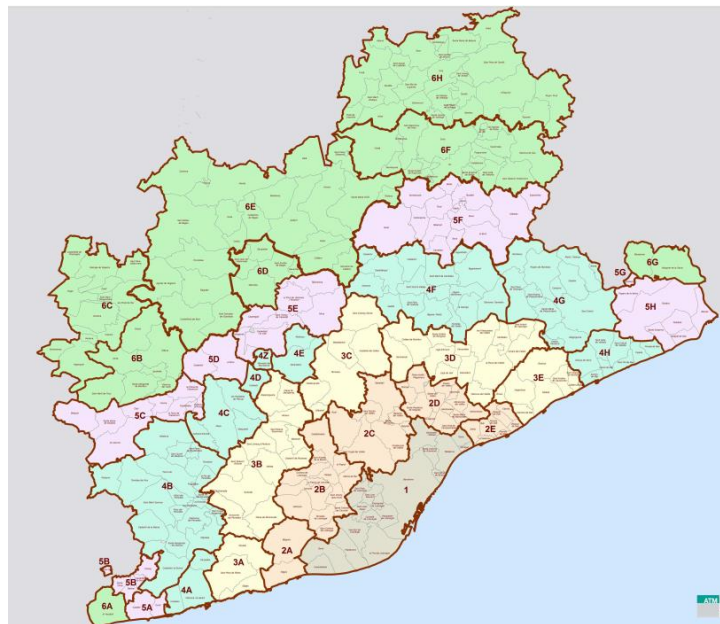


Figura 3.6 Plànol de l'àmbit RMB

## 3.3 Situació actual en el mercat internacional

Durant la darrera dècada s'han experimentat avenços progressius i positius en la tecnologia d'autobusos elèctrics, liderats principalment per la Xina, seguit de prop per Europa i els EUA.

- Els primers casos d'èxit van ser el desplegament dels primers autobusos elèctrics de bateria durant els Jocs Olímpics de Pequín de 2008 i el llançament d'un bus de 12m, elèctric amb bateria i autonomia de 250-300km al 2010.
- Ciutats com Londres, Nottingham, Eindhoven, Amsterdam, París i Varsovia han passat de proves pilots a línies completes amb autobusos elèctrics.

Actualment, segons l'informe Global EV Outlook 2018 el mercat global d'autobusos elèctrics és de 370.000 unitats, on més del 99% es troben al mercat xinès (el 18% de la flota d'autobusos ja és elèctrica). A nivell de vendes s'observa un ràpid creixement, amb unes 100.000 vendes globals al 2017.

A Europa, s'estima que al 2016 hi havia 1.273 unitats (un increment del 100% sobre el 2015) i uns 2.100 autobusos al 2017, mentre que a EUA uns 200. Ara ve, s'espera que al 2030 la meitat dels autobusos de



transport públic siguin de bateria elèctrics. Concretament a Europa, el Regne Unit, Holanda, França i Polònia són els principals mercats d'autobusos elèctrics a Europa

### Perquè Xina està liderant el mercat dels autobusos elèctrics?

- **Finançament:** A la Xina, fins a finals de 2016, es van aconseguir ajuts nacionals i regionals que aconseguen disminuir el cost inicial d'un autobús elèctric per sota d'un autobús dièsel similar, eliminant així la principal barrera per a l'adopció de l'autobús electrònic: els costos inicials.
- **La contaminació urbana i les reduïdes importacions de petroli:** Xina és el país amb més població urbana i els problemes ambientals locals conseqüència de la congestió i contaminació de l'aire per la creixent demanda de transport s'han convertit en una gran preocupació política. Xina també té com a objectiu reduir la dependència del petroli importat.
- **Pissarra en blanc.** Moltes ciutats xineses estan construint xarxes de transport públic completament noves mentre que a Europa i als EUA, els operadors d'autobusos han de trobar maneres d'incorporar la nova tecnologia elèctrica a la infraestructura existent.
- **Política industrial.** Xina està potenciant els vehicles elèctrics per raons de política industrial. El govern busca desenvolupar marques locals per tal de ser competitives fora del mercat domèstic.

#### **3.3.1 Situació actual i estratègia de la mobilitat elèctrica a Europa:**

A Europa, incentivats per la preocupació dels ciutadans i de l'administració per la congestió urbana, pol·lució ambiental i les amenaces sobre la salut humana, han aparegut les polítiques públiques per tal de reduir les emissions del transport.

En aquest context, s'estan afavorint els sistemes de transport de baixes i zero emissions, cosa que estan provocant un desenvolupament molt significatiu dels autobusos elèctrics en els últims anys. Per exemple, el 40% de les autoritats i operadors entrevistats pel projecte ZeEus (informació més detallada a l'apartat 3.4.5 Projectes europeus:) estan interessats en desenvolupar solucions d'autobusos elèctrics. Per altra banda, 14 ciutats de la xarxa C40 Cities, entre elles Barcelona, s'han compromès mitjançant la C40 Clean Bus Declaration<sup>1</sup> a adquirir només autobusos d'emissió zero a partir del 2025.

El nombre total d'autobusos elèctrics a Europa va arribar a les 2.100 unitats al 2017, però contràriament a la Xina, aquesta xifra només significa l'1,6% de la flota municipal d'autobusos europea. Concretament, la flota d'autobusos elèctrics als diferents països europeus és la següent:

---

<sup>1</sup> <https://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration>

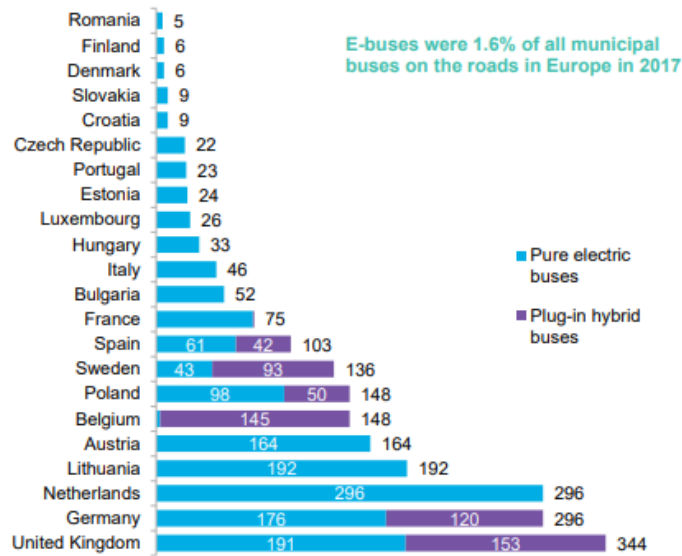


Figura 3.7 Flota d'autobusos elèctrics a Europa, 2017. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities

D'aquests autobusos, actualment el 70% utilitzen tecnologia de bateries elèctriques (56% d'elles carregant només a les cotxeres i el 44% amb càrrega d'oportunitat):

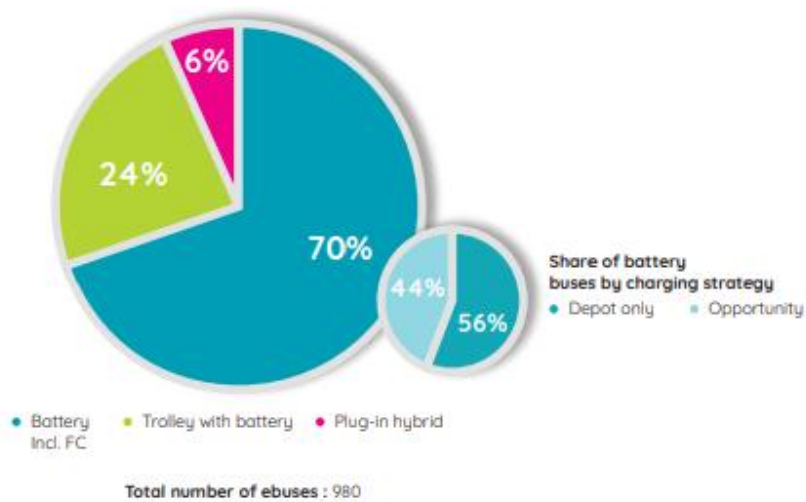


Figura 3.8: Tecnologies de mobilitat elèctrica d'autobusos a Europa 2017. Font: ZeEUS eBus Report #2

En general, els estudis mostren una tendència creixent de la mobilitat elèctrica pura, com la bateria elèctrica o les cèl·lules de combustible, mentre que el dièsel més net mostra una disminució notable. Les tecnologies com el dièsel-híbrid i el GNC i / o el biogàs es mantenen estables dins el mercat.

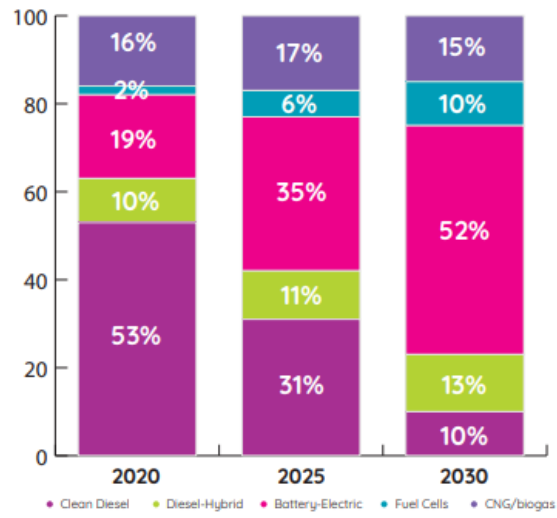


Figura 3.9 Evolució del mercat d'autobusos europeu. Font: ZeEUS eBus Report #2

## 3.4 Benchmarking

Anàlisi de les diferents tecnologies de recàrrega existents i en desenvolupament, des del punt de vista de:

### 3.4.1 Infraestructura de Recàrrega

Existeixen principalment tres tipus d'infraestructura de recàrrega pels autobusos elèctrics: sistemes de càrrega endollable, càrrega inductiva i càrrega conductiva mitjançant pantògraf.



**Sistemes de càrrega endollables:** Sistema de càrrega més comú i més econòmic pels autobusos elèctrics d'avui en dia. Ofereix una àmplia gamma d'índexs de càrrega, des de lenta a ràpida i és proporcionada per una gran quantitat d'empreses, incloent Heliox, APT, Siemens i ABB.

Tipus de càrrega	Temps de càrrega
Càrrega lenta (15-22kW)	~ 10 hores
Càrrega ràpida (22-50kW)	2-6 hores
Càrrega ultraràpida (50-120kW)	



**Pantògraf:** La càrrega de pantògraf s'està popularitzant a causa de les noves implantacions a Europa i EUA. També ofereix una varietat d'índexs de càrrega, però la càrrega ràpida agafa més sentit amb aquesta tecnologia. Serà principalment utilitzat pels municipis que consideren autobusos elèctrics amb bateries més petites. Els principals proveïdors de tecnologia són ABB, Siemens i Heliox.

Tipus de càrrega	Temps de càrrega
Càrrega ultraràpida (150-300kW)	5-15 minuts



**Càrrega sense cables:** La càrrega sense fils és actualment l'opció més cara i només s'utilitza en projectes pilot. Es pot distingir la càrrega estacionària i la càrrega dinàmica. La càrrega estacionària sense fils està actualment disponible comercialment, però la càrrega sense fils dinàmica es troba encara en fase de demostració. Igual que la càrrega de pantògraf, la càrrega sense fils pot oferir un rang de velocitats de càrrega, però evidentment la càrrega ràpida és qui té més sentit en aquest cas. Els proveïdors de tecnologia inclouen empreses com Primove, Wave, Momentum Dynamics i Witricity

Tipus de càrrega (sistemes fins a 200kW)	Instal·lació
Estacionària	A les terminals i a parades de bus seleccionades mentre els passatgers estan dins l'autobús
Dinàmica	La càrrega es duu a terme mentre s'està en moviment. Tecnologia en proves actualment.

### 3.4.1.1 Configuracions de recàrrega als projectes actuals d'autobusos elèctrics a Europa

La càrrega lenta i nocturna a la cotxera és avui en dia l'opció més popular de càrrega d'autobusos elèctrics, seguit de la combinació de càrregues de cotxeres i càrregues d'oportunitat (càrrega ràpida mitjançant pantògraf o complement) a les parades de la terminal i/o dels autobusos.

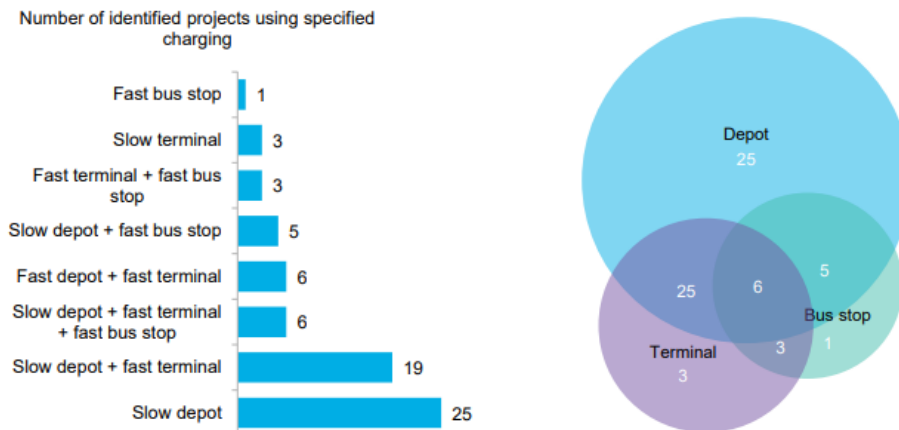


Figura 3.10 Configuracions de recàrrega als projectes actuals d'autobusos elèctrics a Europa. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities

En aquest context es presenta una comparativa de les estratègies de recàrrega existents, tenint en compte el cost de la infraestructura, els requeriments de la bateria, el cost del sistema global i la factibilitat del sistema:

Estratègia de recàrrega	Cost de la infraestructura	Requeriments de la bateria	Cost global del sistema	Factibilitat
Recàrrega lenta endollable a cotxera durant la nit	Baix - els carregadors només són necessaris a cotxeres, però el ratio carregador-autobús és alt	Alt - els autobusos que només es carreguen durant la nit necessiten unes bateries amb gran capacitat per cobrir totes les rutes. Alts costos.	Mig - els preus de les bateries són el component més car avui en dia. A mesura que disminueixin els preus, el cost general del sistema es veurà reduït. Mitjançant l'ús de tarifes nocturnes per a la càrrega, l'estalvi de costos d'electricitat pot ser significatiu.	És l'opció més popular d'avui en dia, factible a una escala menor quan el nombre d'autobusos és baix. En una a escala més gran, es poden tenir problemes quan es carreguen tots els autobusos al mateix temps (espai, font d'alimentació, impactes de la xarxa). És especialment arriscat en llocs on la cotxera està lluny de la ruta de l'autobús. Grans bateries acostumen a significar alt pes i comprometen la capacitat de passatgers.
Recàrrega lenta endollable a cotxera durant la nit i càrrega ràpida a terminal	Mig - es necessiten dos tipus de carregadors, i a dos localitzacions diferents	Mig - els autobusos poden parar a les terminals relativament ràpid, per tant poden treballar amb bateries més petites	Mig - el cost més alt del sistema de càrrega ràpida es compensa amb l'estalvi d'una bateria més petita. És possible que hi hagi canvis en l'operació diària dels autobusos, però en teoria el temps de descans es pot utilitzar per a la recàrrega.	Segona opció més popular d'avui en dia, però apareixen problemes d'espai a les terminals. Si el nombre de d'autobusos necessaris de la ruta és estable durant tot el dia, es pot compensar afegint un autobús de reserva.
Càrrega ultraràpida a terminal i parades d'autobús (sense cable o amb pantògraf)	Alt - el pantògraf i els sistemes sense cable són els sistemes més cars	Baix - no hi ha necessitat de tenir una gran bateria ja que els autobusos es carreguen en moviment	Alt - la càrrega sense fils actualment és molt costosa, però és la que requereix el mínim canvi en l'operació diària dels autobusos. No obstant, es dedica a una única ruta d'autobús, que limita la flexibilitat. Per convertir-se en la única opció de càrrega, la instal·lació hauria de cobrir la major part de la ruta.	La càrrega mitjançant pantògraf és cada vegada més popular. Els costos milloren a mesura que augmenta la quantitat d'autobusos elèctrics a la flota: més vehicles que utilitzen el sistema redueixen el cost per quilòmetre de càrrega subministrada.
Càrrega lenta a cotxera i pantògraf en ruta	Alt - els sistemes de pantògraf continuen essent cars actualment	Mig - els autobusos poden parar a les parades, per tant poden treballar amb bateries petites	Mig - la tecnologia és molt costosa, però els costos es poden repartir en més d'un autobús. Igual que amb l'opció anterior, els sistemes de pantògraf es dediquen a una sola ruta d'autobús, que en limita la seva flexibilitat.	La càrrega mitjançant pantògraf és cada vegada més popular. Els costos milloren a mesura que augmenta la quantitat d'autobusos elèctrics a la flota: més vehicles que utilitzen el sistema redueixen el cost per quilòmetre de càrrega

				subministrada.
--	--	--	--	----------------

Taula 1 Comparativa de les estratègies de recàrrega existents. Font: Pròpia a partir de l'informe Electric Buses in Cities (Bloomberg, 2018)

### 3.4.2 Vehicles

És important primer de tot analitzar l'estat de l'art de les bateries dels autobusos elèctrics ja que actualment configuren el component clau d'aquesta nova mobilitat. En aquest sentit, l'electrificació dels autobusos, que va començar amb els híbrids, està a punt de donar un pas decisiu gràcies a les noves generacions de bateries, que seran capaces d'acumular, en un espai relativament reduït, l'energia necessària per tota una jornada de funcionament

#### 3.4.2.1 Bateries:

- **Demanda:**

La següent figura mostra la demanda de bateries de ions de liti (turismes i autobusos elèctrics) en comparació amb la capacitat de fabricació d'aquestes, on s'observa que la demanda total només equival a un 40% de la capacitat de producció, i un 10% si només ens fixem amb la demanda relativa als autobusos elèctrics.

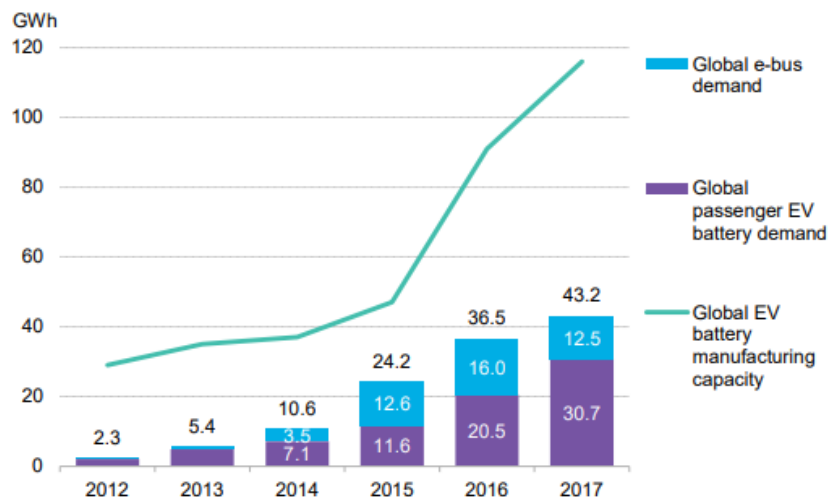


Figura 3.11 Demanda global de bateries de ions de liti i capacitat global de fabricació de bateries de ions de liti. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities

- **Preu:**

Que la capacitat de fabricació de la bateria estigui augmentant molt més ràpidament que la demanda, provoca una pressió constant sobre els preus. De fet, com a resultat, els preus de les bateria han caigut un 24% des del 2016 i fins un 79% des de 2010.

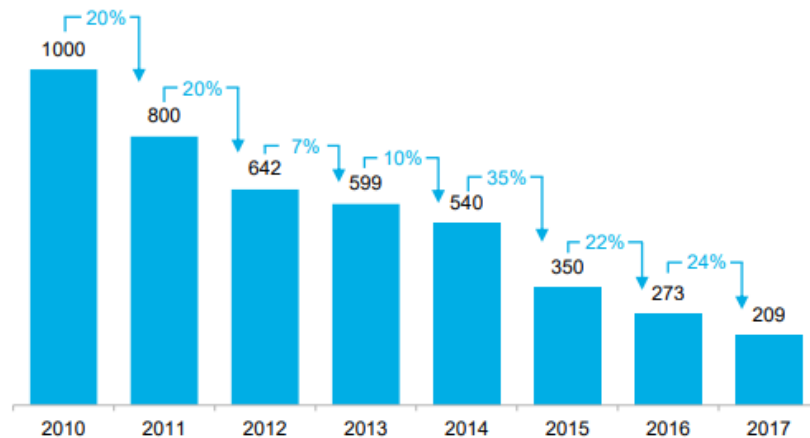


Figura 3.12 Resultats de l'enquesta de preus de la bateria de ions de liti – mitjana pondera en volum. El preu inclou dades sobre vehicles elèctrics amb bateries, vehicles híbrids, autobusos elèctrics i emmagatzematge estacionari. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities

Pel que fa a l'evolució que s'espera dels preus, es calcula tenint en compte que la taxa històrica dels preus entre 2010-2017 ha estat d'un 18%, és a dir que per cada vegada que es doble el volum acumulat, s'observa un 18% de reducció en el cost. En aquest sentit, s'espera que al 2025 el preu hagi caigut a la meitat del preu del 2017, i al 2030 la reducció sigui del 65%. La següent figura en mostra l'evolució:

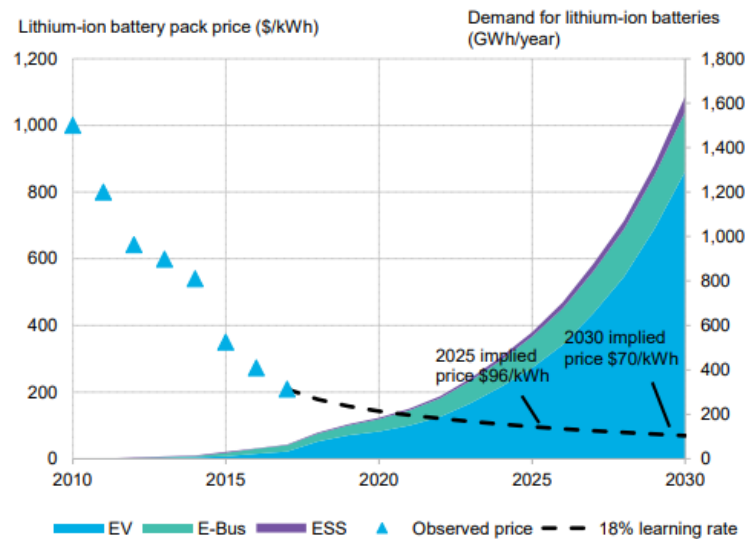


Figura 3.13 Evolució dels preus de les bateries de ions de liti. Font: Bloomberg, Electric Buses in Cities

- **Vida útil i garanties**

La sensibilitat dels autobusos elèctrics al cicle de vida de les bateries i al repte de predir la vida útil d'aquestes convergeix a les garanties en un element crucial pels autobusos elèctrics.

La vida d'una bateria es mesura des de dues maneres diferents:

Vida calendari	Número d'anys que la bateria pot operar
Cicle de vida	Número de cicles que pot realitzar una bateria



Es considera que el final de la vida d'una bateria és quan aquesta té menys d'un 80% de la seva capacitat. Ara bé, moltes garanties defineixen el final de la vida de les bateries quan aquesta ha caigut al 60-80% de la seva capacitat original. La **capacitat garantida al final de la vida** és un factor important a tenir en compte, ja que com més baixa sigui la capacitat al final de la seva vida, menys quilòmetres podrà dur a terme l'autobús.

Referent al cicle de vida, aquest es veu afectat sobretot per la química i per la cel·la utilitzada, que repercuteixen sobre el cicle de vida i la densitat d'energia (espai necessari per allotjar la bateria). En els autobusos elèctrics, l'espai per localitzar un paquet de bateries no és tan limitat com en els turismes, i en canvi és important tenir una vida de cicle llarg per tal de maximitzar la rendibilitat del cost de l'autobús. En aquest context, una **bateria LFP** (fosfat de ferro de liti) seria l'opció més adequada. Hi ha excepcions on és preferible tenir una bateria d'alta densitat d'energia, especialment en autobusos de llarga distància, on s'han de fer centenars de quilòmetres diaris. No obstant això, amb el cost del cobalt en augment, i el fet que la resta de bateries no proporcionen una vida útil suficient, és molt probable que la bateria LFP segueixi sent la tipologia preferida per a la majoria dels autobusos elèctrics a curt termini.

En quant a la vida calendari, aquesta equival al número d'anys que la bateria assoleix mínim el 80% de la seva capacitat. En general, les bateries solen tenir una vida calendari major a 10 anys, ara bé, aquesta es pot veure reduïda dràsticament quan no s'utilitzen regularment. En aquest cas no ha de ser un problema, ja que els autobusos elèctrics haurien de funcionar diàriament.

En els autobusos elèctrics, i contràriament als turismes elèctrics que defineixen les garanties en funció dels quilòmetres realitzats, les garanties s'acostumen a estructurar a partir de la vida calendari. A expectatives d'un increment i millora de rendiment de les bateries, s'espera que la durada i estructura de les bateries millori també.

- **Escenaris futurs**

El desenvolupament dels autobusos elèctrics ve implícitament acompanyat d'un augment de la mida i de la capacitat de producció de les bateries. L'informe Global EV Outlook 2018 treballa amb dos escenaris, un primer, New Policies Scenario, on es suposa que la demanda de les bateries creixerà per 15 arribant a uns 775GWh al 2030, i un segon, EV30@30 Scenario que suposen una capacitat al 2030 de 2,25TWh.

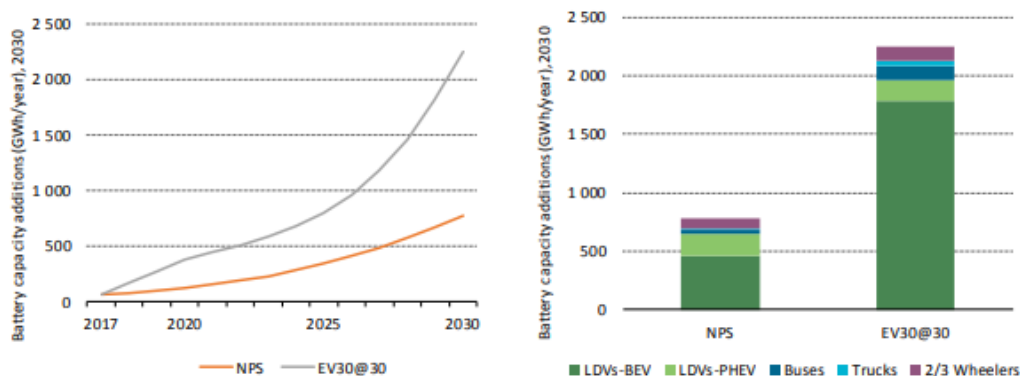


Figura 3.14 Capacitat de les bateries al 2030 segons escenaris Global EV Outlook 2018

Independentment de l'escenari, aquests resultats impliquen una gran expansió en els propers anys del mercat de subministrament de bateries, i a més, el creixement de la capacitat de la bateria així com de la seva demanda tindrà repercussions importants en el cost d'aquestes, tal com es pot observar a la següent figura:

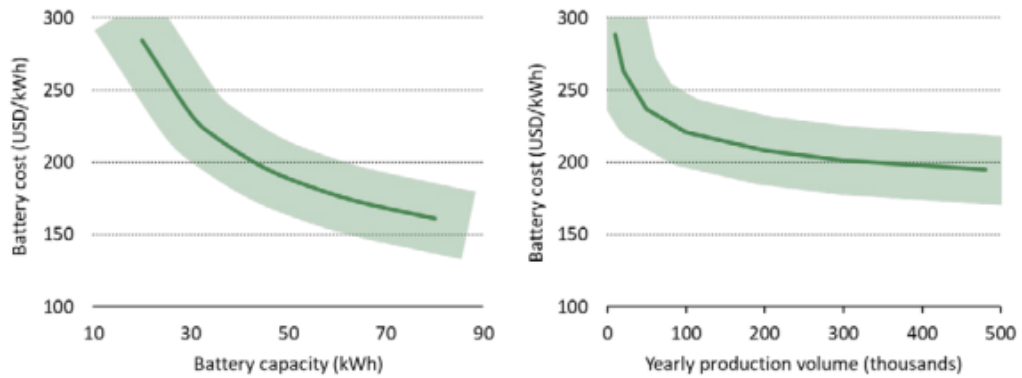


Figura 3.15 La mida de la bateria i la capacitat de producció tenen grans impactes sobre el cost total de les bateries.  
Font: Global EV Outlook 2018

S'adjunta a continuació una taula especificant pels principals models d'autobusos elèctrics, les característiques del vehicle i de les bateries utilitzades, així com les ciutats/operadors exemples d'aplicació:

Fabricant	Model	Longitud (m)	Bateria			Autonomia (km)	Infraestructura de recàrrega i durada	Ventes	Ciutat/operador	Comentaris
			Mida (kWh)	Tipus	Proveïdor					
Yutong	Yutong E12	12	295	LPF	CATL	320	Endollable a cotxeres, a 60kW o 150kW	35.000 entre 2015-2016	Grenoble, Strasbourg, Liverpool	Yutong també facilita els carregadors
BYD	18MLE	18	324	LPF	BYD	250	Pantograf o endollable a una potència de 2x40kW	80 a Europa	Londres	5 anys de garantia
	Double decker	10,2-12	345	LPF	BYD	330	Pantograf o endollable a una potència de 2x40kW			5 anys de garantia
	12m China	12	324	LPF	BYD	250	Pantograf o endollable a una potència de 2x40kW			5 anys de garantia
	12m Overseas	12	324	LPF	BYD	320	Pantograf o endollable a una potència de 2x40kW	20.500 a Xina entre 2015-2016	Copenhagen, Tel Aviv, Milan, <b>Turin (20)</b> , Schiermonnikoog, <b>Aeroport de Schiphol (35)</b> , Warsaw, Bucharest, <b>Barcelona</b> , Angelholm, Eskilstuna, Orust, Londres, <b>Nottingham (13)</b>	5 anys de garantia
Zhongtong Bus	LCK6122EVG	12	230	LFP		414	Endollable a cotxera, 120kW	20.000 entre 2015-2016		

Proterra	Catalyst FC	11-13	79-105	LTO	Toshiba	80-100	Mitjançant pantògraf a 500kW, endollable a cotxera compatible amb SAE J1772 CCS a 60-120kW i càrrega sense cables	100	Los Angeles, Seattle	6 anys de garantia per la bateria, 1 any o 80.000 per l'autobús
	Catalyst XR	11-13	220-330	NMC	LG Chem	220-310				
	Catalyst E2	11-13	440-660			405-560				
Solaris	Urbino 8.9	8.9	160			200	enollable a cotxera o pantògraf, a 80kW o 300kW; 1,33kWh/min o 5kWh/min	5	Klagenfurt, Krakow,	
	Urbino 12	12	240	LFP/LTO	Solaris	266	Endollable a cotxera, pantògraf o inducció, a 80kW o 450kW o 200kW	93	Tampere (12), Grenoble, Berlin, Braunschweig, Dresden, Hamburg, Hanover, Oberhausen, Cagliari, Gdynia (38), Inowroclaw, Jaworzno, Krakow, Lodz, Rzeszow, Warsaw (10), Vasteras	
	Urbino 18	18	240			185		5	Braunschweig, Eberswalde, Lublin, Barcelona	
VDL Bus & Coach	Citea LLE99	9.9	180	NMC	Multiple		Pantògraf, Combo 2 fins 270kW; endollable a cotxera Heliox; pantògraf ràpid Schunk o Siemens; càrrega ràpida ABB - pantògraf invertit	67		

Optare	Citea SLF -120	12	63-240	LpTO, NMC	Multiple (Akasol, Durapower, Microvast)		Pantògraf - Combo 2 fins 350kW		Munster, Hertogenbosh (10)	
	Citea SLF180	18	63-180	NMC			Pantògraf - Combo 2 fins 270kW		Cologne, Zuid-Oost-Brabant (43)	
	Solo EV	9-10	138	LiFeMgP O4	Valence	270	Endollable a cotxera 42kW	56	Utrecht, Ale Municipaty, Orust, Inverness, Nottingham (35)	5 anys de garantia
	Metrocity EV	10.8						13	Londres (13)	
	Versa EV	10-11				205		13	Manchester, Nottingham (10), York (12)	
	Metrodecker	10.5	200		TBD		Endollable a cotxera 42kW		Model anunciat de moment	
BYD-ADL	Enviro 200EV	10.8-12	324	LFP	BYD	250	Endollable a cotxera a 80kW, Mennekes Tipus 2	51	Londres (51)	La garantia de la bateria depèn del contracte
Volvo Bus	Volvo 7900 Electric	12	76	LFP	SAFT	96	Càrrega d'oportunitat, sobrecàrrega, conductiva i pantògraf	11	Hamburg, Hertogenbosch, Gothenburg,	
	Volvo 7900 Electric Hybrid (PHEV)	12	19	LFP	SAFT	8.1	Càrrega d'oportunitat, sobrecàrrega, conductiva i pantògraf	39	Namur (11), Gothenburg, Stockholm, Varnamo,	
Van Hool	Exqui.City 18m	18.6	215	LFP	BFFT	120	Endollable i pantògraf invertit, 80kW i 250kW	40	Bruges, Cagliari, Geneva (33)	5 anys de garantia de bateria
Bollore Group	Bluebus	12	240	LMP	BlueSolutions	180	Endollable a cotxera, a 50kW	23	Paris (23)	7 anys de garantia de bateria
Evopro	Modulo C68e	8	144	LFP	Valence	200-230	Conductiva a 60kW	20	Budapest (20)	5 anys de garantia de bateria
	Modulo C88e	9.5	84	LFP		120-140				

Irizar	Irizar I2e	12-18	376	NaNiCl (ZEBRA)	FIAMM	250	Endollable a cotxera, Combo 2, 80-100kW	13	Grenoble, Marseille, Azuqueca de Henares, <b>Barcelona</b> , Bilbao, Donosti, Londres, <b>Madrid (15)</b>	Garantia de 2.000 cicles, preu aproximat de 480.000€
Hybricon Bus System	Arctic Whisper	12	40-120	LTO	Altair-Nano	30-55	Pantògraf i endollable a cotxera, a 20-650kW		Umea,	3 anys de garantia de bateria
	City Bus HCB	12	38-265	NMC	BMZ		Pantògraf i endollable a cotxera, a 20-200kW	9		2 anys de garantia de bateria
Bozankaya	Sileo S10 i S12	10.7-12	200-230	LFP	Bonzankaya BC&C	235-260	Endollable a cotxera entre 4-100kW	8	Bad Langensalza, Bonn, Bremen,	4 anys de garantia de bateria
	Sileo S18	18	300			260	Endollable a cotxera entre 4-200kW			
	Sileo S24	24	380			250	Endollable a cotxera			
ADL	Enviro 400VE	10.3	61	NMC	Akasol	30	Càrrega d'oportunitat, plaques d'inducció sunk i endollable a cotxera durant la nit	3	Londres	La garantia de la bateria depèn del contracte
Carrosserie Hess	TOSA	18.7	70	LTO	ABB	30	Pantògraf conductiu, a 600kW	1		> 5 anys de garantia
	SwissTrolley BGT-N2D	18.7	20	LFP	VKD	2,5kW/km	Sobrecàrrega en moviment, >600kW		Lucerne	> 2 anys de garantia
Heuliez Bus	GX337 ELEC	12	349	NMC	Foresee	200	Endollable Combo 2, CCS protocol, entre 50-100kW durant la nit i 150kW amb càrrega ràpida	1	Grenoble, Aeroport de Nisa	La garantia de la bateria depèn del contracte
	GX437 ELEC	18	106	LTO				Pantògraf, CCS protocol, 300-450kW		
DCGT	Temsa MD9	9.3	200	NMC	Mitsubishi	230	Endollable a cotxera 120kW			2 anys de garantia
	Temsa Avenue	12	75	LTO	Microvast	50	Sobrecàrrega i endollable a 450kW			

Ebusco	Ebusco 12m	12	311	LFP	Ebusco	300	Endollable a cotxera, entre 75 i 120kW	Assen, Stavanger, Orust, Interlaken	Ebusco fa el manteniment de la bateria i canvia la bateria al final del cicle, amb un preu base de 425.000€
	Ebusco 18m	18	414			325	Endollable a cotxera, entre 75 i 120kW		
ALSTOM - NTL	Aptis	12	272-346	NaNiCL	Fiamm	120-200	El temps de càrrega és entre 6h - 8h	Versalles	
Caetanobus	e. CityGold	12	50-250	LTO, NMC		200	Endollable a 50kW-150kW i sobrecàrrega a 350kW		5 anys de garantia de bateria
	eCobus	14	85	LTO	Actia	70	Endollable a 60kW	Aeroport d'Stuttgart	8 anys de garantia de bateria
Dancerbus	Dancer	12	29,2 per paquet	LTO	ICTP (Toshiba SCiB)	0,5kW/km	3-fases 400VAC (or alt voltatge variable DC opcional) a 500kW		La garantia fins a 15.000 cicles o al 80% de la capacitat
Hunan CRRC Times EV	TEG6125BEV03	12	201-182,5	NMC - LiFeMgPO4	Offnenbach - CATL	115	Endollable a cotxera, 99-150kW		La garantia es duu a terme a través de TBD
Linkker OY	Linkker 12+ LE	12.8	55-79	LTO	Actia IM+E	300-400	Pantògraf normal o invertit, de 300-480kW	Copenhagen, Espoo, Helsinki, Turku	5-10 anys de garantia de bateria i entre 0,5-1M km
Rampini Carlo SPA	Rampini E12	12	180	LFP	Winston Battery	120-130	Endollable i pantògraf, entre 15-30kW		2 anys de garantia de bateria
Skoda Electric A.S.	Skoda Perun HE	12	230	LFP	Varis	1,4kW/h	Endollable, fins 100kW	<b>Trinec (10)</b>	4 anys de garantia de bateria
	Skoda Perun HP	12	80	LTO	Varis	1,4kW/h	Sobrecàrrega automàtica, fins 600kW	Plzen,	4 anys de garantia de

SOR Libchaby, SPOL										bateria
	Skoda 26 Tr	12	50	LTO	Varis	1,5kW/h	Sobrecàrrega trolley, fins 200kW		<b>Plzen (16)</b>	4 anys de garantia de bateria
	Skoda 27Tr	18	80	NMC	Varis	2,4kW/h	Sobrecàrrega trolley, fins 200kW		<b>Szeged (13)</b>	4 anys de garantia de bateria
	SOR EBN 11	11.1	172	LFP	Winston Battery	1,1kW/h	Sobrecàrrega i endollable, entre 100-150kW		Prague, Kosice,	La garantia de la bateria depèn del contracte
	SOR EBN 10,5	10.37	172	LFP	Winston Battery	0,9-1kW/h	Endollable, 22kW		Hranice, Krnov, Bucharest, Kosice,	
	Ursus BUS, S.A.	Ursus Bus Ekovolt	11.96	120	LFP	Impact	0,97kW/h	Endollable, 150kW	<b>Lublin (38),</b> Rzeskow,	
Ursus Bus City Smile		8.5-18	105-210	LFP - LTO	BMZ - EVC - Impact - Hybricon Bus Systems	0,8kW/h	Endollable i sobrecàrrega, 30-625kW			5-15 anys de garantia de bateria

Taula 2 Principals models d'autobusos elèctrics, les característiques del vehicle i de les bateries utilitzades, així com les ciutats/operadors exemples d'aplicació.



### 3.4.3 Casos d'estudi d'operació

Casos d'autobusos elèctrics en operació i/o anunciats a nivell internacional						
Ciutat/operador de transport	País	Número de busos	Any	Vehicle	Comentaris	Estat de l'operació
Xina - USA						
Shenzhen	Xina	1000	2012	BYD	La ciutat de Shenzhen ha electrificat totalment la seva flota d'autobusos (aprox. 16.500 autobusos)	Entregats
		3600	2016	BYD		
		16500	2017			
Beijing	Xina	50	2017	Zhongtong BAIC Foton	Té l'objectiu de tenir 10.000 autobusos elèctrics al 2020	Entregats
		56	2017			Entregats
		1320	2017			Entregats
		10000	2020			Anunciats
Los Angeles	USA	35	2020	New Flyer	L'objectiu és tenir la flota de 2.200 autobusos elèctrics al 2030	Entregats
		60	2021	BYD		Entregats
		2200	2030			Anunciats
Europa						
Eindhoven	Holanda	43	2016	VDL	AL 2017 l'operador va realitzar 1Mkm amb els autobusos VDL elèctrics	Entregats
Trondheim	Noruega	25	2019	VOLVO (7900)	Actualment 10 autobusos en operació. <b>Volvo té un contracte pel manteniment del vehicle i la bateria per un preu fix al mes.</b>	Anunciats
Krakow	Polònia	17	2017	Solaris (Urbino 12)	Urbino 12 equipat amb 160kWh i l'Urbino 18 és articulat amb 200kWh	Entregats
		3	2017	Solaris (Urbino 18)		Entregats
Haifa	Israel	17	2017	BYD	Autobusos amb una autonomia de 200km	Entregats

Amstelland- Meerlanden	Holanda	100		VDL (Citea SFL)	L'operació a càrrec de Connexion. Els autobusos recorreran uns 100.000km per any	Anunciat
		18		VDL (Futura)		Anunciat
Den Haag HTM	Holanda	5		VDL (Citea SLF120)	VDL també facilitarà la infraestructura de recàrrega. Pantògrafs s'utilitzaran per càrregues d'oportunitat i per càrrega nocturna	Anunciat
Cologne	Alemanya	8	2015	VDL (Citea SLF)	Els autobusos estan utilitzant únicament pantògraf, en ruta i a cotxera. Les bateries que s'utilitzen tenen una capacitat de 123kWh	Entregats
RATP (Paris)	França	23	2016	Bollere (Bluebus)	Cada vehicle recorre 180km per dia	Entregats
		4500	2025		L'objectiu és tenir la flota de 4.500 autobusos elèctrics al 2025	Anunciat
Budapest	Hongria	20	2016	Evopro	Els autobusos recorren 128km per dia i la recàrrega es fa a cotxeres	Entregats
Londres	Regne Unit	14	2017	BYD/ADL (Enviro 200EV)	A partir del 2020 tots els autobusos nous han de ser zero emissions	Entregats
		36	2018			Anunciat
		56	2019			Anunciat
Alexandria Passenger Transportation Authority	Egipte	15	2018	BYD (K9)	Cada autobús porta unes 90 persones	Anunciat
<b>Espanya</b>						
Madrid	Espanya	15	2018	Irizar ie12	Els autobusos es carreguen amb 6 hores amb una potència de 100Kw. 15 carregadors per càrrega nocturna en cotxera subministrats per Irizar.	Entregats

**Taula 3 Principals casos d'estudi d'operació detectats.**

## Alguns casos més especificats:

### 1. SHENZHEN

- Estratègia: Les ventes de vehicles elèctrics a l'àrea metropolitana de Shenzhen (12 milions de persones) eren d'un 9,9% del mercat al 2015, representant el segon mercat més important a la Xina. Shenzhen és la seu principal de l'empresa BYD, el segon fabricant a nivell mundial de vehicles elèctrics. Concretament pels autobusos elèctrics, només amb 8 anys la ciutat ha electrificat el 100% dels seus autobusos públics, 16.359 autobusos exactament.

Adicionalment, la ciutat de Shenzhen està treballant amb un **servei e-Bus**, que pretén maximitzar l'eficiència dels autobusos mitjançant la reserva del servei i també la iniciativa de crear noves rutes per part dels ciutadans. Utilitzant una eina online els ciutadans poden proposar noves rutes, que es fan realitat si aquestes superen els 22.000 passatgers per dia (actualment s'han proposat 410 rutes noves amb 22.000 usuaris, de les quals 100 s'estan planificant per fer-les operatives).

- Vehicles i sistema de recàrrega: Els vehicles utilitzats són del fabricant BYD. Pel que fa a l'estructura de recàrrega, s'han construït estacions al llarg de les rutes dels autobusos i s'estan coordinant els temps de càrrega durant la nit, quan la demanda elèctrica (i els preus) són més baixos.
- Conclusions: Segons WRI (World Resources Institute) és vital la coordinació entre els operadors i les empreses energètiques. En aquest cas, l'acord ha resultat en la construcció de les estacions al llarg de les rutes per tal de salvar la falta d'estandardització (les estacions de recàrrega acostumen a ser construïdes per empreses privades, per tant, no es distribueixen d'acord amb les necessitats dels conductors).

### 2. PARIS:

- Estratègia: A l'àrea metropolitana de Paris (12 milions de persones), l'autoritat del transport Ile de France Mobilités i l'operador RATP segueixen una estratègia per aconseguir el 100% de la mobilitat amb combustibles nets. Concretament, RATP com operador de 350 línies de bus pretén que tots els seus autobusos, unes 4.700 unitats, siguin autobusos amb combustibles nets (amb un 80% d'elèctrics al 2025). Del 2015 al 2017, RATP ha estat testejant 16 autobusos elèctrics BYD i 23 Bluebus amb les condicions de circulació reals per tal de preparar els plec de condicions i les ofertes de cares al 2019.
- Vehicles i sistema de recàrrega:

VEHICLE SPECIFICATIONS	
Vehicle Brand	23 x Bluebus
Vehicle Model	12m
Vehicle Length	12m
Total passenger capacity	92
Air Conditioning	No
Heating	Yes
Overnight charging	Plug at the depot (5h)
On-board energy storage capacity	240kWh

Figura 3.16 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Paris. Font: ZeEUS eBus Report #2

Actualment RATP treballa amb 4700 autobusos, dels quals 800 autobusos híbrids (des de l'1 de febrer de 2018), 140 utilitzant bio-fuel i 74 elèctrics. Les línies electrificades ha estat una línia amb perfil moderat, de 10km de llargada. Els autobusos recorren uns 180km al dia per vehicle.

### 3. HAMBURG:

- Estratègia: En un període de deu a quinze anys, HOCHBAHN vol canviar tota la seva flota d'autobusos, que comprèn uns 1.000 vehicles, a zero emissions (el qual han anomenat E-bus Masterplan). Addicionalment, el senat de la ciutat reforça l'estratègia promovent que tos els operadors locals hauran de comprar autobusos elèctrics a partir del 2020.
- Vehicles i sistema de recàrrega:

#### VEHICLE SPECIFICATIONS

Vehicle Brand	3 x Solaris	3 x Volvo
Vehicle Model	Urbino 12 electric	7900 Electric
Vehicle Length	12m	12m
Total passenger capacity	71	75
Air Conditioning	Yes	Yes
Heating	Yes	Yes
Opportunity charging	Pantograph with a descending arm at the terminal (3.5min)	Pantograph with a descending arm at the terminal (8min)
Overnight charging	Plug at the depot (2h)	Plug at the depot (3-6h)
On-board energy storage capacity	100kWh	19 kWh

Figura 3.17 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Hamburg. Font: ZeEUS eBus Report #2

També ha comprat 20 unitats d'autobús elèctric Mercedes-Benz Citaro, a obtenir abans de finals de 2018. Solaris subministrarà 10 autobusos elèctrics a l'operador de transport públic d'Hamburg, Hochbahn, segons anunciat el 24 de maig de 2018. Dos dels vehicles de Urbino 12 es lliuraran a finals d'aquest any, i els vuit restants arribaran al setembre de 2019.

A nivell d'infraestructura de recàrrega s'està construint una nova cotxera, que estarà operativa al 2019. Serà un dipòsit d'autobusos molt modern, que permetrà allotjar fins a 240 autobusos elèctrics en els propers anys. En aquest context, el Ministeri de Transport i Infraestructura Digital alemanya (BMVI) ha aprovat un fons de 8,6M€ per a un projecte pilot per millorar la infraestructura de càrrega en cotxeres d'autobusos. Al voltant de 6,4M€, es destinarà a HOCHBAHN per finançar el subministrament d'energia i la infraestructura de càrrega de sis cotxeres a Gleisdreick. L'objectiu del projecte és analitzar solucions per ser replicables per altres autoritats de transport d'Alemanya.

- Conclusions:

HOCHBAHN treballa amb una iniciativa conjunta de contractació de transport públic, on s'inclouen els operadors de transport de Berlin, Colònia, Düsseldorf, Stuttgart, Munic i Darmstadt. D'aquesta manera proporcionarà incentius més alts i facilitarà la seguretat de les inversions dels fabricants de vehicles. Actualment les empreses estan treballant en aconseguir una definició comuna de les característiques necessàries requerides.

#### 4. BUDAPEST:

- Estratègia: Budapesti Közlekedési Központ (BKK, el centre de transport de Budapest) pretén augmentar la seva flota d'autobusos nets. Concretament, BKV, l'operador de transport públic de Budapest està treballant amb 20 autobusos elèctrics en el seus serveis regulars. La inversió s'ha pogut dur a terme a partir de la quota implantada de CO<sub>2</sub>.
- Vehicles i infraestructura de recàrrega:

**VEHICLE SPECIFICATIONS**

Vehicle Brand	20 x evopro
Vehicle Model	Modulo C68e
Vehicle Length	7.98m
Total passenger capacity	53
Air Conditioning	Yes
Heating	Yes
Overnight charging	Plug at the depot (2.5-3h)
On-board energy storage capacity	141kWh

Figura 3.18 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Budapest. Font: ZeEUS eBus Report #2

- Conclusions: S'està duent a terme una estratègia conjunta d'electrificació del transport públic entre l'operador de transport i el Ministeri d'Economia Nacional. Paral·lelament a la compra d'autobusos elèctrics, al 2016, l'Assemblea General de Budapest va signar un acord amb el Ministeri d'Economia Nacional per la construcció d'una xarxa d'infraestructura de recàrrega. La xarxa de carregadors planificada suposa uns 1.100 punts de càrrega, amb 100 carregadors ràpids per a l'any 2019, cosa que implica que la mobilitat elèctrica sigui atractiva també per als ciutadans i la seva mobilitat privada.

#### 5. TURIN:

- Estratègia: El Gruppo Torinese Trasporti (GTT), companyia local de transports, té una llarga trajectòria en el servei d'autobusos elèctrics, ja que va començar el 2003 amb autobusos elèctrics de 8m. Al novembre de 2016, GTT va comprar 20 autobusos d'alta capacitat que van ampliar la flota de l'e-bus. Aquestes van començar operacions al setembre de 2017 en tres línies que connecten el centre de la ciutat amb àrees suburbanes.
- Vehicles i infraestructura de recàrrega:

**VEHICLE SPECIFICATIONS**

Vehicle Brand	20 x BYD
Vehicle Model	K9 (Variant of BYD 12m Overseas)
Vehicle Length	12m
Total passenger capacity	83
Air Conditioning	Yes
Heating	Yes (diesel)
Overnight charging	Plug at the depot (5h)
On-board energy storage capacity	324kWh

Figura 3.19 Especificacions dels nous autobusos elèctrics de Turin. Font: ZeEUS eBus Report #2

- Conclusions: Segons GTT el repte actual dels autobusos elèctrics és el manteniment del vehicle, que és diferent dels convencionals. També el procediment de càrrega, que és molt important, així com la formació dels conductors per tal de recarregar el vehicle adequadament i mantenir els torns de treball acordats.

## 6. BADAJOZ:

- Estratègia: Badajoz també vol modernitzar el seu transport públic incorporant autobusos elèctrics a la seva flota. Badajoz és la tercera ciutat espanyola que es decideix per la marca BYD, després de València i, més recentment, a Badalona. Durant el febrer de 2018, la ciutat va ser el banc de proves del nou model d'autobús BYD, convertint-se en la primera ciutat espanyola a provar el model, que encara que n'hi hagi 30.000 circulant per tot el món, s'ha construït per primer cop a Europa. Un cop els autobusos estiguin operatius, Badajoz serà la primera ciutat espanyola amb major número d'autobusos elèctrics i la ciutat europea amb major percentatge de tecnologia elèctrica urbana, amb un 40% de la seva flota funcionant amb electricitat.
- Vehicles i infraestructura de recàrrega: Aquest model BYD ha estat el tercer que ha provat la ciutat de Badajoz, amb l'objectiu de prendre una decisió final per la seva estratègia de mobilitat elèctrica. Finalment, a juny de 2018 s'ha ordenat la compra de 15 autobusos totalment elèctrics i 5 minibusos (que faran possible quatre noves rutes exprés). Les entregues estan programades durant la primavera de 2019.
- Conclusions:  
Els autobusos han costat 475.000€ cada un, suposant una inversió de 8,3M€, que l'ajuntament la finança allargant la concessió a Tubasa, qui assumeix tot el cost.  
Per altra banda, Badajoz ofereix unes característiques especials de circulació, marcades entre altres per la seva climatologia i per tant, major consum per aire condicionat.

### 3.4.4 Models de finançament

Per fer front al problema dels costos inicials, s'estan creant nous models de negoci, com ara el "Leasing" de bateries, la compra conjunta i els autobusos compartits. La majoria d'aquests models s'estan implementant als EUA i Europa, on els preus de compra de l'autobús elèctric són, en mitjana, molt més alts que a la Xina.

#### 1. Acord d'arrendament per les bateries: Projecte Park City (Utah) mitjançant Proterra

Una manera de reduir els costos inicials de la mobilitat elèctrica és pagar per l'autobús però llogar la bateria. Aquesta opció es va dur a terme per primera vegada a Utah (EUA) pel fabricant Proterra. Park City Transit va comprar sis autobusos elèctrics purs (Proterra Catalyst FC+) mentre que el cost de la bateria es compensava mitjançant un acord de 12 anys (vida útil de la bateria) a través d'un pagament fix. D'aquesta manera el pagament de les bateries es treia dels fons d'operació i es reduïa el risc en relació a la vida útil de la bateria i el seu reemplaçament.

#### 2. Unir forces: l'Agència de Transport municipal de San Francisco i King Country

Una altra manera de reduir els costos de compra és a través de les economies d'escala, mitjançant la unió de dos ciutats o dos operadors de transport per tal d'aconseguir una millor oferta per un contracte major.

Al 2013, el metro King Country (Washington) va aconseguir un contracte amb New Flyer, un fabricant d'autobusos elèctrics i troleibús, per la compra de 500 troleibús durant un període de 5 anys. Més tard, la

ciutat de San Francisco va firmar un "Acord d'assignació d'autobús" amb King County i New Flyer, amb el dret d'obtenir 333 troleibús de l'anterior contracte.

El fet d'ajuntar agents per aconseguir un millor preu té uns reptes associats: moltes ciutats tenen requeriments diferents, els temps d'entrega poden no coincidir i la unificació dels contractes poden portar molt de temps.

### 3. Acord d'arrendament pels autobusos elèctrics: Varsòvia

El 2017, un consorci creat per Solaris Bus & Coach i BZ WBK Leasing van signar un acord d'arrendament amb l'operador de trànsit Miejskie Zakłady Autobusowe (MZA) a Varsòvia. L'acord era pel lliurament de 10 autobusos Solaris Urbino12 i va arribar a uns 7M€. És un acord d'arrendament de capital, sota el qual MZA opera i gestiona els autobusos, i després de sis anys es converteix en propietari. L'arrendament es pot pagar mitjançant subvencions o ingressos d'explotació.

A diferència de Varsòvia, també hi ha altres ciutats que trien una opció una mica més complicada, en què després de l'acord d'arrendament, la ciutat / operador de l'autobús no es converteix en propietari de l'actiu, sinó que l'autobús es transfereix a un altre ciutat o país, on encara no existeixen contractes d'arrendament similars.

### 4. Arrendament d'explotació

A diferència d'un arrendament de finançament/capital, un arrendament operatiu manté tots els riscos i avantatges de propietat del costat de l'empresa d'arranjament. Normalment, un arrendament operatiu es realitza durant una període de temps curt, durant el qual el client arriba a utilitzar l'actiu a canvi dels pagaments de lloguer - no obstant, els pagaments no cobreixen el cost total de l'actiu. Per tant, molt sovint els contractes d'arrendament contenen components addicionals, com ara contractes de manteniment de vehicles.

Durant el 2017, New York's Metropolitan Transportation Authority Board va aprovar l'arrendament de cinc autobusos elèctrics per un programa pilot amb l'objectiu d'avaluar el rendiment d'aquests a la ciutat. Els autobusos provenien de Proterra, aquesta també va fer un arrendament sobre sis estacions de càrrega a cotxera. Els autobusos elèctrics van començar a funcionar el desembre de 2017 i el valor del contracte era d'uns 3,5M€ durant tres anys. Durant el termini d'arrendament, es valoraran els beneficis econòmics, ambientals i de rendiment dels autobusos.

## 3.4.5 Projectes europeus:

### 3.4.5.1 Projecte ZeEUS (nov 2013 – abril 2017):

ZeEUS, sistema d'autobus urbans Zero Emission, finançat per la Unió Europea i coordinat per UITP, té l'objectiu de desenvolupar la xarxa d'autobusos urbans amb vehicles 100% elèctrics d'alta capacitat. Encaixa amb l'objectiu de la Comissió Europea de crear un sistema de transport competitiu i sostenible.

El projecte ZeEUS està actualment provant tecnologies innovadores d'autobusos elèctrics amb diferents solucions d'infraestructura de càrrega en deu llocs de demostració d'Europa. Gràcies a diverses

característiques geogràfiques i topogràfiques, les demostracions ZeEUS proven la viabilitat econòmica, ambiental i social de les solucions elèctriques.

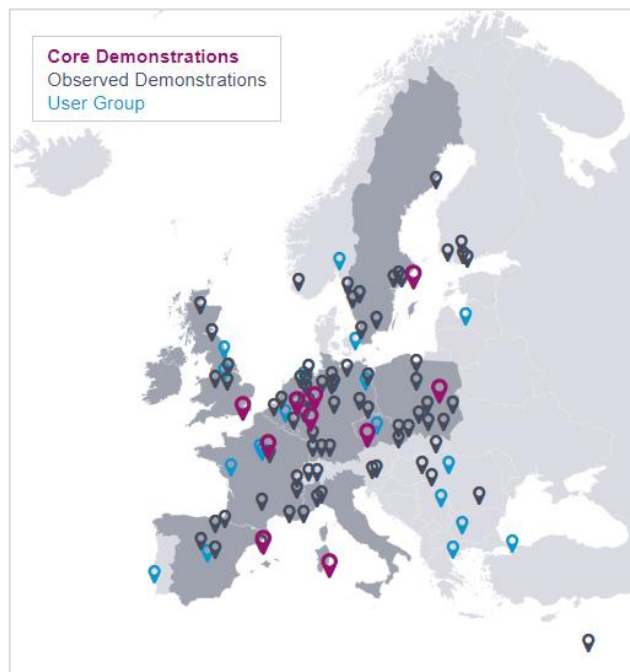


Figura 3.20 Influència del projecte ZeEUS.

#### 3.4.5.2 Projecte ELIPTIC (juny 2015 – maig 2018):

El projecte ELIPTIC també està finançat per la Unió Europea i pretén estudiar la integració entre els autobusos elèctrics i les infraestructures de transport públic elèctric existents.

ELIPTIC es centra en l'ús dels sistemes de transport públic elèctric existents (incloent el tren lleuger, el metro, el tramvia i el troleibús) per a l'electrificació d'enfocaments de mobilitat multimodal en el context urbà, suburbà i també menys urbà. El concepte general que sustenten l'ELIPTIC és que es pot donar suport a la incorporació de vehicles elèctrics a un cost més eficient integrant la infraestructura de transport públic elèctric existent per a usos polivalents.

Per assolir aquest objectiu, ELIPTIC analitza 20 conceptes dins de les 11 ciutats (Barcelona, Bremen, Brussel·les, Eberswalde, Gdynia, Lanciano, Leipzig, Londres, Oberhausen, Szeged i Varsòvia) i en tres pilars temàtics.





Figura 3.21 Influència del projecte Elíptic.

### 3.4.5.3 Projecte ASSURED (oct 2017 – sep 2021):

ASSURED també està finançat per la Unió Europea i coordinat per UIPT, i pretén estudiar la l'electrificació dels vehicles de transport urbà a través de solucions avançades de recàrrega ràpida.

El projecte es va iniciar l'octubre de 2017 amb l'objectiu de desenvolupar i provar solucions d'alta potència per a aplicacions de mida completa, urbana i pesada. L'objectiu fonamental és que cadascuna d'aquestes solucions pugui cobrar diversos tipus de vehicles, i que estiguin dissenyats per subministrar energia a tota una flota d'autobusos. L'objectiu és carregar diferents vehicles utilitzant la mateixa infraestructura, és a dir, provar per primer cop la interoperabilitat de solucions de càrrega aplicades, per tal de reduir costos i donar suport a la normalització dels elements de la infraestructura.



ASSURED LAUNCH EVENT IN BARCELONA: 16 NOVEMBER 2017



Published on 16 November 2017  
Start of the European innovation project ASSURED for the fast-charging of electric vehicles.  
For this event four teams of engineers from six different countries will be participating.

Figura 3.22 Assured es va llençar a Barcelona el Novembre de 2017.

#### 3.4.5.4 Projecte UNPLUGGED:

El projecte UNPLUGGED té com a objectiu investigar com l'ús de la càrrega inductiva dels vehicles elèctrics en entorns urbans millora la conveniència i la sostenibilitat de la mobilitat basada en els automòbils. En particular, investiga com la infraestructura intel·ligent de càrrega inductiva pot facilitar la integració total dels vehicles elèctrics als sistemes viaris urbans, alhora que millora l'acceptació del client i la seva funcionalitat. UNPLUGGED pretén examinar detalladament la viabilitat tècnica, els problemes pràctics, la interoperabilitat, la percepció de l'usuari i els impactes socioeconòmics de la càrrega inductiva. Com a variant especial, s'investiga a fons la càrrega inductiva en ruta.



Figura 3.23 Socis del projecte UNPLUGGED.

#### 3.4.5.5 Projecte FABRIC:

FABRIC té com objectiu l'anàlisi de viabilitat i el desenvolupament de solucions de càrrega en carretera pels futurs vehicles elèctrics.

La visió de FABRIC és l'adopció a gran escala de vehicles elèctrics purs pels futurs sistemes de transport. Aquest ampli desplegament requereix que la tecnologia elèctrica maduri i que les solucions proporcionin una experiència a l'usuari similar a la dels cotxes actuals.

El desafiament principal que aborda FABRIC és la "ansietat d'autonomia" que és causada per l'autonomia limitada que tenen els vehicles elèctrics actuals. Ara ve, a llarg termini, els vehicles elèctrics podrien recopilar energia des de la carretera, de manera conductiva o sense contacte.

FABRIC analitza la comparació amb els paradigmes actuals de la capacitat d'emmagatzematge de les bateries, de les càrregues ràpides o de les bateries intercanviar, les solucions avançades de càrrega en carretera milloraran el rang d'autonomia i la durada de la bateria dels vehicles elèctrics purs, així com la seva eficiència energètica i preu, necessitant així una bateria més petita.

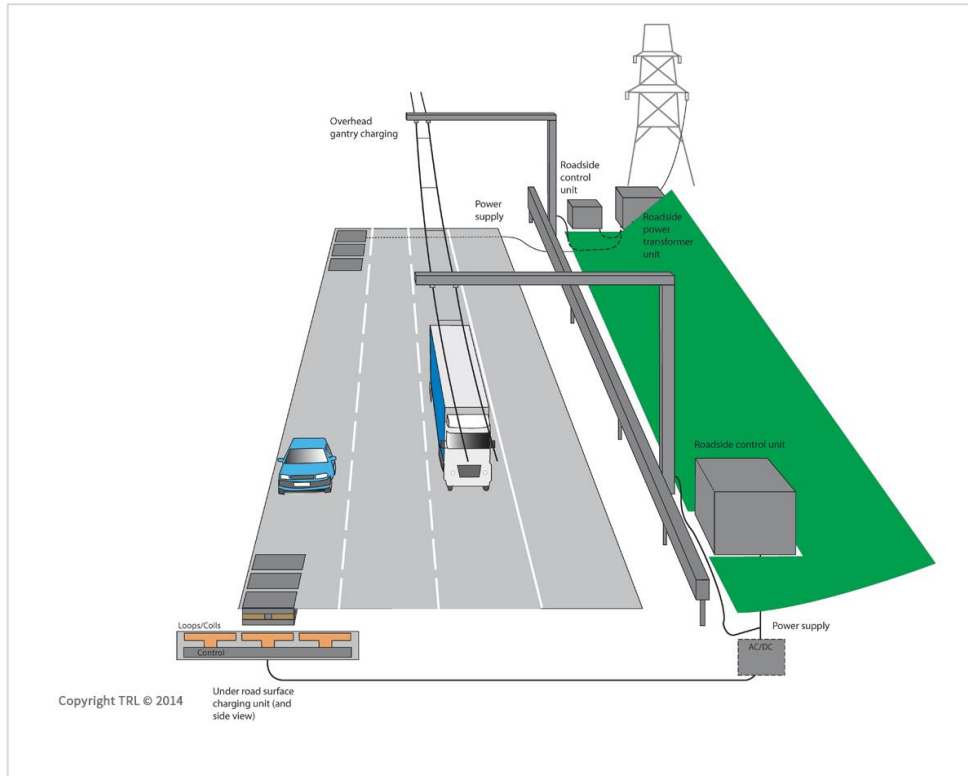


Figura 3.24 Esquema dels casos analitzats al projecte FABRIC.

### 3.5 Marc Normatiu

En aquest punt es tractaran els marcs normatius segons la normativa existent sobre comunicacions i normalització dels punts de càrrega, així com el maquinari en cada un d'aquests punts de càrrega.

Si considerem els autobusos elèctrics, aquests compleixen les mateixes normatives que qualsevol altre vehicle elèctric del mercat actual. Fa uns anys molts fabricants d'autobusos i vehicles pesats proposaven l'ús dels seus propis protocols, però això va en contra de la interoperabilitat i fa que els usuaris finals, operadors públics i privats, no acceptin aquestes solucions. En el seu lloc s'han adaptat les normatives, tant europees com asiàtiques, de vehicles elèctrics i en l'actualitat s'està treballant en grups específics que normalitzaran aquestes normatives de manera específica per a vehicles pesats. Des del punt de vista normatiu tindriem diferents estàndards a seguir:

- **IEC 61851**, aquesta norma és la que defineix els estàndards de comunicacions i físics per a vehicle elèctric tant per a la càrrega en AC com en la càrrega en DC. A partir d'aquesta norma es defineixen les altres més específiques.
  - IEC 61851-1, definicions generals dels tipus de càrrega.
  - IEC 61851-22, normativa específica per a la càrrega en AC. Tots els carregadors AC siguin de la manera que siguin compleixen aquesta normativa.
  - IEC 61851-23 i 24, normativa específica per a la càrrega en DC. Defineix a molt alt nivell les opcions de càrrega en DC.
- **CHAdeMO**, encara que no és una normativa com a tal sí que és un dels estàndards més seguits a tot el món. Inicialment va ser definida per un grup d'empreses japoneses liderada per l'elèctrica japonesa TEPCO i recolzada pels fabricants de vehicles Nissan i Mitsubishi. Actualment és la més estesa i disposa d'un nombre de carregadors per a vehicles elèctrics molt gran a nivell mundial. Les seves comunicacions es basen en el protocol CAN i hi ha instal·lacions adaptades per a autobusos elèctrics al Regne Unit. Malgrat tot, la càrrega permesa fins ara no és superior a 50 kW i s'està treballant en ampliar-la en següents revisions de la norma.
- **CCS**, o anomenat protocol Combo realment és el nom d'una sèrie de normatives en definició que tracten d'estandarditzar la càrrega per a vehicles elèctrics a nivell mundial. Dins d'aquests estàndards s'està redactant per a càrrega en AC, càrrega en DC o càrrega inductiva. També per a vehicles utilitaris i pesats.
  - **ISO15118**. Aquesta normativa té diversos apartats molts dels quals en contínua evolució o encara en estat de draft. La càrrega en DC per a vehicles particulars amb protocols de comunicació d'alt nivell està totalment definida, encara que existeixen molts interrogants en punts oberts com el pagament amb identificació, transferència de multimèdia, identificacions en vehicles industrials i altres informacions. La càrrega en AC amb protocols de comunicació d'alt nivell està en procés de definició, encara que amb dates d'esborrany. La càrrega inductiva està en fase de definició sense data d'esborrany.
  - **DIN70121**. Aquesta norma sorgeix de la congelació en l'any 2012 de la ISO15118 davant la necessitat dels fabricants de vehicles elèctrics d'estandarditzar la càrrega en DC. És una normativa alemanya adaptada a tot Europa i en molts països del món. Actualment la versió

oficial és del 2014 encara que igual que va evolucionar des del 2012 ha seguit fent-ho, encara que sense publicacions posteriors. La majoria dels fabricants de vehicles pesats que comuniquen amb CCS ho fan realment amb DIN70121.

- **CCS1.** Hi ha un grup de treball europeu anomenat Charin format per empreses que col·laboren per l'estandardització de la ISO15118 i que s'han compromès a evolucionar aquest estàndard. Segons aquest grup la versió actual de la ISO15118 és l'anomenada CCS1 i està totalment publicada.
- **CCS2.** La versió CCS2 del protocol inclourà càrrega intel·ligent en AC amb comunicacions d'alt nivell. Aquesta versió del protocol hauria d'haver-publicat ja (últim trimestre del 2017)
- **CCS3.** La versió CCS3 del protocol hauria d'incloure prestacions molt interessants per a tot tipus de vehicles. Entre elles:
  - comunicacions Wireless. no existeix
  - Càrrega inductiva.
  - V2G
  - Càrrega vehicles pesants mitjançant pantògraf.

## 4 Tecnologia de Recàrrega

### 4.1 Recàrrega amb pantògraf

La recàrrega mitjançant pantògraf s'està estenent. Encara que aquest tipus de càrrega no s'estandarditzarà fins a l'arribada de la versió CCS3, explicació de la versió CCS3 en l'apartat interfície infraestructura, s'està imposant a marxes forçades per la necessitat del mercat. Hi ha dos tipus de pantògraf en el mercat:

- Càrrega mitjançant pantògraf estàndard.

Aquest pantògraf es munta en el vehicle, normalment a l'eix davanter, i en la infraestructura s'instal·la una campana receptora que fa d'interfície. El cost de la infraestructura es redueix considerablement i es redueixen els riscos de paràlisi de la línia en cas de fallada mecànica del pantògraf ja que en aquest cas únicament es pararia un autobús i no tota la infraestructura. El principal fabricant de pantògrafs és Schunk que disposa de patent, encara que existeixen altres fabricants com Stemmann. Aquests pantògrafs tenen dos tipus de connexió 5 pols (DC +, DC-, PE, PP i CP) o 4 pols (DC +, DC-, PE i CP). En aquest últim eliminem el pin de proximity fent aquesta funció el propi pilot.

- Càrrega mitjançant pantògraf invertit

Aquest pantògraf es munta en la infraestructura i en l'autobús es munten dos rails simplement. Aquesta solució abarateix considerablement el cost de l'autobús per substituir un pantògraf per dos simples rails, però encareix d'una manera molt elevada la infraestructura per no només afegir el cost d'un pantògraf especial sinó també per la necessitat de reforçar el pal per rebre la nova mecànica. En aquest cas es prioritza el cost de l'autobús reduint en compres de flotes, encara que si finalment es precisa d'una infraestructura a cotxeres aquest cost es multiplica considerablement perquè no només tindrem la mateixa quantitat de pantògrafs, sinó que a més aquests pantògrafs són més complexos i la estructura que els rep ha d'estar degudament reforçada. A més, s'incrementa la complexitat de les comunicacions entre l'autobús i el punt de recàrrega a l'haver d'existir via Wireless i d'altra banda no hi ha una estandardització clara avui dia. A nivell de fabricants existeixen diversos entre els quals destaquen Shunk i Stemmann.



Figura 4.1.- Pantògraf invertit a la ciutat d'Hamburg

### 4.1.1 Estructura física pantògraf

Per tal de comprendre més acuradament la tipologia d'infraestructura de recàrrega anomenada pantògraf, s'ha considerat necessari mostrar la seva infraestructura física. Bàsicament la seva infraestructura pot ser resumida en:

- Campana del pantògraf.
- Pal d'interconnexió entre la xarxa elèctrica i la campana del pantògraf.
- Sistema de posta a terra
  - Situada en una caseta prefabricada propera al pantògraf, no integrada en la infraestructura.

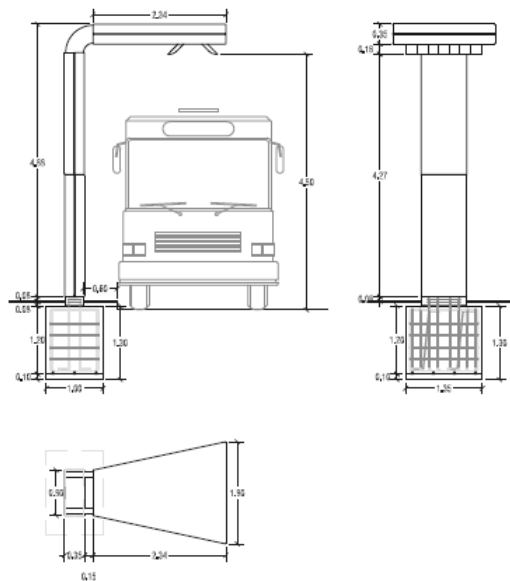


Figura 4.2.-Estructura física d'un pantògraf

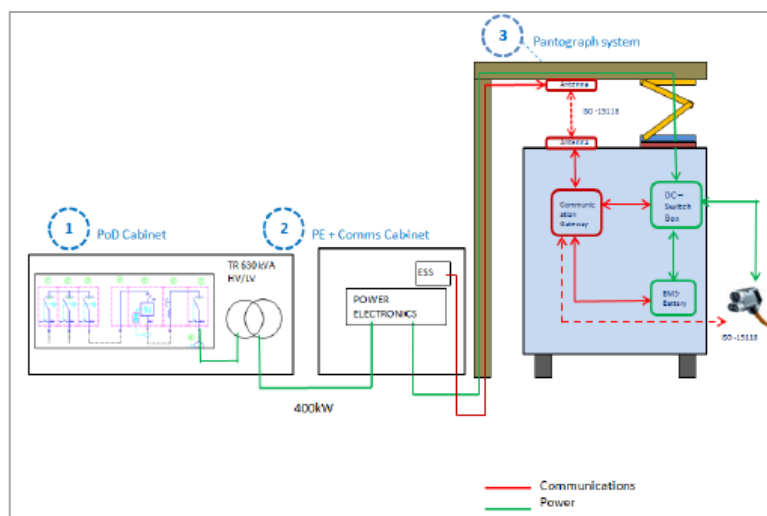


Figura 4.3.-Elements constituents d'un pantògraf invertit.

#### 4.1.2 Pantògraf càrrega ràpida

La modalitat de recàrrega ràpida per als busos elèctrics és aquella que s'anomena **d'oportunitat**, i està ubicada al llarg de la línia de transport, coincidint amb les parades i terminals dels autobusos. Aquest tipus de recàrrega és la més costosa però també és la que requereix d'un mínim canvi en la operació diària dels autobusos.

##### 4.1.2.1 Valoració econòmica pantògraf càrrega ràpida

##### Pantògraf estàndard

A continuació es mostra una referència econòmica de la instal·lació d'un pantògraf estàndard.

PARTIDA	TASCA REALITZADA	COST ECONÒMIC
	Pantògraf 300 kW	150.000 €
<b>PUNT DE RECÀRREGA</b>	Costos instal·lació cablejat	30.000 €
	Estructura	10.000 €
	Instal·lació cablejat en la estructura	1.000 €
	Interfície a l'estructura subterrània	10.000 €
	<b>Total punt de recàrrega</b>	<b>51.000 €</b>
<b>CONNEXIÓ A LA XARXA</b>	Centre de transformació 2 MVA	70.000 €
	Excavació i pavimentació	60.000 €
	Altres	40.000 €
	<b>Total connexió a la xarxa</b>	<b>170.000 €</b>
<b>TOTAL</b>		<b>371.000 €</b>

Taula 4.- Pressupost econòmic instal·lació d'unt pantògraf estàndard de 300 kW de potència.

##### Pantògraf invertit

A continuació es mostra una referència econòmica de la instal·lació d'un pantògraf invertit

PARTIDA	TASCA REALITZADA	COST ECONÒMIC
	Pantògraf 300 kW	150.000 €
<b>PUNT DE RECÀRREGA</b>	Costos instal·lació cablejat	30.000 €
	Estructura	10.000 €
	Instal·lació cablejat en la estructura	1.000 €
	Interfície a l'estructura subterrània	10.000 €
	<b>Total punt de recàrrega</b>	<b>201.000 €</b>
	<b>CONNEXIÓ A LA XARXA</b>	Centre de transformació 2 MVA
Excavació i pavimentació		60.000 €
Altres		40.000 €
<b>Total connexió a la xarxa</b>		<b>170.000 €</b>
<b>TOTAL</b>		<b>371.000 €</b>

Taula 5.- Pressupost econòmic instal·lació d'un pantògraf invertit de 300 kW de potència.



### 4.1.3 Pantògraf càrrega lenta

La modalitat de recàrrega lenta per als busos elèctrics està ubicada a les **cotxeres** de les flotes d'autobusos municipals. La recàrrega es realitza fora del període d'operació de l'autobús, normalment per la nit.

La recàrrega lenta és necessària en l'explotació dels autobusos. Els dos factors fonamentals que obliguen a una recàrrega lenta són els següents:

- Balanceig del voltatge de les bateries.  
La bateria està composta per diferents cel·les, cadascuna amb un potencial d'energia. El "BMS" (*Battery Management System*) de l'autobús ajuda a que es descarreguin equitativament. Però, per assegurar un bon balanceig s'ha de recarregar la bateria a potències baixes.
- Recàrrega la bateria al 100% de la seva energia útil.  
Per tal d'obtenir una recàrrega superior al 80% de la capacitat total de la bateria, la potència amb la que es recarreguen les bateries ha de ser baixa, entorn als 50-100 kW.

Seguidament es mostra un disseny esquemàtic d'una cotxera operant amb recàrrega lenta de pantògraf. Aquesta metodologia de recàrrega permet la recàrrega sense la interconnexió de cap cable, per tant no és necessària la mà d'obra humana per la connexió amb la xarxa elèctrica.

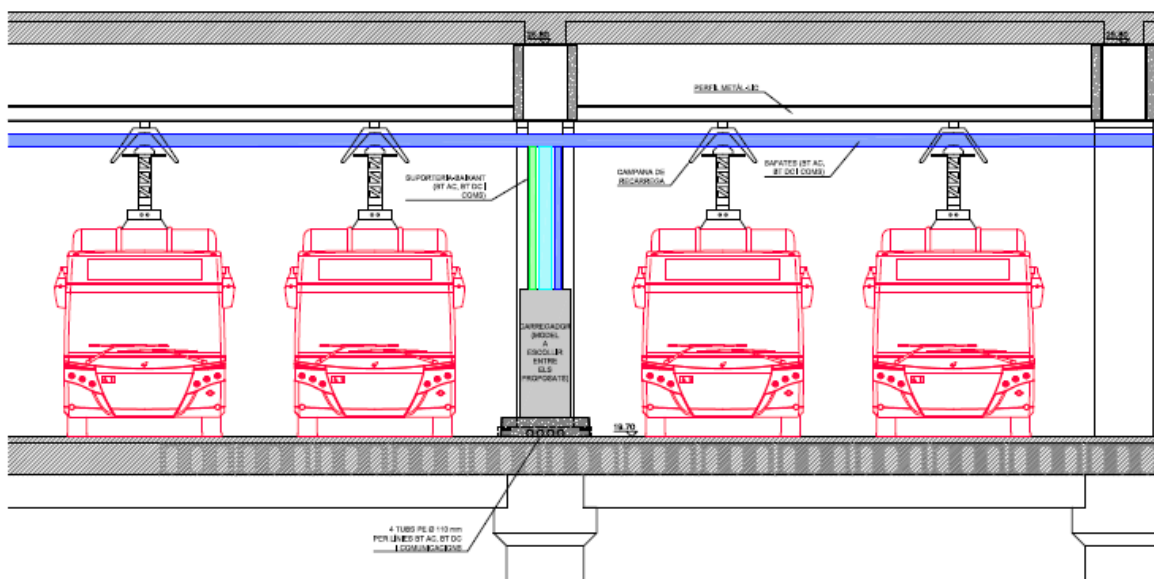


Figura 4.4.-Representació esquemàtica d'autobusos recarregant en una cotxera usant pantògrafs de baixa potència

Finalment es mostra amb més detall la ubicació del pantògraf, així com, les places a les que pot arribar a donar subministrament. Cal tenir present, que cada instal·lació es realitza adaptant-se a les especificacions estipulades per cada cotxera.

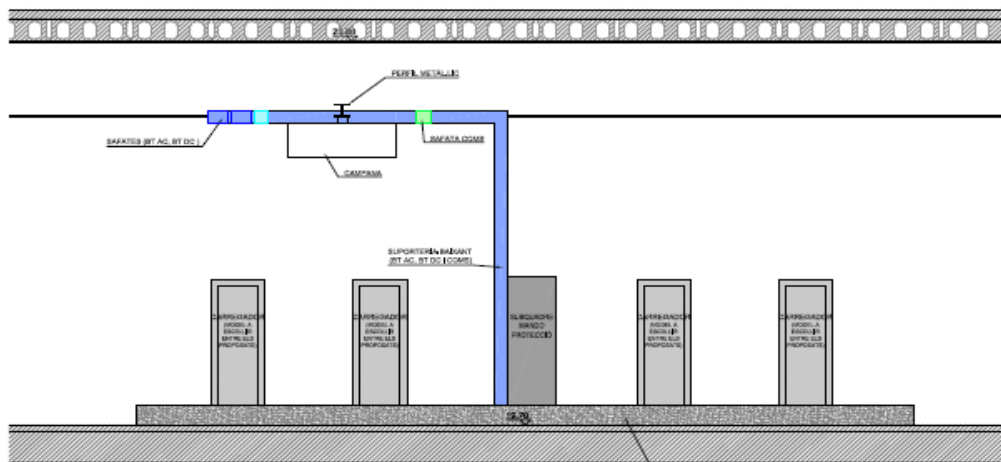


Figura 4.5.-Representació esquemàtica d'un pantògraf situat a cotxeres

#### 4.1.3.1 Valoració econòmica recàrrega lenta de pantògraf

L'impacte econòmic de la instal·lació d'una estació de recàrrega en cotxeres està basada en dos conceptes principals:

- Subministrament de potència
- Subministrament i instal·lació del sistema de recàrrega.

Cal tenir present que el cost econòmic del subministrament de potència i de les legalitzacions és el mateix que l'exposat en l'apartat de valoració econòmica de recàrrega lenta cablejada. Per tant, s'ha considerat més rellevant realitzar un benchmarking del cost econòmic del subministrament i instal·lació del sistema de recàrrega, el qual al tractar-se d'un pantògraf és de major rellevància.

#### Fabricant 1:

Tasca	Cost econòmic
Posada en funcionament	40.000+20.000
Desenvolupament OCPP	20.000
Marge	10%
<b>TOTAL</b>	<b>88.000</b>

Taula 6.-Cost fabricant 1 - instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres

#### Fabricant 2:

Tasca	Cost econòmic
Posada en funcionament	35.000+25.000
Desenvolupament OCPP	Inclòs en la posada en funcionament
Marge	10%
<b>TOTAL</b>	<b>65.000</b>

Taula 7.-Cost fabricant 2 - instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres

### Fabricant 3:

Tasca	Cost econòmic
Cost genèric	40.000
Marge	10%
<b>TOTAL</b>	<b>44.000</b>

Taula 8.-Cost fabricant 3 – instal·lació punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres

Finalment es detalla la valoració econòmica de la explotació d'una instal·lació d'un punt de recàrrega de 50 kW a cotxeres en el seu primer any.

Partida	Valoració Econòmica [€]
Subministrament i Instal·lació del sistema carregador per autobusos de 18m i 50 kW (cablejat, campana i rectificador)	40.000
Comprovació de proves FAT	22.000
Manteniment Anual	53.000
P.A Seguretat i Salut	6.200
<b>TOTAL</b>	<b>121.200</b>

Taula 9.- Valoració econòmica instal·lació punt de recàrrega a cotxeres

#### 4.1.4 Càrrega mixta

La càrrega mixta és aquella es produeix mitjançant la càrrega amb pantògrafs de recàrrega ràpida però a cotxeres, enlloc de al llarg de la línia com en el cas de la càrrega d'oportunitat. Aquest sistema s'utilitza en aquells autobusos que carreguen durant la nit a cotxeres, operen durant un cert període durant el matí, retornen a cotxeres durant dues hores aproximadament per tornar a carregar i poder finalitzar el següent torn de tarda.

La inversió associada a aquesta càrrega vindria donada per:

PARTIDA	TASCA REALITZADA	COST ECONÒMIC
<b>PANTÒGRAF</b>	Pantògraf 300 kW	150.000 €
<b>PUNT DE RECÀRREGA</b>	Costos instal·lació cablejat	30.000 €
	Estructura	10.000 €
	Instal·lació cablejat en la estructura	1.000 €
	Interfície a l'estructura subterrània	10.000 €
	Total punt de recàrrega	51.000 €
<b>Subministrament i Instal·lació del sistema carregador per autobusos de 18m i 50 kW (cablejat, campana i rectificador)</b>		<b>40.000 €</b>
<b>TOTAL</b>		<b>241.000 €</b>

## 4.2 Recàrrega cablejada

La modalitat de recàrrega cablejada per als busos elèctrics està ubicada a les cotxeres de les flotes d'autobusos municipals. La recàrrega es realitza fora del període d'operació de l'autobús, normalment per la nit. La recàrrega cablejada en un autobús es tracta d'una recàrrega a potències en el rang de (43 -200) kW en funció de la tipologia de càrrega. Es poden diferenciar tres tipologies de recàrrega lenta cablejada, en funció del seu connector.

### ➤ Càrrega en AC

Es possible recarregar els vehicles en AC, actualment segona normativa fins a 43 kW per connector. El connector en càrrega AC és el Mennekes. Hi ha casos que han explotat molt més aquest tipus de recàrrega. Per exemple el cas BYD disposa de dos connectors de 43 kW per tal de poder recarregar a 86 kW.



Figura 4.6.- Connector Mennekes

### ➤ CHAdeMO

El primer dels estàndards de càrrega en DC i el més estès a nivell mundial per l'adopció dels fabricants asiàtics i americans inicialment. Aquest estàndard està actualment limitat a 50 kW amb el que la càrrega de vehicles pesants es fa poc eficient per la durada.



Figura 4.7.- Connector CHAdeMO

### ➤ CCS

Igual que en els vehicles convencionals aquest és un dels protocols més utilitzats en els vehicles industrials i autobusos. S'està adaptant a les últimes versions de protocol i s'estan incorporant a aquests comitès per afegir prestacions especials que es requereixen per a aquest tipus de vehicles. En aquest cas la norma inclou connectors d'altres potències fins 150-200 kW i s'està treballant en potències de fins a 500 kW amb refrigeració líquida a la pistola.



Figura 4.8.- Connector CCS

#### 4.2.1 Carregador intel·ligents

Actualment, s'acostuma a disposar de carregadors nocturns intel·ligents, HVC (Heavy Vehicle Charger), permetent realitzar una càrrega adaptable a les necessitats a cada moment. Aquesta tipologia de carregadors està basada en la compartició d'una estació de recàrrega, usualment de 150 kW. Aquest repartiment de potència es realitza a través d'una estació de recàrrega interconnectada a tres caixes de recàrrega.

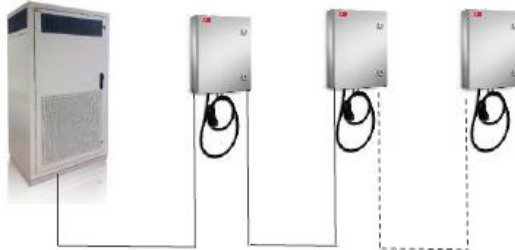


Figura 4.9.- Interconnexió entre l'estació de recàrrega principal i per realitzar la recàrrega de l'autobús

Per tal de mostrar una idea més clarificadora es mostra una representació amb CAD d'una flota d'autobusos recarregant mitjançant la càrrega lenta cablejada.



Figura 4.10.- Simulació CAD d'una flota d'autobusos realitzant una recàrrega cablejada intel·ligent

Les característiques d'aquesta tipologia de càrrega són les següents:

- Un carregador de 150 kW recarrega fins a 3 autobusos.
- Reducció significant de la connexió a la xarxa. De 450 kW a 150 kW.
- Molt eficient econòmicament.
- Manteniment baix.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, aquesta tecnologia esta pensada per tal de satisfer dinàmiques del client de la manera més eficient, per fer-ho possible consta de 2 mètodes de recàrrega.

- Recàrrega seqüencial.
- Recàrrega simultània.

#### 4.2.1.1 Recàrrega seqüencial: Recàrrega semi-ràpida

La idea d'aquesta tipologia de recàrrega està basada en 3 autobusos compartint un carregador de 150 kW. Cada autobús té assignada una caixa de recàrrega, la qual es endollada manualment. El seu funcionament és el següent:

1. El primer autobús comença la recàrrega a 150 kW (màxima potència). Un cop està recarregat la recàrrega s'atura.
2. Seguidament, el segon autobús comença a recàrrega fins al màxim amb una potència de 150 kW.
3. Finalment, el tercer autobús comença la seva recàrrega un cop ha acabat la recàrrega del segon.

Cal remarcar que els autobusos poden romandre endollats, sense realitzar la recàrrega.

#### 4.2.1.2 Recàrrega simultània: Recàrrega lenta

La idea d'aquesta tipologia de recàrrega, igual que en el cas anterior, està basada en 3 autobusos compartint un carregador de 150 kW. Però en la diferència que en aquest cas els tres autobusos realitzen la seva recàrrega al mateix temps, això sí, a 50 kW.

Aquesta tipologia de recàrrega és molt funcional per tal de realitzar un balanceig de voltatge en les cel·les de les bateries.

Finalment, cal remarcar que usualment es realitza una recàrrega mixta de recàrrega seqüencial i simultània, per tal d'optimitzar al màxim la potència contractada.

#### 4.2.1.3 Valoració econòmica recàrrega cablejada

L'impacte econòmic de la instal·lació d'una estació de recàrrega en cotxeres està basada en dos conceptes principals:

- Subministrament de potència
- Subministrament i instal·lació del sistema de recàrrega.

A continuació, es mostra el cost econòmic del subministrament de potència a les cotxeres del triangle. Cal tenir present que en aquest projecte en concret es va obtenir la potència elèctrica de la xarxa elèctrica del metro, però això depèn completament de la casuística del projecte igual que el cost de la obra civil. El que es mostra a continuació és el cost d'un cas específic per tal de donar un valor de referència.

		Descripció	Cost (€)	
SUBMINISTRAMENT DE POTÈNCIA	Cotxeres Metro	Reforma CT	215.176,53	
		Sala BT	1.133,76	
		Sala Comunicacions	2.389,79	
		MT	25.189,62	
		BT	7.063,00	
		COMS	8.599,40	
		<b>Subtotal</b>	<b>259.552,10</b>	
	Cotxeres Autobús	Sales tècniques	726.118,69	
		Baixa tensió	96.943,54	
		Comunicacions	35.284,21	
		Il·letes	26.303,39	
		Legalitzacions	20.290,00	
		<b>Subtotal</b>	<b>884.649,83</b>	
	Legalitzacions	Legalitzacions	20.290,00	
		<b>Subtotal</b>	<b>20.290,00</b>	
	<b>Subtotal</b>		<b>1.164.491,93</b>	
	PARTIDES ALÇADES	Partides alçades	Partides alçades	23.026,49
			<b>Subtotal</b>	<b>23.026,49</b>
		<b>Subtotal</b>	<b>Subtotal</b>	<b>23.026,49</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>Total</b>		<b>1.207.808</b>

Taula 10.-Pressupost per subministrament de potència en la instal·lació de les cotxeres de la planta baixa del Triangle.

Pel que fa referència a subministrament i instal·lació del sistema de recàrrega, s'ha considerat oportú mostrar el preu unitari.

- **Cost equip de recàrrega cablejada: 40.000 €**

### 4.3 Recàrrega per Inducció

La càrrega inductiva és una tipologia de recàrrega poc estesa. Aquest tipus de càrrega té uns estàndards de càrrega ja definits o en estat d'esborrany (IEC 61980, SAI J1773 i SAE J2954) però el mercat confia encara poc.

Les pèrdues no són menyspreables i els protocols de comunicació, igual que en el pantògraf invertit, no estan clars. Hi ha projectes pilots tant de càrrega inductiva estàtica com dinàmica a nivell europeu però la seva explotació és poc aconsellable. La potència màxima instal·lada de recàrrega d'aquesta tecnologia és de 100 kW.

#### Projecte Victoria a Màlaga

A la ciutat de Màlaga s'ha dissenyat un sistema de recàrrega inductiva dinàmica, s'ha dut a terme entre la Fundació Circe de Saragossa i l'empresa Enel. Esta basat un sistema de triple recàrrega: recàrrega semi-ràpida conductiva a cotxeres, càrrega parcial en una estació de recàrrega inductiva estàtica i recàrregues parcials en un carril de recàrrega inductiva dinàmica. A continuació es mostra el recorregut d'aquest projecte.

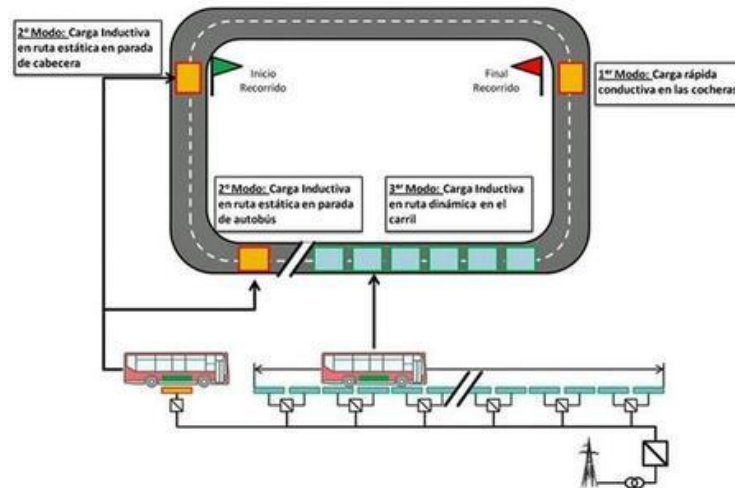


Figura 4.11.-Recorregut línia del projecte Victoria

A continuació es mostra l'ampliació del tram de recàrrega inductiva dinàmica.

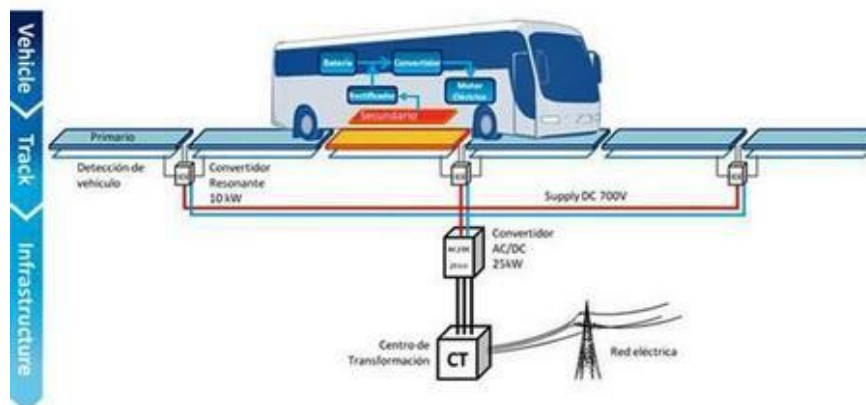


Figura 4.12.-Funcionament de la recàrrega inductiva dinàmica en el projecte Victoria



Seguidament es mostra un esquema de recàrrega per inducció estàtica.

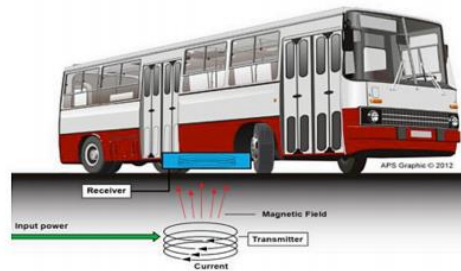


Figura 4.13.-Funcionament recàrrega inductiva estàtica

### Línia recàrrega inductiva estàtica a Madrid

El 29 de Desembre de 2017 es va presentar públicament el nou sistema de recarrega inductiva estàtica que ETRA ha entregat a EMT Madrid. El sistema permet la recarrega d'oportunitat propiciada per dos punts de carrega inductiva. Aquests punts estan situats a les dos capçaleres de la línia 76 de EMT.

Les característiques de la línia són les següents:

- N° parades: **42**.
- Longitud per trajecte: **14 km**.
- N° autobusos explotant la línia: **5 autobusos**

La recarrega per inducció s'efectua mitjançant un sistema de dos bobines magnètiques. Una situada a la part inferior de l'autobús i l'altra ubicada a la calçada. L'estació de recàrrega s'activa elèctricament quan reconeix un autobús amb bobina inductiva aturat just damunt.

Les característiques més rellevants del sistema de recàrrega són les següents:

- No suposa una recarrega de feina addicional pel conductor.
- Els autobusos disposen d'un sistema d'ajuda d'aparcament sobre el punt de recarrega.
- El sistema inclou una monitorització de la recarrega.
- No va ser necessària l'adquisició d'autobusos elèctrics, es va realitzar un retrofit de 5 autobusos híbrids dels quals ja disposava la EMT.
- Els autobusos recarreguen les seves bateries per la nit de forma conductiva.
- Les recarregues per oportunitat duren entre 6-8 minuts.

A continuació es mostra una imatge d'un autobús operant en aquesta línia, a més a més, també s'observa l'emplaçament de l'estació de recarrega per inducció pintada de color blau amb simbologia groga.



Figura 4.14.- Autobús amb recàrrega inductiva circulant en la línia 76 de la EMT

## 4.4 Vehicles elèctrics

### 4.4.1 Benchmarking fabricant autobusos elèctrics

A continuació es mostra un resum de la oferta de diferents fabricants d'autobusos:

Fabricant	Models					
	>18 m	18 m	12 m	Midi	Micro	Altres
BYD	NO	SI	SI	SI	SI	NO
IRIZAR	NO	SI	SI	SI	NO	NO
NEW FLYER	NO	SI	SI	SI	NO	NO
VDL	SI	SI	SI	SI	NO	NO
VOLVO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
SOLARIS	NO	SI	SI	NO	SI	NO
BLUEBUS	NO	NO	SI	NO	NO	SI (6m)
SKODA	NO	NO	SI	NP	NO	NO
EVOPRO	NO	SI	NO	NO	NO	NO

Taula 11.-Models d'autobusos en funció del fabricant

### 4.4.2 Autobusos > 18m

VDL SLFA-187	
Pes (kg)	29.000
Passatgers assentats	140
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	210
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 12.-Especificacions Autobús VDL SLFA-187

#### 4.4.3 Autobusos 18m

<b>VDL SLFA-180</b>	
Pes (kg)	29.000
Passatgers assentats	145
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	210
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria mínim	(30-70)%
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 13.-Especificacions Autobús VDL SLFA-180

<b>BYD 18m</b>	
Pes (kg)	28.000
Passatgers assentats	51
Passatgers de peu	99
Velocitat Màxima (km/h)	70
Potència motor (kW)	150 x 2
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria mínim	(30-70)%
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	15 %
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	4h
Potència càrrega	AC 40 kW x 2
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 14.-Especificacions Autobús BYD 18m

<b>Irizar 18m</b>	
Pes (kg)	31.000
Passatgers assentats	155
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	235 kW
Capacitat bateria (kWh)	90/150
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	18%
Potència climatització fred	35 kW
Potència climatització calor	28 kW
Sistema càrrega	Combo standard
Temps de càrrega	3 h
Potència càrrega	125 A
Sistema càrrega ràpida	5 min
Temps de càrrega ràpida	500 kW

Taula 15.-Especificacions Autobús Irizar 18m

<b>New flyer 18m</b>	
Pes (kg)	20.638
Passatgers assentats	61
Passatgers de peu	62
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	-
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 16.-Especificacions Autobús New Flyer 18m

<b>Solaris Urbino 18m</b>	
Pes (kg)	-
Passatgers assentats	47+1
Passatgers de peu	-
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	240 kW
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	Optional
Temps de càrrega ràpida	Optional

Taula 17.-Especificacions Autobús Solaris Urbino 18m

#### 4.4.4 Autobusos 12m

<b>VDL SLF-120</b>	
Pes (kg)	19.500
Passatgers assentats	92
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	153
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 18.-Especificacions Autobús Solaris VDL SLF-120 18m

<b>BYD 12m</b>	
Pes (kg)	19.000
Passatgers assentats	31
Passatgers de peu	59
Velocitat Màxima (km/h)	70/80
Potència motor (kW)	90/150 x 2
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	15/17
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	4h
Potència càrrega	AC 40 kW x 2
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 19.-Especificacions Autobús Solaris BYD 12m

<b>Irizar 12m</b>	
Pes (kg)	20.100
Passatgers assentats	82
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	180 kW
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	18 %
Potència climatització fred	35 kW
Potència climatització calor	28 kW
Sistema càrrega	Combo Standard
Temps de càrrega	6-7 h
Potència càrrega	125 A
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 20.-Especificacions Autobús Solaris Irizar 12m

<b>New flyer 12m</b>	
Pes (kg)	13.835
Passatgers assentats	40
Passatgers de peu	43
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	-
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 21.-Especificacions Autobús New flyer 12m

<b>Volvo 12m</b>	
Pes (kg)	19.000
Passatgers assentats	35
Passatgers de peu	70
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	160
Capacitat bateria (kWh)	4*19 *(3.72) =282
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	26
Potència climatització calor	26
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	6 min

Taula 22.-Especificacions Autobús Volvo 12m

<b>Solaris Urbino 12m</b>	
Pes (kg)	-
Passatgers assentats	37+1
Passatgers de peu	-
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	160 kW
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	Opcional
Temps de càrrega ràpida	Opcional

Taula 23.-Especificacions Autobús Solaris Urbino 12m

<b>BlueBus 12m</b>	
Pes (kg)	20.000
Passatgers assentats	100
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	70
Potència motor (kW)	-
Capacitat bateria (kWh)	272
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 24.-Especificacions Autobús BlueBus 12m



<b>Skoda 12m</b>	
Pes (kg)	-
Passatgers assentats	27
Passatgers de peu	58
Velocitat Màxima (km/h)	80
Potència motor (kW)	160
Capacitat bateria (kWh)	222
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	6-8 h
Potència càrrega	-
Potència càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	70 min

Taula 25.-Especificacions Autobús Skoda 12m

<b>Skoda Fast-Charge 12m</b>	
Pes (kg)	-
Passatgers assentats	27
Passatgers de peu	58
Velocitat Màxima (km/h)	80
Potència motor (kW)	160
Capacitat bateria (kWh)	78
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Potència càrrega ràpida	370 A
Temps de càrrega ràpida	6 min

Taula 26.-Especificacions Autobús Skoda Fast-Charge 12m

#### 4.4.5 Autobusos Midi

<b>VDL SLF-120</b>	
Pes (kg)	14.870
Passatgers assentats	63
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	153
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 27.-Especificacions Autobús VDL SLF-120

<b>BYD midi</b>	
Pes (kg)	18.000
Passatgers assentats	31
Passatgers de peu	49
Velocitat Màxima (km/h)	70/80
Potència motor (kW)	90 x 2
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	15 %
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	4h
Potència càrrega	AC 40 kW x 2
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 28.-Especificacions Autobús BYD midi

<b>Irizar 10m</b>	
Pes (kg)	20.100
Passatgers assentats	76
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	180
Capacitat bateria (kWh)	282-329
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	18 %
Potència climatització fred	35 kW
Potència climatització calor	28 kW
Sistema càrrega	Combo standard
Temps de càrrega	6-7 h
Potència càrrega	125 A
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 29.-Especificacions Autobús Irizar 10m

<b>New flyer 10m</b>	
Pes (kg)	13.290
Passatgers assentats	32
Passatgers de peu	33
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	-
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 30.-Especificacions Autobús New flyer 10m

<b>Solaris Urbino midi</b>	
Pes (kg)	-
Passatgers assentats	24
Passatgers de peu	-
Velocitat Màxima (km/h)	-
Potència motor (kW)	120 kW
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	-
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 31.-Especificacions Autobús Solaris Urbino midi

#### 4.4.6 Autobusos Micro

<b>BYD micro</b>	
Pes (kg)	13.000
Passatgers assentats	22
Passatgers de peu	36
Velocitat Màxima (km/h)	70
Potència motor (kW)	90 x 2
Capacitat bateria (kWh)	-
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	17 %
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	2 h
Potència càrrega	AC 40 kW x 2
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 32.-Especificacions Autobús BYD micro

#### 4.4.7 Altres

<b>BlueBus 6m</b>	
Pes (kg)	10.536
Passatgers assentats	21
Passatgers de peu	
Velocitat Màxima (km/h)	50
Potència motor (kW)	-
Capacitat bateria (kWh)	90
Rang operació bateria	-
Vida útil bateria	-
Pendent màxim superable	-
Potència climatització fred	-
Potència climatització calor	-
Sistema càrrega	-
Temps de càrrega	8 h
Potència càrrega	-
Sistema càrrega ràpida	-
Temps de càrrega ràpida	-

Taula 33.-Especificacions Autobús BlueBus 6m

## 4.5 Altres tipologies de vehicles

### 4.5.1 Vehicles híbrids elèctrics

#### Tecnologia:

Un autobús híbrid elèctric és aquell que combina un motor de propulsió convencional (motor de combustió interna) amb un motor elèctric. Existeixen diferents sistemes de funcionament en un híbrid:

- **Sèrie:** No existeix connexió mecànica entre el motor de combustió i la transmissió. La energia del motor de combustió carrega la bateria. La bateria alimenta un motor elèctric que realitza la tracció del vehicle.
- **Paral·lel:** El motor de combustió realitza la tracció i genera electricitat per la bateria, el motor elèctric ajuda en la tracció.
- **Mix:** El vehicle realitza una combinació dels dos sistemes descrits.

A continuació es realitza una classificació del vehicle híbrid en funció del seu sistema de recàrrega:

- **Recàrrega motor combustió:** El vehicle es recarregat únicament a través del motor de combustió interna. Acostuma a disposar bateries de baixa capacitat energètica (1-2 kWh).
- **Recàrrega motor combustió + endollable:** El vehicle es recarregat usualment a través del motor de combustió intern, però disposa de la recàrrega lenta cablejada en cotxeres. La capacitat de la seva bateria acostumen a ser més elevades (2-5kWh).
- **Recàrrega motor combustió + endollable + pantògraf:** El vehicle disposa de les tecnologies de recàrrega exposades en els altres casos més la opció de recàrrega d'oportunitat que proporciona el pantògraf. És la tipologia híbrida amb les capacitats de bateries més elevades. (5-10 kWh).

#### Desenvolupament del mercat:

El vehicle híbrid ha estat disponible i usat durant 10-15 anys en algunes ciutats europees. Cal remarcar, que la tipologia de vehicle híbrid endollable és més immadura per tant no hi ha tanta experiència en el seu ús. A continuació es mostren algunes experiències en l'usatge d'aquest vehicle.

#### Experiències.

- **Londres:** Actualment disposa de 650 autobusos híbrids en ús. Els quals tenen la mateixa proporció d'usabilitat que els autobusos dièsel estàndards.
- **Hannover:** L'operador de flotes de la ciutat de Hannover, ÜSTRA, va provar per primera vegada l'autobús híbrid Urbino a 2008. La ciutat va experimentar una fase operativa reeixida de deu autobusos híbrids entre 2011 i 2013. Hannover s'ha compromès a seguir centrant-se en els autobusos híbrids a la vora futur a causa de la seva experiència positiva amb la tecnologia en termes de fiabilitat, fiabilitat, temps d'acceleració ràpida, desacceleració suau i funcionament silenciosos.
- **Dordrecht:** Primera ciutat en està composta completament per autobusos híbrids.

## 4.5.2 Vehicles de pila de combustible

### Tecnologia:

Un vehicle de pila de combustible és un tipus de vehicle elèctric que utilitza una pila de combustible en substitució d'una bateria elèctrica. Cal remarcar que, existeixen alguns models que combinen la pila de combustible amb bateries de menor capacitat o super condensadors. La pila de combustible genera electricitat per alimentar el motor mitjançant l'oxigen de l'aire i la compressió d'hidrogen. Les seves emissions són vapor d'aigua i calor. Per aquest motiu estan considerats vehicles de 0 emissions.

Tècnicament un vehicle elèctric i un vehicle de pila de combustible consisteix dels mateixos elements a excepció de la bateria, però la resta d'arquitectura interna és la mateixa. Cal tenir present que al tractar-se d'un sistema diferent d'emmagatzematge d'energia el sistema de recàrrega també difereix dels vehicles elèctrics. En aquesta tipologia de vehicles s'ha de reomplir l'hidrogen emmagatzemat en el dipòsit.

### 4.5.2.1 Explotació a Europa

Aquesta tipologia d'autobús no és molt freqüent, però certes ciutats en Europa l'estant explotant i algunes tenen la intenció de fer-ho en un futur pròxim. A continuació és mostra un plànol europeu amb les ciutats que disposen d'aquesta tecnologia i les que tenen intenció d'implementar-la.

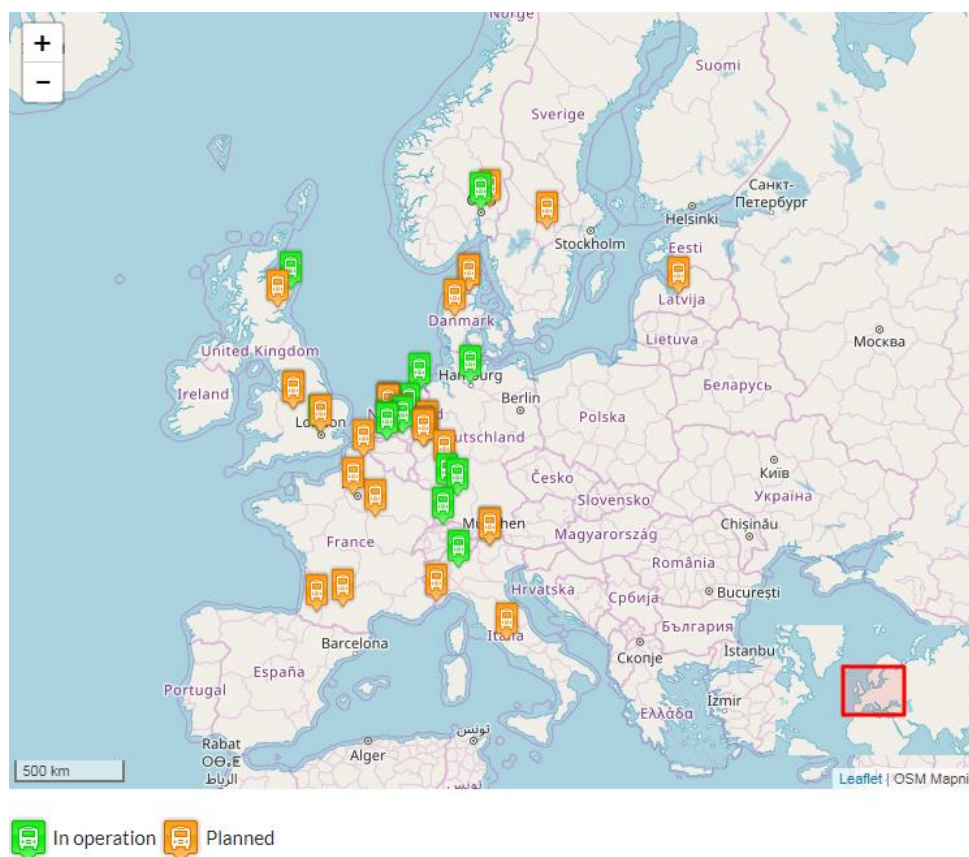


Figura 4.15.- Distribució dels autobusos a Europa que utilitzen la cel·la de combustible com a font d'energia

#### 4.5.2.2 Models de vehicles de pila de combustible

Seguidament es realitza un benchmarking de caràcter més tècnic sobre els diferents autobusos que operen en les ciutats mostrades en la figura superior.

Ciutat	Data inici explotació	Fabricant autobús	Fabricant cel·la combustible	Tipologia autobús	Capacitat emmagatzematge hidrogen	Nº de passatgers
AUTOBUSOS OPERANT						
Aberdeen	2014	Van Hool	Ballard	13 m	50 kg, 10 tancs	70
Antwerp	2014	Van Hool	Ballard	13 m	40 kg, 8 tancs	103
Argau	2011	Mercedes	Ballard	12 m	40 kg, 8 tancs	-
Bolzano	2013	Mercedes	Ballard	12 m	35 kg, 7 tancs	-
Cologne	2015	Van Hool	Ballard	13 m	40 kg, 8 tancs	-
Cologne	2013	APTS	Ballard	18 m	40 kg, 8 tancs	-
Hamburg	2011	Mercedes	Ballard	12 m	35 kg, 7 tancs	-
Hamburg	2013	Solaris	Ballard	18 m	45 kg, 9 tancs	-
London	2010	Wrightbus	Ballard	12 m	30 kg, 4 tancs	-
Oslo	2013	Van Hool	Ballard	13 m	35 kg, 7 tancs	74
PLANIFICACIÓ INSTAURACIÓ AUTOBUSOS						
Groningen	-	Van Hool	Ballard	13 m	40 kg, 8 tancs	110
San Remo	-	Van Hool	Ballard	13 m	40 kg, 8 tancs	103
Helmond	-	VDL	Ballard	18 m	40 kg, 8 tancs	-

Taula 34.-Benchmarking de diversos autobusos de cel·la de combustible a Europa

#### 4.5.3 Trolleybus

##### Tecnologia:

Els trolleybuses són autobusos elèctrics que fan servir cables elèctrics per al subministrament d'electricitat. La majoria dels trolleybuses moderns tenen una Unitat de Potència Auxiliar (APU) per permetre algun tram amb operació independent. L'APU pot consistir en un motor Diesel més petit o una bateria.

Els trolleybuses ofereixen els avantatges dels autobusos elèctrics, sense els problemes relacionats amb la necessitat per a l'emmagatzematge de la bateria (rang reduït, el cost del reemplaçament de bateria, la col·locació de la bateria).

##### Desenvolupament del mercat:

La tecnologia s'ha utilitzat des de fa més de 100 anys i actualment hi ha més de 300 ciutats a tot el món que operen els trolleybuses. Hi ha diversos proveïdors de trolleybuses a Europa i a tot el món, sovint són combinació entre un fabricant d'autobús i un proveïdor de components elèctrics.

La recàrrega conductiva a través de cables elèctrics és una tecnologia madura i robusta, mentre que la recàrrega inductiva per a autobusos ha arribat a una fase de prova pilot.



Experiències:

- **Salzburg (Àustria):** La xarxa de troleibús és d'uns 100 kilòmetres de llarga, amb 86 troleibusos i capacitat per a 140.000 passatgers diaris. Al 2012 es va anunciar l'extensió del sistema de troleibús a partir d'una inversió de 2,7M€ que va permetre treure tres autobusos dièsel i estalviar de l'ordre de 50.000€ anuals en costos operacionals.
- **Tallin (Estònia):** Actualment estan operant 8 rutes (91 troleibusos). L'estratègia de l'ajuntament és millorar la flexibilitat del sistema reemplaçant els troleibusos per vehicles alternatius com el gas natural, híbrids o noves generacions de troleibús, que poden recórrer petites distàncies sense contacte elèctric.
- **Gdynia (Polònia):** Es van adaptar els autobusos convencionals a finals de 2012 per proporcionar nous troleibusos de pis baix que substituïen els models més antics.
- **Lausana (Suïssa):** durant el 2013 es van comprar 27 nous autobusos SwissTrolley4 que reemplacen els models de vella generació (troleibusos de dos eixos i remolcs de pis elevat)

## 4.6 Interfície infraestructura vehicle

A continuació es realitza un estudi dels protocols de comunicació establerts entre la infraestructura i el vehicle.

### 4.6.1 Recàrrega cablejada

**Càrrega amb protocols i/o connectors propietaris:** Fa uns anys molts fabricants d'autobusos i vehicles industrials utilitzaven protocols propietaris i connectors especials per a la seva càrrega. Progressivament s'ha vist que els operadors públics i privats necessiten d'una interoperabilitat que no estava permesa amb aquest ús i s'ha anat deixant de banda. Com a exemple els primers Irizar elèctrics usaven protocol Modbus o CAN per comunicar-se amb la infraestructura.

**CHAdemo:** Utilitza el protocol en CAN. Limitació de recàrrega a 50 kW per normativa.

**CCS:** Utilitza el protocol en PLC, en concret Home Green PLC. Ara com ara la gran majoria fan servir DIN70121, encara que cada vegada més s'utilitzen punts específics de la ISO15118. Interessant remarcar l'evolució prevista d'aquest protocol.

- CCS1. Hi ha un grup de treball europeu anomenat Charin format per empreses que col·laboren per l'estandardització de la ISO15118 i que s'han compromès a evolucionar aquest estàndard. Segons aquest grup la versió actual de la ISO15118 és l'anomenada CCS1 i està totalment publicada.
- CCS2. La versió CCS2 del protocol inclourà càrrega intel·ligent en AC amb comunicacions d'alt nivell. Aquesta versió del protocol hauria d'haver-publicat ja (últim trimestre del 2017)
- CCS3. La versió CCS3 del protocol hauria d'incloure prestacions molt interessants per a tot tipus de vehicles. Entre elles:
  - comunicacions Wireless. no existeix
  - Càrrega inductiva.
  - V2G
  - Càrrega vehicles pesants mitjançant pantògraf.

### 4.6.2 Recàrrega pantògraf

**Pantògraf estàndard:** Aquest pantògrafs disposa de dues opcions de protocols lògics.

- Propietari CAN: Inicialment havia fabricants d'autobusos elèctrics (Solaris, Linkker, Irizar, Temsa, ...) que utilitzaven protocols propietaris a través dels pantògrafs. Mitjançant protocols CAN o fins i tot altres s'aconseguia accedir als paràmetres de l'autobús i controlar el procés de càrrega d'una manera òptima però aquest tipus d'adaptacions bloquejava totalment la interoperabilitat exigida pels operadors. El fabricant d'autobús normalment ofería també el punt de càrrega i aquest no era compatible amb altres punts de càrrega o autobusos del mercat.

- CCS: En l'últim any s'està aconseguint que la totalitat dels fabricants d'autobusos i punts de càrrega ofereixin en els seus catàlegs aquest tipus de càrrega. Seguint normalment la DIN70121 i puntualment afegint comandaments específics de la ISO15118 s'aprofita l'existència del CP i el PE per a través d'ells transmetre via PLC el protocol de la mateixa manera que en la connexió cablejada anteriorment comentada. El primer projecte europeu de comunicació mitjançant pantògraf i protocol CCS es va realitzar a la ciutat de Barcelona sota el projecte Zeeus. Es van utilitzar dos autobusos del fabricant polonès Solaris i un carregador del fabricant també polonès Ekoenergetyka.

**Pantògraf invertit:** No existeix una estandardització clara, per lo tant, existeixen diversos protocols. S'ha considerat necessari mencionar els tres següents:

- Protocols propietaris: Hi instal·lacions, sobretot les antigues en què el protocol de comunicació entre el punt de càrrega i l'autobús es realitza amb protocols propis. Igual que en el cas de pantògrafs estàndards, aquestes instal·lacions van en contra de la interoperabilitat que desitgen els operadors i per tant van quedant en desús. Hi ha alguns exemples d'aquestes instal·lacions del fabricant Linkkerbus als països nòrdics.
- OPPCharge. És un consorci d'empreses, tant fabricants d'autobusos com de punts de càrrega, que intenta pressionar per l'estandardització de l'ús de pantògraf invertit seguint la normativa de CCS Wireless. Per a això tenen diversos pilots en ciutats europees on Volvo proporciona els autobusos i Abb o Siemens els punts de càrrega. Actualment altres fabricants d'autobusos com Solaris o Vectia i de punts de càrrega com Heliox o Ekoenergetyka s'han unit al grup per proporcionar alternatives. La màxima problemàtica que existeix en aquesta solució està en l'aproximació dels autobusos, la identificació inicial via Wireless i la posterior comunicació mitjançant CCS ja que cap d'aquests punts està estandarditzat encara i no existeixen normatives. Avui dia només els col·laboradors inicials permeten una interoperabilitat parcial i llevat que es comprin absolutament tots els autobusos i carregadors d'un únic fabricant la solució no és interoperable.
- Comunicacions WireLess o PLC: Un dels problemes que ens trobem tant amb protocols propietaris, com amb CCS com amb OPPCharge és que un cop el pantògraf està connectat ha dues opcions de continuar amb la comunicació, seguim amb comunicacions Wireless o passem a comunicacions PLC igual que el pantògraf estàndard . Hi ha fabricants que promulguen l'ús del PLC per treballar amb alguna cosa ja establert i comprovat encara que altres com els que segueixen OPPCharge afavoreixen l'ús de les comunicacions Wireless a tot el procés (aquesta última solució no tindrà normativa mentre no surti a la llum el CCS3).

#### 4.6.3 Recàrrega inductiva

Té uns estàndards de càrrega ja definits o en estat d'esborrany (IEC 61980, SAI J1773 i SAE J2954) però el mercat confia encara poc. Les pèrdues no són menyspreables i els **protocols** de comunicació, igual que en el pantògraf invertit, **no estan clars**.

## 4.7 Modes d'operació

### 4.7.1 Autobús elèctric càrrega Overnight

La modalitat de recàrrega lenta per als busos elèctrics i híbrids està ubicada a les cotxeres de les flotes d'autobusos municipals. La recàrrega es realitza durant el període de no operació de l'autobús, normalment per la nit. La recàrrega lenta és necessària en l'exploració dels autobusos.

Un autobús elèctric amb recàrrega a cotxeres, mètode Overnight, està dissenyat per poder treballar durant tota la seva jornada laboral sense recarregar la bateria. Per tal de complir aquesta premissa, les capacitats de les bateries d'aquests autobusos són força elevades. Actualment en el rang de (300kWh - 400kWh).

#### 4.7.1.1 Estudi autonomia autobús elèctric recàrrega overnight

A continuació, s'ha realitzat una matriu per tal de mostrar el ventall de possibilitats que ofereix aquesta tipologia d'autobús. Per realitzar aquest anàlisi s'han considerat cert factors:

- No solament les capacitats actuals d'aquesta tecnologia són interessants, sinó també, les possibilitats futures. Per aquest motiu s'ha realitzat l'anàlisi fins a una capacitat màxima de 500 kWh
- Rang d'operació de la bateria entre el 20% i el 80%, el qual implica que l'autobús disposarà de manera usual solament un 60% de la energia total. Aquesta mesura es implementada pels fabricants per tal d'allargar la vida útil de la bateria.
- La capacitat de la bateria no s'ha vist degradada per la seva antiguitat.
- Una autonomia mínima de 85,00 km.

	2 kWh/ km	2,4 kWh/ km	2,8 kWh/ km	3,2 kWh/ km	3,6 kWh/ km	4 kWh/ km
300 kWh	90,00 km	75,00 km	64,29 km	56,25 km	50,00 km	45,00 km
320 kWh	96,00 km	80,00 km	68,57 km	60,00 km	53,33 km	48,00 km
340 kWh	102,00 km	85,00 km	72,86 km	63,75 km	56,67 km	51,00 km
360 kWh	108,00 km	90,00 km	77,14 km	67,50 km	60,00 km	54,00 km
380 kWh	114,00 km	95,00 km	81,43 km	71,25 km	63,33 km	57,00 km
400 kWh	120,00 km	100,00 km	85,71 km	75,00 km	66,67 km	60,00 km
420 kWh	126,00 km	105,00 km	90,00 km	78,75 km	70,00 km	63,00 km
440 kWh	132,00 km	110,00 km	94,29 km	82,50 km	73,33 km	66,00 km
460 kWh	138,00 km	115,00 km	98,57 km	86,25 km	76,67 km	69,00 km
480 kWh	144,00 km	120,00 km	102,86 km	90,00 km	80,00 km	72,00 km
500 kWh	150,00 km	125,00 km	107,14 km	93,75 km	83,33 km	75,00 km

Taula 35.-Autonomia autobús elèctric en funció capacitat bateria i consum. Considerant rang operació bateria i estat inicial bateria

Seguidament es realitza el mateix anàlisi, però considerant una degradació del 80% de la capacitat màxima de la bateria, valor acceptat pel fabricant en l'últim any de vida útil de la bateria. La vida útil de la bateria acostuma a ser de 8 anys, tot i que, varia depenent del fabricant.

	2 kWh/ km	2,4 kWh/ km	2,8 kWh/ km	3,2 kWh/ km	3,6 kWh/ km	4 kWh/ km
300 kWh	72,00 km	60,00 km	51,43 km	45,00 km	40,00 km	36,00 km
320 kWh	76,80 km	64,00 km	54,86 km	48,00 km	42,67 km	38,40 km
340 kWh	81,60 km	68,00 km	58,29 km	51,00 km	45,33 km	40,80 km
360 kWh	86,40 km	72,00 km	61,71 km	54,00 km	48,00 km	43,20 km
380 kWh	91,20 km	76,00 km	65,14 km	57,00 km	50,67 km	45,60 km
400 kWh	96,00 km	80,00 km	68,57 km	60,00 km	53,33 km	48,00 km
420 kWh	100,80 km	84,00 km	72,00 km	63,00 km	56,00 km	50,40 km
440 kWh	105,60 km	88,00 km	75,43 km	66,00 km	58,67 km	52,80 km
460 kWh	110,40 km	92,00 km	78,86 km	69,00 km	61,33 km	55,20 km
480 kWh	115,20 km	96,00 km	82,29 km	72,00 km	64,00 km	57,60 km
500 kWh	120,00 km	100,00 km	85,71 km	75,00 km	66,67 km	60,00 km

Taula 36.- Autonomia autobús elèctric en funció capacitat bateria i consum. Considerat rang operació bateria i estat final de la seva útil.

Cal tenir present que l'autobús elegit per realitzar el recorregut designat ha de ser capaç de realitzar-lo al llarg de la seva vida útil, no solament els primers anys on la capacitat de la bateria és superior.

#### 4.7.1.2 Combinació tecnologies

Un cop s'han analitzats les avantatges i les limitacions d'aquesta tecnologia, autobús elèctric amb recàrrega Overnight, s'ha considerat oportú mencionar la possibilitat d'operar la línia per més d'un tipologia d'autobús.

En cas d'operar una línia amb fortes pendents i velocitats elevades, casuística on el consum és més elevat. L'autonomia d'un autobús elèctric pot no ser suficient per donar servei durant tot el dia. Existeix la possibilitat d'intercalar l'ús d'un autobús elèctric per altres tecnologies d'autobusos com:

- Autobús amb pila de combustible.
- Autobús híbrid.
- Autobús híbrid endollable.

La idea seria la següent, utilització de l'autobús elèctric al principi del servei, un cop la seva bateria s'hagi esgotat (sempre deixar certa bateria romanent pel trajecte de tornada a cotxeres) un autobús el substituiria en el servei. L'autobús elèctric retorna a cotxeres per ser recarregat. Un cop l'autobús hagi sigut recarregat tornaria a realitzar el seu trajecte fins acabar el servei a realitzar.

Cal mencionar que operar el mateix servei en ambdues tecnologies d'autobús pot semblar un sobredimensió de la flota, però, el segon autobús ( el que realitzar el servei mentre l'autobús elèctric recarregar) pot ser emprat com pla de contingència en el cas d'averia o fallo en la recàrrega de l'autobús en cotxeres. A més a més, un mateix autobús secundari (usat en la intercalació) pot ser emprat com a secundari per més d'un autobús primari si la organització es bona.

#### 4.7.2 Autobús elèctric amb càrrega d'Oportunitat. Pantògraf

La recàrrega d'oportunitat, tal com el seu nom indica, es tracta d'una tipologia de recàrrega dinàmica. Esta basat en realitzar petites càrregues durant el trajecte de l'autobús amb la finalitat d'ampliar la seva autonomia. Aquestes cargues estan caracteritzades per ser a molt alta potència, entre 300 i 500 kW, en un espai de temps d'entre 3 i 6 minuts . Normalment es realitzen a principi i final de línia per no crear una demora en el servei de l'autobús.

La essència per aquesta tipologia d'autobusos esta basada en utilitzar bateries de menor capacitat, en el rang de 100-200 kWh però que seran carregades constantment augmentant la seva autonomia en un rang d'entre 10 i 30 km per recàrrega. L'espai dins de l'autobús es maximitzat gràcies a que la bateria es de menor capacitat.

Els inconvenient d'aquesta tecnologia són la necessitat d'instal·lar una infraestructura de recàrrega, explicada en l'apartat 5.1., i el desbalanceig del voltatge de les bateries a causa de la recàrrega ultra-ràpida. Per balancejar es pot realitzar de dues maneres diferents:

- Balanciig de cel·les de bateria estàtica: El balanceig es realitza a les cotxeres amb carregador overnight de potència. Un cop realitzada la recàrrega al 100% l'autobús entra en procés de balanceig on es reparen les incidència a les cel·les provocades per la recàrrega ràpida. És un procés de pocs minuts, però completament necessari pel correcte funcionament de la bateria. Els carregadors subministren una potència en el rang de 30 i 50 kW per connexió a pantògraf o cablejada.
- Balanciig de cel·les de bateria dinàmic: El balanceig es realitza en el propi autobús. El qual té disposa d'una electrònica de potència especifica per realitzar aquesta balanceig mentre esta circulant. Aquesta tipologia de sistema es troba més usualment en autobusos híbrids.

A causa d'aquests inconvenients s'ha considerat necessària l'opció mixta.

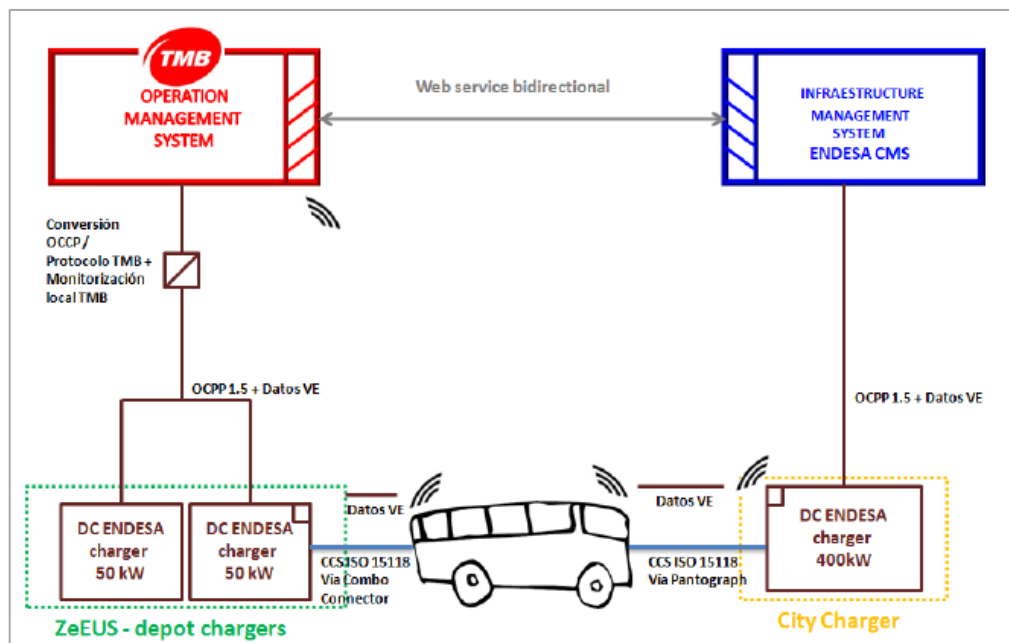


Figura 4.16.- Esquema sistema d'exploració mixte càrrega overnight i pantògraf. Font: Projecte Zeus TMB

#### 4.7.2.1 Estudi autonomia autobús elèctric recàrrega pantògraf

A continuació s'ha realitzat un estudi de les autonomies obtingudes en funció de la càrrega subministrada a l'autobús. S'han tingut en compte les següents estimacions, per tal d'observar la viabilitat del pantògraf.

- Rang de potències del pantògraf: 300-500 kW.
- Rendiment de la recàrrega: 90 %.
- Rang temps re recàrrega: 3'00s – 5'00s.
- Autonomia augmentada mínima: 15 km

Cal remarcar que s'ha realitzat el mateix anàlisi tenint presents diferents consums a causa de que no totes les línies tenen les mateixes característiques d'operació. D'aquesta manera s'obté una visió més global.

##### Estudi amb un consum de 2 kWh/km

		Temps de recàrrega en el pantògraf						
		3' 00s	3' 30s	4' 00s	4' 30s	5' 00s	5' 30s	6' 00s
Potència del pantògraf	300 kW	6,75 km	7,88 km	9,00 km	10,13 km	11,25 km	12,38 km	13,50 km
	350 kW	7,88 km	9,19 km	10,50 km	11,81 km	13,13 km	14,44 km	15,75 km
	400 kW	9,00 km	10,50 km	12,00 km	13,50 km	15,00 km	16,50 km	18,00 km
	450 kW	10,13 km	11,81 km	13,50 km	15,19 km	16,88 km	18,56 km	20,25 km
	500 kW	11,25 km	13,13 km	15,00 km	16,88 km	18,75 km	20,63 km	22,50 km

Taula 37.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 2 kWh/km

##### Estudi amb un consum de 2,5 kWh/km

		Temps de recàrrega en el pantògraf						
		3' 00s	3' 30s	4' 00s	4' 30s	5' 00s	5' 30s	6' 00s
Potència del pantògraf	300 kW	5,40 km	6,30 km	7,20 km	8,10 km	9,00 km	9,90 km	10,80 km
	350 kW	6,30 km	7,35 km	8,40 km	9,45 km	10,50 km	11,55 km	12,60 km
	400 kW	7,20 km	8,40 km	9,60 km	10,80 km	12,00 km	13,20 km	14,40 km
	450 kW	8,10 km	9,45 km	10,80 km	12,15 km	13,50 km	14,85 km	16,20 km
	500 kW	9,00 km	10,50 km	12,00 km	13,50 km	15,00 km	16,50 km	18,00 km

Taula 38.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 2,5 kWh/km

##### Estudi amb un consum de 3,0 kWh/km

		Temps de recàrrega en el pantògraf						
		3' 00s	3' 30s	4' 00s	4' 30s	5' 00s	5' 30s	6' 00s
Potència del pantògraf	300 kW	4,50 km	5,25 km	6,00 km	6,75 km	7,50 km	8,25 km	9,00 km
	350 kW	5,25 km	6,13 km	7,00 km	7,88 km	8,75 km	9,63 km	10,50 km
	400 kW	6,00 km	7,00 km	8,00 km	9,00 km	10,00 km	11,00 km	12,00 km
	450 kW	6,75 km	7,88 km	9,00 km	10,13 km	11,25 km	12,38 km	13,50 km
	500 kW	7,50 km	8,75 km	10,00 km	11,25 km	12,50 km	13,75 km	15,00 km

Taula 39.- Autonomia obtinguda per recàrrega considerant un consum de 3,0 kWh/km

Cal mencionar que, el trajecte d'un gran nombre de línies és inferior a 15 km per sentit. A més a més, l'autobús també disposa d'una bateria de certa capacitat energètica que li permetria realitzar el trajecte un cert nombre de vegades abans d'esgotar-la.

#### 4.7.2.2 Combinació tecnologies

Un cop s'han analitzats les avantatges i les limitacions d'aquesta tecnologia, autobús elèctric amb recàrrega per pantògraf, s'ha considerat oportú mencionar la possibilitat d'operar la línia per més d'un tipologia d'autobús.

En aquest cas la manca d'autonomia no és la principal motivació per la utilització d'un segon autobús per cobrir el servei d'un elèctric. S'ha considerat que la manca d'autonomia serà corregida mitjançant la instal·lació d'un pantògraf amb suficient potència i respectant el temps necessari de recàrrega per assegurar el seu servei al llarg de la línia.

La casuística interessant plantejada en aquest apartat s'ha considerat que és la utilització d'un autobús d'una altra tecnologia com a pla de contingència en cas de fallada en una estació de recàrrega ràpida (pantògraf). L'autobús de contingència pot ser un autobús basat en altres tecnologies com:

- Autobús amb pila de combustible.
- Autobús híbrid.
- Autobús híbrid endollable.

La idea seria la següent, un cop un pantògraf falla en la recàrrega d'un autobús aquest veu l'estat de càrrega de la seva bateria reduït de manera important, tot i això, té bateria suficient per continuar oferint el servei fins que un segon autobús enviat des de cotxeres arribi a la línia per continuar el seu servei.

Un cop passar això existeixen dues possibilitats:

1. L'autobús elèctric amb recàrrega ràpida es desplaça fins al pantògraf més proper per poder realitzar una recàrrega d'emergència i intentar acabar el restant del seu servei gràcies a aquesta recàrrega.
2. L'autobús elèctric amb recàrrega ràpida es desplaça fins a cotxeres, mentre l'autobús de substitució realitza el servei restant. En cas de que es trigui més d'un dia des de la incidència fins a la reparació d'aquesta, l'autobús de substitució realitzarà el servei conjuntament amb l'autobús elèctric.



## 4.8 Explotació i Optimització

### 4.8.1 Models d'explotació

Existeixen diferents models d'explotació. Primerament, s'ha esquematitzat els components d'una infraestructura de recàrrega d'aquesta tecnologia.

Cal remarcar que el mecanisme d'interconnexió entre la infraestructura de recàrrega i l'autobús pot ser tan un pantògraf com un cable, aquest fet no varia la instal·lació elèctrica des de la xarxa elèctrica fins a aquest punt de sortida d'energia. Per aquest motiu les possibles opcions de d'explotació explicades a continuació són tant vàlidament aplicades en recàrrega mitjançant pantògraf com per en recàrrega cablejada.

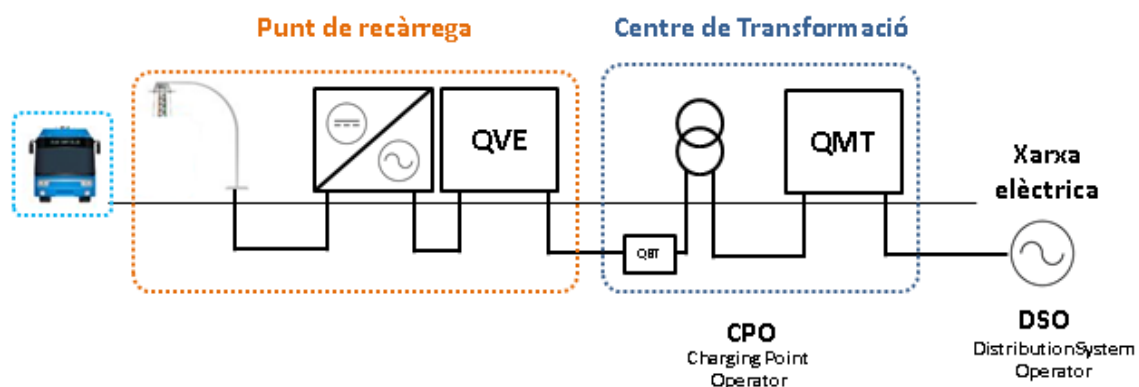


Figura 4.17.-Esquema elèctric bàsic d'un punt de recàrrega per autobús

De la figura s'observa que el punt de recàrrega està constituït per:

- Escomesa
- El centre de transformació:
  - Quadre de mitja tensió.
  - Transformador.
  - Quadre de baixa tensió.
- El punt de recàrrega:
  - Quadre del vehicle elèctric.
  - Rectificador → Converteix corrent alterna a contínua.
  - Mètode de sortida de la energia (pantògraf/cable)

Cal mencionar que en cada una de les opcions que es descriuen a continuació, les licitacions han d'incloure els autobusos elèctrics, que sempre seran responsabilitat de l'explotador del servei de transport públic.

#### 4.8.1.1 Proposició 1:

L'ajuntament realitza una licitació pública oferint la responsabilitat del punt de recàrrega i del centre de transformació. Per tant, la empresa privada que rebí la concessió s'haurà de fer càrrec tant de la construcció i manteniment del centre de transformació i del punt de recàrrega.

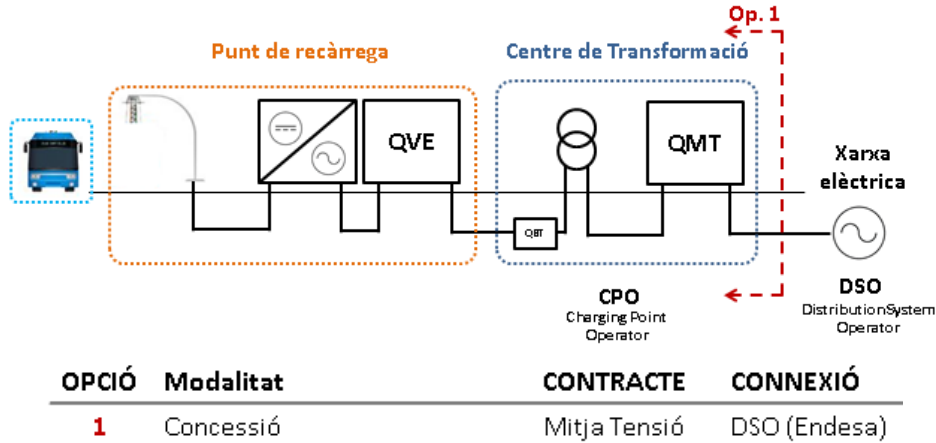


Figura 4.18.-Esquema gràfic de l'opció 1 representatiu de les diferents jurisdiccions

	Propietari/responsable
Escomesa	Distribuïdor del sistema
Centre de transformació	Concessió a una empresa privada
Punt de recàrrega	Concessió a una empresa privada

Taula 40.- Taula resum de les jurisdiccions en la opció 1

#### 4.8.1.2 Proposició 2:

L'ajuntament realitza un licitació pública oferint solament la responsabilitat del punt de recàrrega. Per la instal·lació i manteniment del centre de transformació l'ajuntament realitza un contracte amb el distribuïdor del sistema.

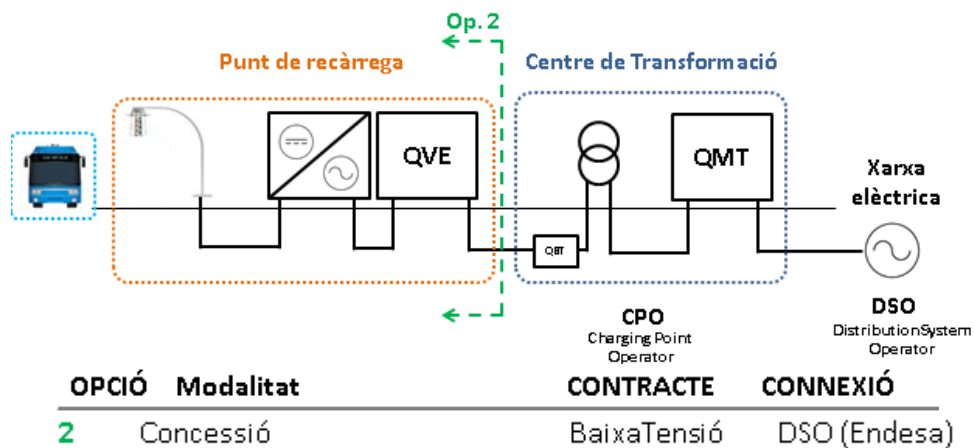


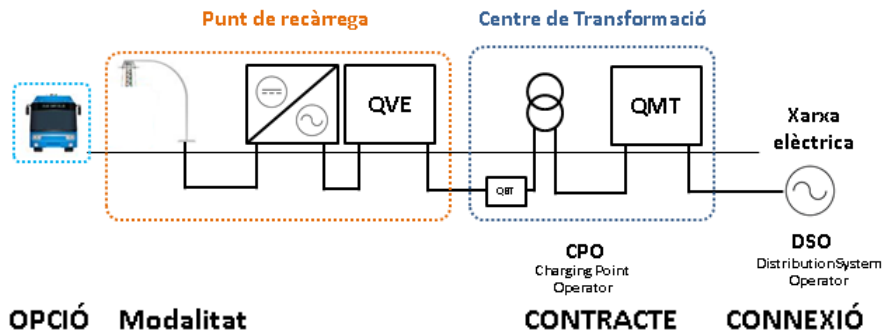
Figura 4.19.- Esquema gràfic de l'opció 2 representatiu de les diferents jurisdiccions

	Propietari/responsable
Escomesa	Distribuïdor del sistema
Centre de transformació	Ajuntament contracta distribuïdor del sistema
Punt de recàrrega	Concessió a una empresa privada

Taula 41.-Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 2

#### 4.8.1.3 Proposició 3

L'ajuntament realitza un licitació pública oferint solament la responsabilitat del punt de recàrrega. A diferència de en l'opció 2, per la instal·lació i manteniment del centre de transformació realitza un contracte amb un gestor energètic.



OPCIÓ	Modalitat	CONTRACTE	CONNEXIÓ
3	Gestor Energètic + Concessió	Mitja Tensió	Endesa, TMB, Tera,

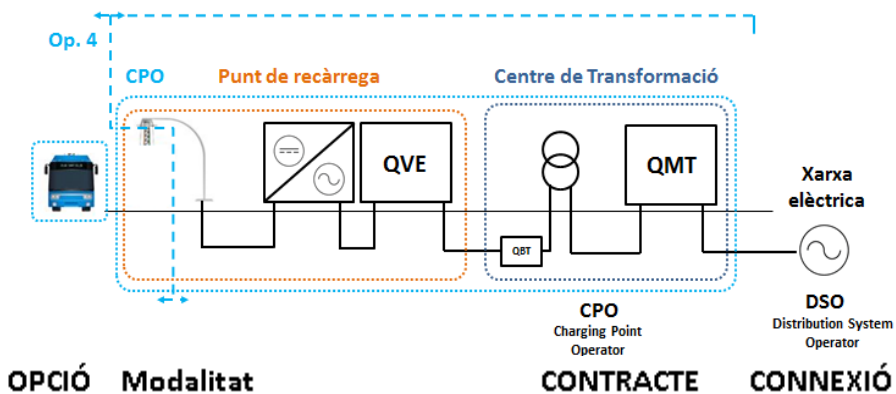
Figura 4.20.- Esquema gràfic de l'opció 3 representatiu de les diferents jurisdiccions

	Propietari/responsable
Escomesa	Distribuidor del sistema
Centre de transformació	Gestor Energètic
Punt de recàrrega	Concessió a una empresa privada

Taula 42.- Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 3

#### 4.8.1.4 Proposició 4 (solament vàlida recàrrega pantògraf)

L'ajuntament realitza un licitació pública oferint solament la responsabilitat del punt de recàrrega, per la instal·lació i manteniment del centre de transformació realitza un contracte amb un gestor energètic. Però a diferència de l'opció 3, l'ajuntament determina la tipologia del pantògraf\*.



OPCIÓ	Modalitat	CONTRACTE	CONNEXIÓ
4	Gestor Energètic + Concessió	Mitja Tensió	Endesa, TMB, Tera,

Figura 4.21.- Esquema gràfic de l'opció 4 representatiu de les diferents jurisdiccions

	Propietari/responsable
Escomesa	Distribuidor del sistema
Centre de transformació	Gestor Energètic
Punt de recàrrega	Concessió a una empresa privada

Taula 43.- Taula resum de les jurisdiccions en l'opció 4

## 4.8.2 Criteris d'optimització

Finalment, es proposen un seguit de punts a analitzar previ a la instal·lació d'una infraestructura de recàrrega.

### 4.8.2.1 Assessorament referent a la recàrrega cablejada

L'assessorament per la recàrrega cablejada està enfocada en un factor principalment.

➤ **Optimització de la infraestructura a instal·lar.**

- Analitzar la possibilitat d'usar centres de transformació existents per tal d'abaratir la instal·lació.
- Realitzar un estudi previ de totes les possibles opcions d'on obtenir la energia necessària per tal d'alimentar el punt.

### 4.8.2.2 Assessorament referent a la recàrrega per pantògraf

L'assessorament per la recàrrega per pantògraf està basada en dos blocs:

➤ **Optimització de la infraestructura a instal·lar:**

- Analitzar la possibilitat d'usar centres de transformació existents.
- Realitzar un estudi previ de totes les possibles opcions per l'obtenció del subministrament de potència.
- Analitzar la possibilitat d'usar un pantògraf en una parada comuna entre diferents línies per tal de poder optimitzar l'ús de la infraestructura de recàrrega.
- Considerar entre pantògraf invertit o estàndard:
  - Invertit → Casuística s'han d'instal·lar pocs pantògraf per una flota extensa.
  - Estàndard → Casuística s'han d'instal·lar molts pantògraf per una flota reduïda.

➤ **Interoperabilitat entre les infraestructures instal·lades:**

A causa de la diversitat existent en la tecnologia "pantògraf" existeix incompatibilitat entre alguns models d'autobús i certs tipus de pantògraf.

- Assegurar la comptabilitat mitjançant la proposició 4 dels models d'exploació.

## 5 Condicions de contorn

En aquest apartat es procedeix a presentar quina ha estat la metodologia emprada per avaluar els factors que condicionen la definició, desenvolupament i explotació de la infraestructura elèctrica per a la xarxa d'autobusos de l'àmbit del STI.

S'ha establert que aquests factors són els següents:

- El propi servei de les línies d'autobús: les característiques del recorregut, tipologia de línia (urbana o inter-urbana, km/diàris\*bus, etc.
- La xarxa elèctrica existent des d'on es subministraria l'energia per recarregar els autobusos
  - Infraestructura de recàrrega existent en el territori.
  - Xarxa elèctrica de distribució (REE).
  - Infraestructura de tracció de les principals entitats ferroviàries: anàlisi de possibles futures sinergies entre la infraestructura de les entitats ferroviàries i els autobusos elèctrics.
- Els plans de renovació de les flotes actuals d'autobusos.

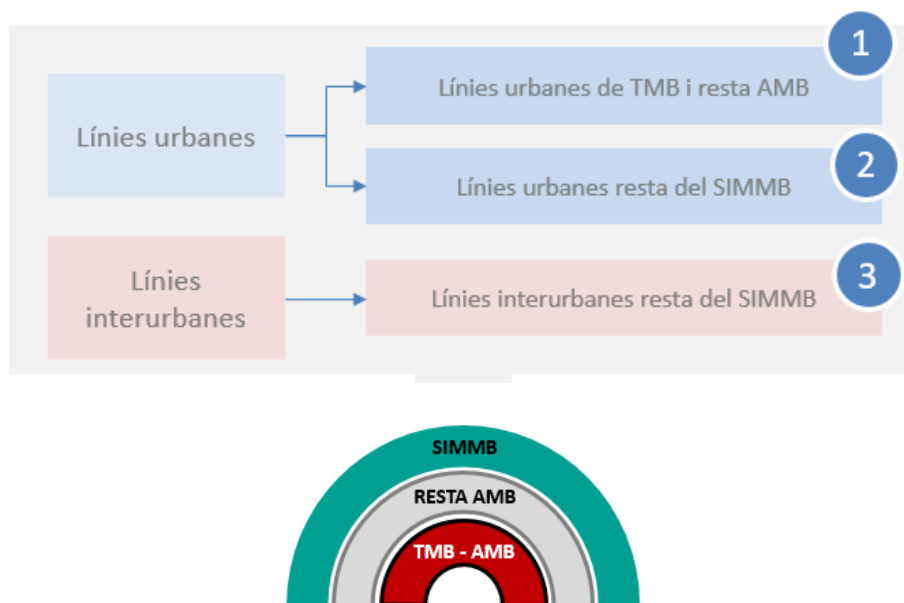
A continuació es procedeix a detallar les condicions de contorn.

### 5.1 Serveis de línies d'autobús

L'estratègia per a la definició, desenvolupament i explotació de la infraestructura elèctrica per a xarxes d'autobusos a la RMB planteja diferenciar en tres àmbits les línies d'autobús existents, segons la ubicació en la que operen.

En primer lloc, es distingeixen les línies urbanes de les interurbanes en tot l'àmbit SIMMB. Seguidament, s'analitzen les línies de l'Àrea Metropolitana de Barcelona com a línies urbanes. Addicionalment, es tracten les línies urbanes de Barcelona com una tipologia en particular.

Remarcar que, a més a més, s'estudiarà la infraestructura de recàrrega òptima de les ciutats més importants, fora de l'Àrea Metropolitana, com per exemple Terrassa, Sabadell, Manresa, Mataró, etc.



Per cada àmbit es determinaran aquelles línies a electrificar i la tipologia d'infraestructura de recàrrega a planificar en cada cas.

Es prioritzaran les línies a electrificar segons les variables que impacten amb major mesura sobre el consum:

1. Perfil de la línia mitjançant les coordenades UTM parada inicial i parada final
2. Longitud / Ús de la línia (km línia / dia\*bus)
3. Tipologia de vehicle: autobús 12m / 18m / 8m
4. Velocitat mitja i velocitat màxima

En el cas dels **urbans de Barcelona** es tindrà en compte l'estratègia actual de TMB per tal de presentar una proposta d'electrificació, i sobretot de infraestructura de recàrrega.

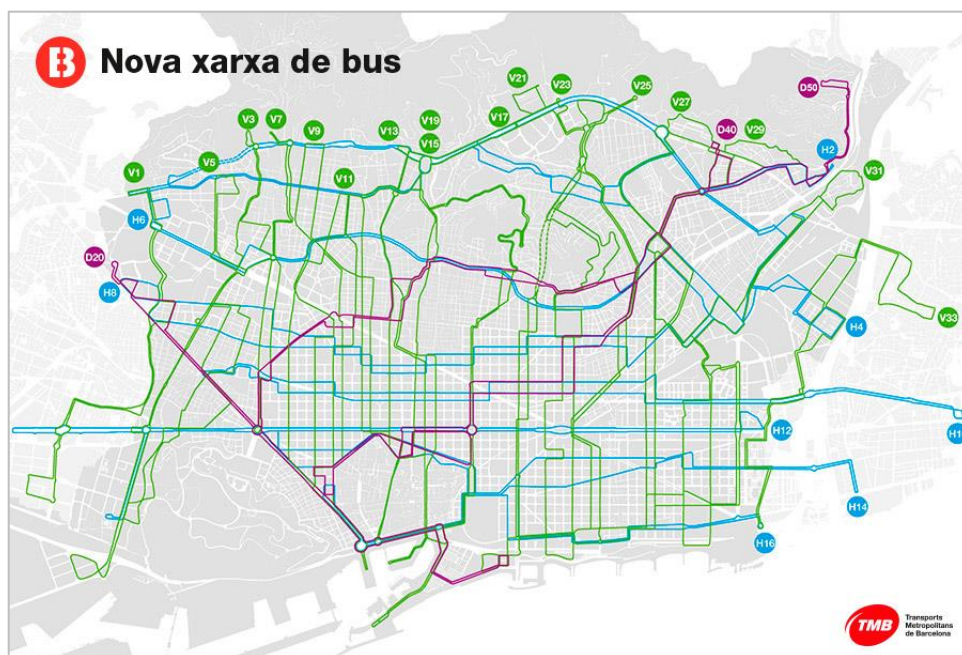
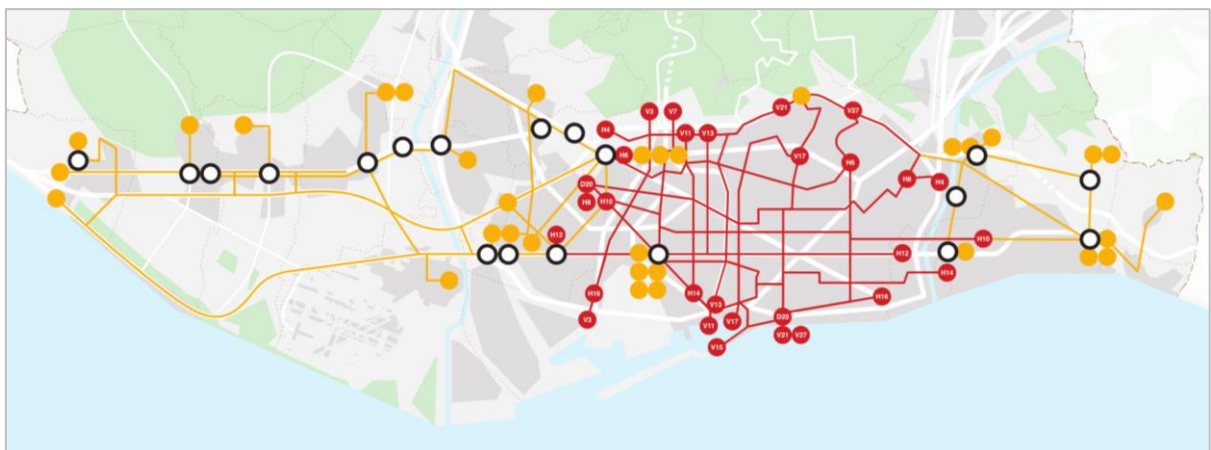


Figura 5.1 Xarxa de bus urbans de Barcelona. Font: TMB

En el cas de **urbans de fora de Barcelona** també es tindrà en compte la estratègia de l'AMB per a la nova xarxa de bus Metropolità.





## 5.2 Infraestructura elèctrica existent en el territori

Un dels objectius de l'estudi és plasmar la viabilitat tècnica per adaptar-se a la infraestructura de recàrrega existent, per tant, cal valorar les diferents opcions de proporcionar energia a la infraestructura de recàrrega, ja sigui de la xarxa elèctrica, mitjançant les infraestructures ferroviàries, o bé solucions dedicades a cada punt de subministrament energètic.

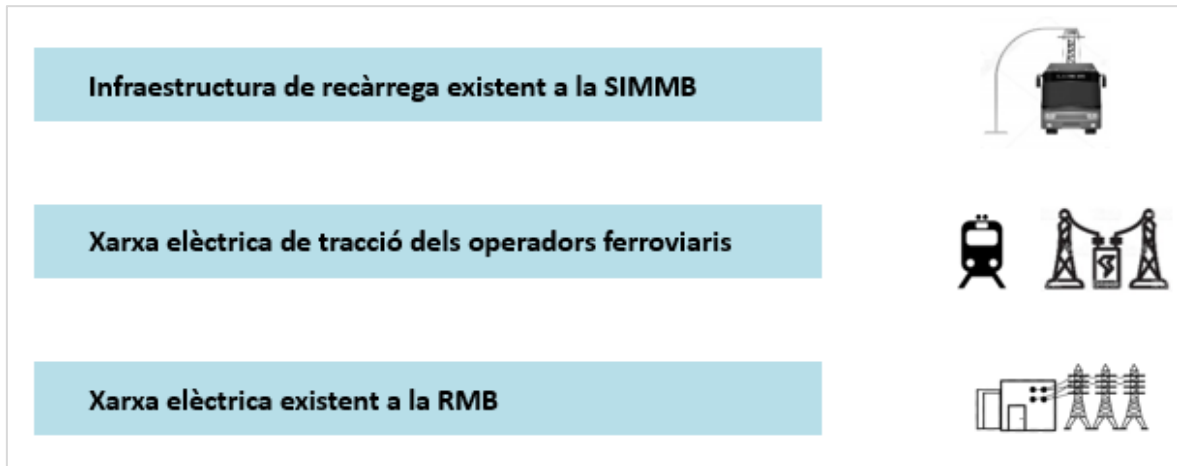


Figura 5.2. Infraestructura existent en el territori

### 5.2.1 Infraestructura de recàrrega existent a la RMB

A dia d'avui, l'existència de infraestructura de recàrrega per a vehicles de gran tonatge està destinada als autobusos elèctrics de TMB a Barcelona.

TMB opera a la línia H16 amb autobusos elèctrics articulats de 18 metres. Els vehicles elèctrics que operen en aquesta línia són carregats a cada terminal de la línia mitjançant un pantògraf de 500 kW. Amb una recàrrega entre 6 i 8 minuts es carreguen les bateries de 125 kWh dels vehicles, podent així arribar a l'altre extrem de la línia. Les unitats d'autobusos elèctrics que operen en aquesta línia són del model Solaris Urbino 18 E.

Un cop els vehicles finalitzen el seu servei, procedeixen a carregar-se a les cotxeres de TMB mitjançant carregadors de 50 kW. En aquesta càrrega nocturna les bateries es carreguen lentament durant unes 2,5 hores, realitzant així, el balanceig de les seves cel·les.



Figura 5.2.1 Pantògrafs de 500 kW de la línia H16 de TMB. Fòrum i Maristany.



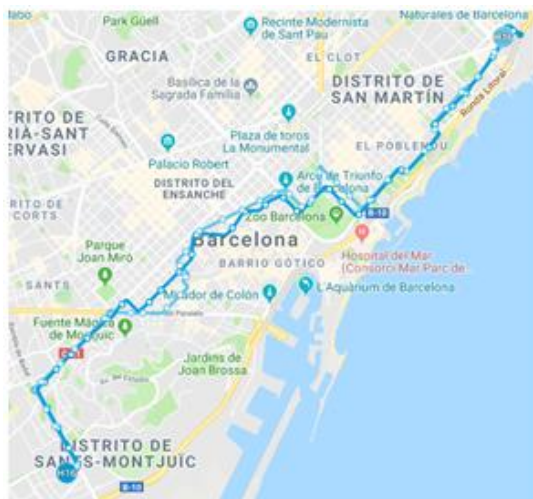


Figura 5.2.1 (bis) Recorregut línia H16 de TMB.

## 5.2.2 Xarxa elèctrica de tracció dels operadors ferroviaris

A continuació s'informa sobre la infraestructura de la xarxa elèctrica de tracció dels diferents operadors ferroviaris presents a la SIMMB, per tal de valorar la possibilitat de que existeixin sinergies per a utilitzar la infraestructura per subministrar l'energia dels punts de càrrega dels vehicles de gran tonatge.

A continuació es mostra un plànol de la infraestructura ferroviària existent en la SIMMB:

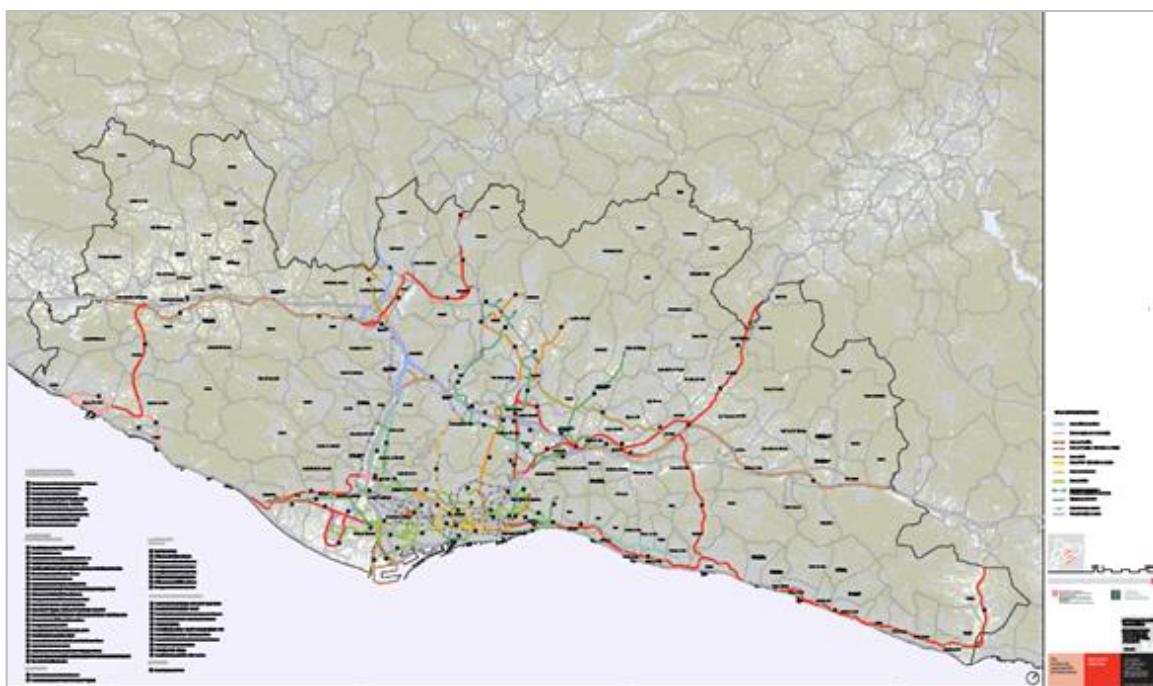


Figura 5.2.2 Plànol de les infraestructures ferroviàries del SIMMB

### 5.2.2.1 FGC

La Xarxa de FGC està molt optimitzada en relació a les seves necessitats.

- Tenen una xarxa pròpia de 25 kV que uneix totes les subestacions que proporcionen energia a FGC, tant a la Línia del Vallès com la de Llobregat – Anoia.
- Cada subestació disposa d'escomeses provinents de diferents receptores per tal de garantir el servei.
- FGC ajusta molt la compra d'energia segons les necessitats per tal d'optimitzar costos.
- 3 – 4 h de manteniment nocturn en que es talla el subministrament. **No és possible cedir energia a tercers.**
- **FGC** veu moltes inconveniències en deixar les seves subcentrals.

Cal tenir present que, a priori, cada un dels punts de subministrament de FGC s'han dimensionat en base a les necessitats reals i futures, i s'han hagut de pagar "drets d'escomesa". Parlar oficialment de "potència disponible" en aquests escenaris no és fàcil.

#### 5.2.2.2 Metro

La xarxa existent de METRO està formada a partir de 2 receptores destinades a la línia L9 i 12 subestacions per la resta de línies.

La ubicació d'aquestes escomeses de reserva és a les estacions:

	<b>Subestació</b>	<b>Línia Metro</b>
<b>1</b>	Arc de Triomf	L1
<b>2</b>	Mercat Nou	L1
<b>3</b>	Plaça del Centre	L3
<b>4</b>	Encants	L2
<b>5</b>	Avinguda Carrilet	L1
<b>6</b>	Lesseps	L3
<b>7</b>	Paral·lel	L2 / L3
<b>8</b>	Vall Hebron	L3
<b>9</b>	Santa Coloma	L1
<b>10</b>	Sants	L3 / L4
<b>11</b>	Verdaguer	L4 / L5
<b>12</b>	Verneda	L2

**Taula 44.- Llistat Subestacions TMB Metro**



Figura 5.2.2.2 Ubicació de les escameses de reserva. Font: METRO

A més a més de les subestacions de Metro, TMB compta amb el projecte de la L9 de Metro.

A nivell elèctric, el projecte de la Línia 9 ha estat concebut per maximitzar la fiabilitat del subministrament elèctric. Per assolir aquesta alta disponibilitat s'ha contemplat la construcció de dues subestacions receptores AT/MT connectades a la xarxa de transport 220kV de Red Eléctrica de España (REE) que serveixen per transformar la tensió a 30kV i subministrar l'energia necessària per a totes les instal·lacions de la Línia 9, tant pel que fa a instal·lacions ferroviàries com per a instal·lacions no ferroviàries com són els consums d'estacions, cotxeres, tallers i demés serveis auxiliars.

Cada receptora disposa de 4 Transformadors de 220kV/30kV i 60MVA, aportant un total de 240MVA de potència de transformació per receptora. L'energia elèctrica transformada es distribueix mitjançant una xarxa de distribució pròpia de 30kV que discorre al llarg de tota la Línia 9.

El projecte contempla 21 subestacions de Tracció, amb 2 grups de tracció de 2.250kVA cadascuna, responsables de transformar l'energia a 1.500V en corrent continu per poder alimentar els trens.

### 5.2.2.3 Tram

La xarxa elèctrica de TRAM consisteix en 13 centrals transformadores/rectificadoras (6 al Trambaix i 7 al Trambesòs), separades uns 2km entre ells. Cada grup té una potència de 1000 kVA.

S'especifiquen a continuació:

Xarxa	SE	Tipus
Trambaix	Collblanc*	Bigrup
	Carles III	Bigrup
	Rayo Amarillo	Monogrup
	BV-2001	Bigrup
	Tallers	Monogrup
	Walden	Bigrup
Trambesòs	Tallers*	Monogrup
	Diagonal Mar	Monogrup
	Glòries	Monogrup
	Ciutadella*	Monogrup
	Gran Via	Monogrup
	Torrassa	Monogrup
	Montroig	Monogrup

\*Punts d'escomesa de companyia.

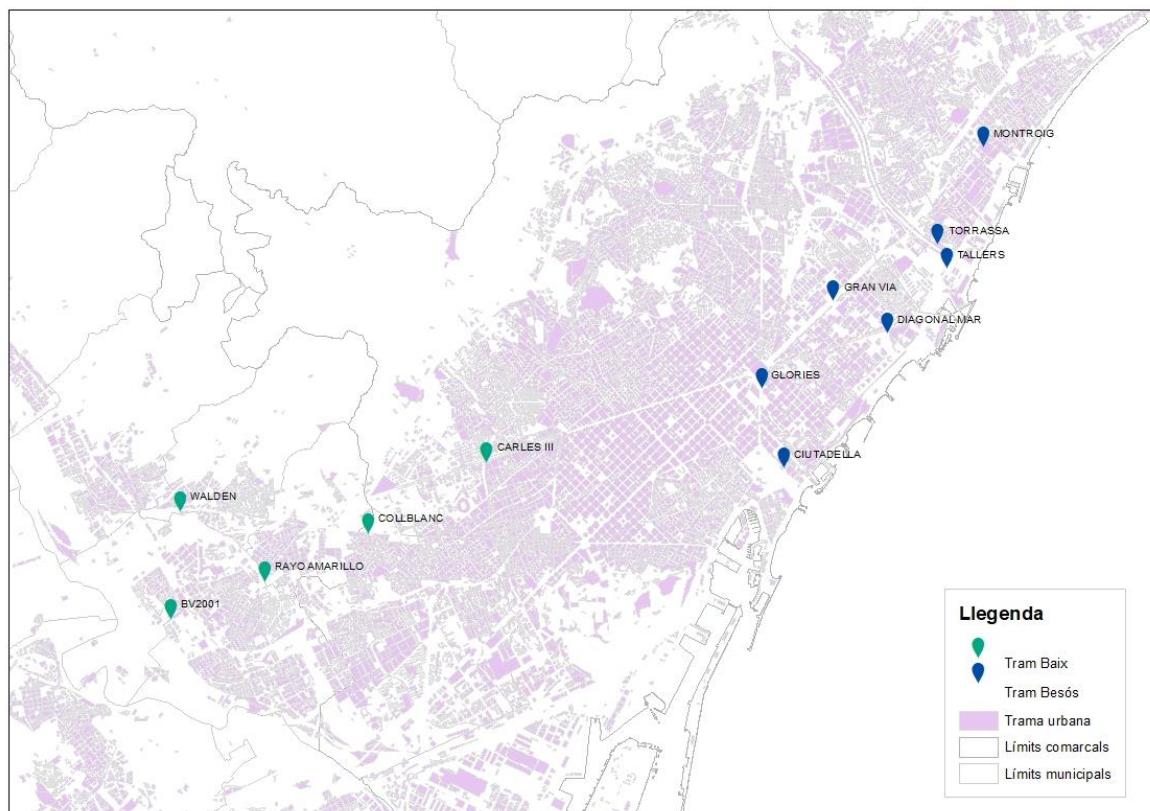


Figura 5.2.2.3 Ubicació de les 13 centrals transformades de la xarxa elèctrica de TRAM. Font: ATM

Actualment, la infraestructura està dimensionada per als estudis i potència contractada inicialment (9MW al Trambaix). Ara bé les potències contractades a la companyia comercialitzadora estan ajustades al servei actual de les dues xarxes.

Tram Baix té una única connexió de servei, encara que en realitat és doble, en configuració una principal i una altra de socors, a la subestació de Collblanc.

Tram Besòs té dues connexions de servei, una localitzada a Vilanova i l'altra a Eduard Maristany; cadascuna pot alimentar la totalitat de la línia. Històricament en condicions normals, cadascuna alimentava una part de la línia, però a l'actualitat Tram Besòs funciona amb una connexió de servei principal a Eduard Maristany, quedant la de Vilanova com a connexió de servei de socors.

Les potències totals contractades a cada connexió de servei i cadascun dels períodes horaris es resumeixen a la taula següent:

Potència [KW]	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<b>CollBlanc (principal)</b>	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450	1.949
<b>CollBlanc (socors)</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Eduard Maristany (principal)</b>	925	925	925	925	925	1.169
<b>Vilanova (socors)</b>	800	800	800	800	800	1.040
<b>TOTAL CONTRACTAT DISPONIBLE</b>	<b>3.175</b>	<b>3.175</b>	<b>3.175</b>	<b>3.175</b>	<b>3.175</b>	<b>4.158</b>

Taula 45.- Potències contractades Tram

Per tant, la potència total disponible a l'actualitat és d'uns 4 MW.

### 5.2.3 Xarxa elèctrica existent a la SIMMB

Conèixer la xarxa elèctrica existent a la Regió Metropolitana de Barcelona és de gran importància per tal de poder saber si les línies d'autobús candidates a ser electrificades tenen fàcil accés a l'energia. Addicionalment, és important per conèixer l'impacte sobre aquesta xarxa en el moment de complerta electrificació de la xarxa d'autobusos.

Per altra banda, per estudiar la viabilitat tècnica d'adaptació a la infraestructura de recàrrega, cal valorar les diferents opcions de proporcionar energia a la infraestructura de recàrrega, i un d'ells és directament des de la xarxa elèctrica existent. Per tal de valorar aquest punt, s'han mantingut reunions bilaterals amb ICAEN, així com també amb Infraestructuras.cat.

Primer de tot, s'adjunta a continuació un mapa amb la ubicació de subestacions elèctriques, facilitada per l'ATM i l'ICAEN:

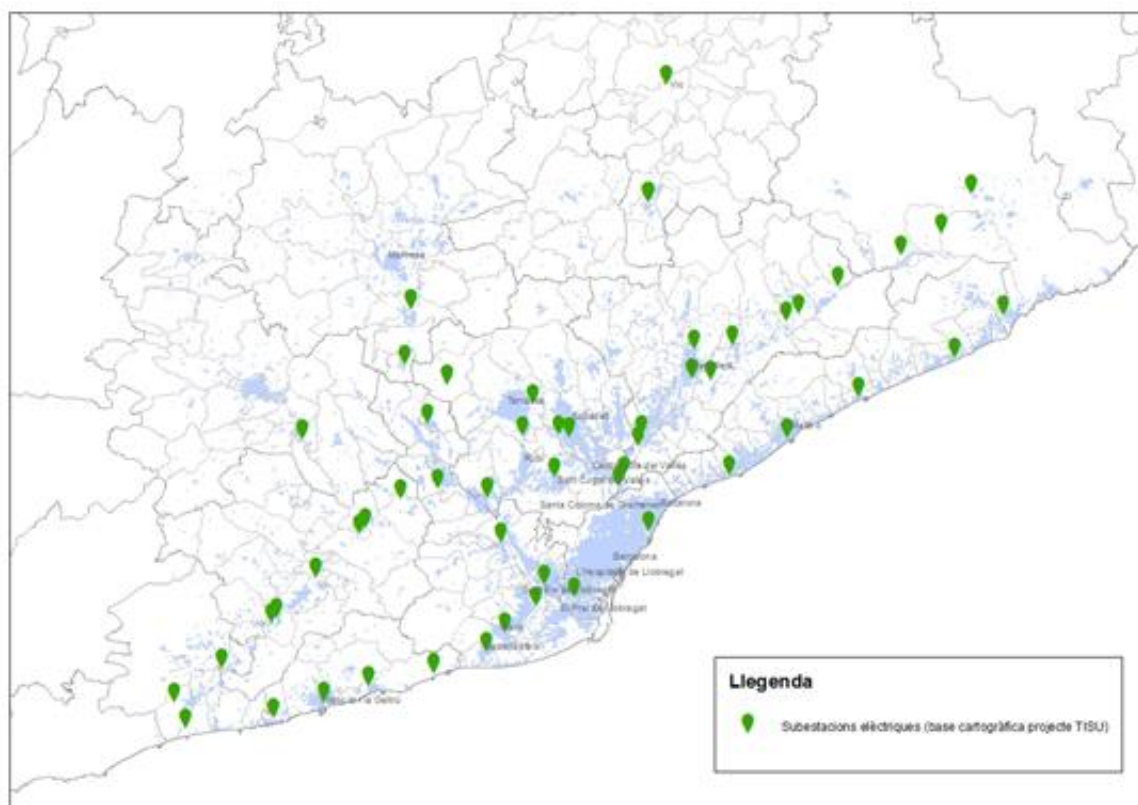


Figura 5.4 Ubicació de les subestacions elèctriques. Font: ATM i ICAEN

Per altra banda, de les reunions realitzades s'ha obtingut la relació de 10 subestacions on, d'acord amb la informació disponible a l'ICAEN, és possible cada subestació pugui atendre un nou subministrament de 5 MW no pertorbador en la situació actual de les xarxes de transport i distribució.

Amb aquesta informació, la comissió tècnica pot fer una estimació de la disponibilitat energètica en el territori. Cal tenir present que les possibilitats d'accés i connexió que s'infereixen d'aquesta comunicació estan supeditades a l'avaluació dels gestors de xarxa en el marc dels corresponents procediments d'accés i connexió.

Subestació	Lat (°)	Long (°)
<b>Aeroport</b>	41.31488	2.10327
<b>Can Jardí</b>	41.47471	2.02330
<b>Eixample</b>	41.40886	2.16905
<b>Facultats</b>	41.38377	2.11948
<b>Maragall</b>	41.41689	2.17992
<b>Palau</b>	41.56792	2.18582
<b>St. Boi</b>	41.33598	2.04074
<b>St. Cugat</b>	41.48694	2.07646
<b>Tanger</b>	41.40336	2.19273
<b>Vilanova</b>	41.39222	2.18224

Taula 46.- Subestacions elèctriques de la xarxa ICAEN amb potencial d'atendre nou subministrament no pertorbador. Font: ICAEN

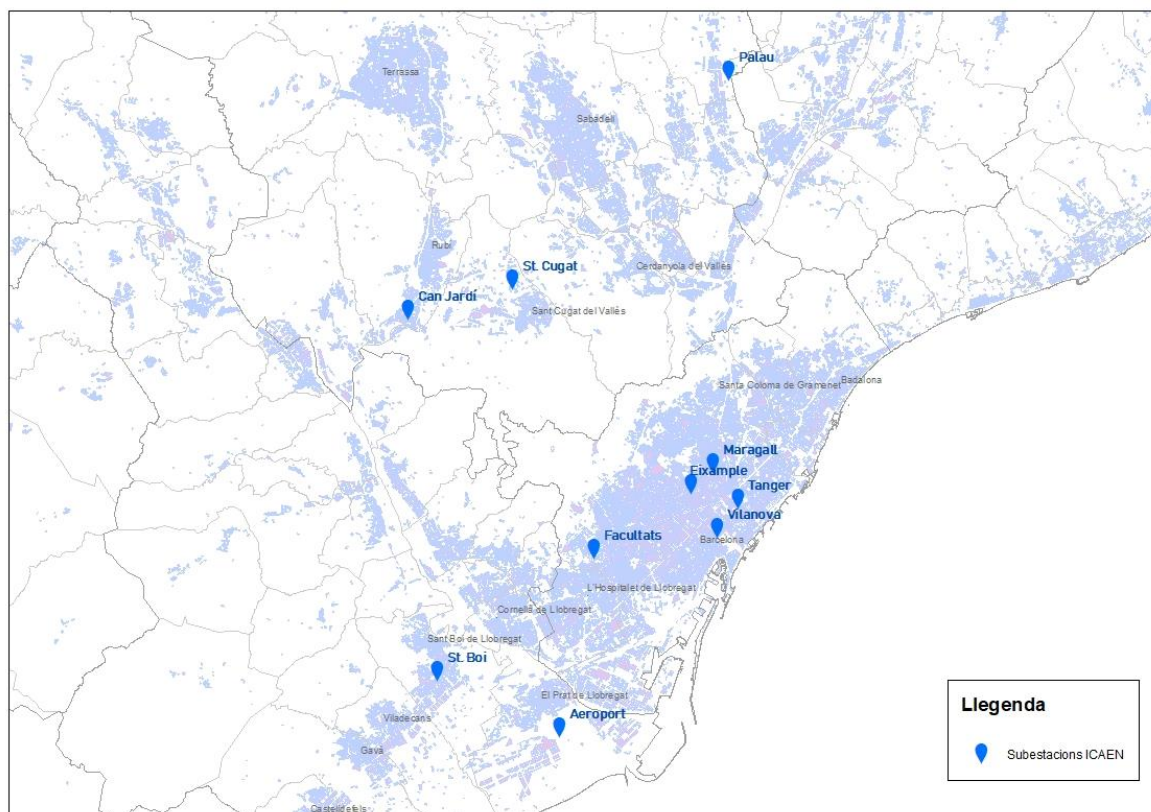


Figura 5.5 Ubicació de les subestacions elèctriques amb potencial d'atendre nou subministrament no pertorbador. Font: ICAEN

De la reunió bilateral del grup de treball amb ICAEN es considera que no només es poden inferir els costos de connexió a partir únicament de la distància a la xarxa existent. Cal tenir en compte els rescabaments que siguin d'aplicació i l'eventual necessitat d'ampliar les capacitats d'accés i/o connexió de les xarxes de transport i distribució, entre d'altres costos. Per altra banda, es cita una directiva europea que proposa que les empreses distribuïdores instal·lin infraestructura de recàrrega però no poden fer negoci mitjançant els Punts de Recàrrega

Per altra banda, el funcionament actual per ampliar la xarxa és a criteri de REE i Endesa en base a les peticions de nous subministraments. Es creu convenient que la planificació de l'ampliació de la xarxa elèctrica sigui pública. Per exemple, i segons TMB, es creu convenient que la compra d'autobusos elèctrics vagi lligada amb l'ampliació de la xarxa elèctrica.

## 5.3 Diagnosi de la infraestructura elèctrica

En aquest apartat es detalla l'estimació de la nova demanda energètica font de l'electrificació dels autobusos que operen a la RMB i la metodologia de càlcul que s'ha seguit. També s'analitzen les tipologies d'infraestructura de recàrrega dels vehicles elèctrics de gran tonatge i la seva òptima aplicació en funció, principalment de la tipologia de les línies i de la disponibilitat elèctrica.

### 5.3.1 Demanda energètica



Figura 5.6 Demanda energètica actual i futura dels diferents organismes públics responsables del transport d'autobusos de la RMB.

Els diferents organismes públics encarregats i responsables del transport públic d'autobusos de la Regió Metropolitana de Barcelona tenen establerta una estratègia de futur d'electrificació de línies d'autobús.

Aquestes respectives electrificacions comportaran una demanda elèctrica addicional a la existent, que caldrà servir mitjançant la infraestructura elèctrica tan actual com futura, i també mitjançant les diverses tecnologies de generació d'electricitat.





Figura 5.7 Disponibilitat energètica actual i futura dels diferents organismes públics responsables.

Seguidament es procedeix a detallar com s'ha procedit a estimar la futura demanda energètica per part dels autobusos elèctrics. Tal i com es detalla a continuació, no totes les línies són adients per ser operades per autobusos elèctrics, ja sigui pel perfil del pendent en el seu traçat o bé per l'elevat nombre de quilometratge diari a realitzar per cada autobús.

### Criteris

Els criteris que s'han considerat per avaluar si una línia de transport públic pot ser operada mitjançant autobusos elèctrics són els següents:

- Quilometratge diari per autobús.
- Pendent existent del recorregut de la línia<sup>2</sup>.
- Climatologia.
- Freqüència de pas dels vehicles.
- Temps d'operació.
- Nombre de vehicles.
- Tipologia de la línia: Urbana o Interurbana
- Protocol WLTP:
  - Consum degut a l'avanç.
    - Consum aerodinàmic.
    - Consum a la resistència de rodament.
    - Consum de tracció interna.
  - Consum degut a l'acceleració.
- Tipologia de vehicle.
  - Autobús midi de 8 metres.
  - Autobús estàndard de 12 metres.
  - Autobús estàndard de 15 metres.
  - Autobús articulat de 18 metres.

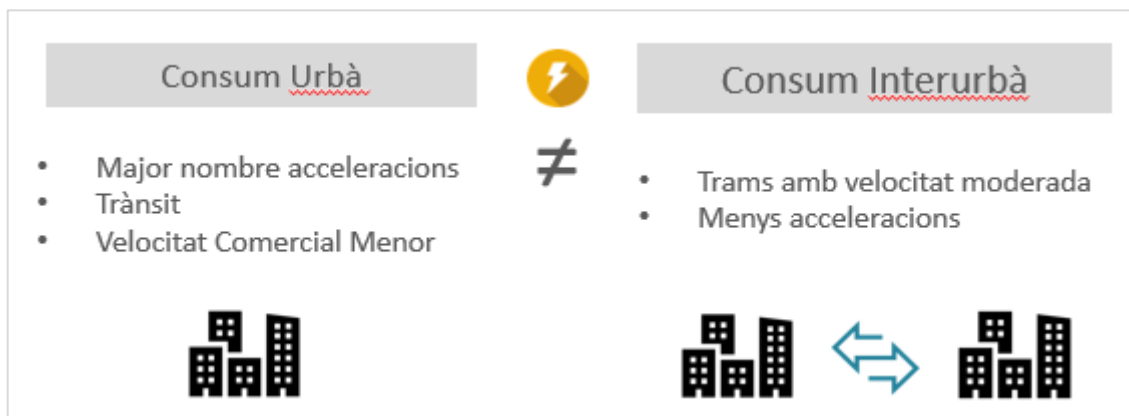
<sup>2</sup> El consum del pendent no està relacionat al WLTP en aquest estudi, ja se comenta com un punt apart

## Procediment

Els criteris anteriorment citats, aplicant el cicle WLTP, permeten calcular el consum total de cada línia, tant per un escenari actual considerant una capacitat d'emmagatzematge de 350 kWh en bateries, com per un escenari futur, amb bateries de fins a 500 kWh de capacitat. Aquests resultats varien en funció de si les línies són urbanes o interurbanes, es a dir, de la tipologia de vehicle utilitzat.

Aquest consum és el que determina si és viable l'electrificació de la línia i quina és la millor modalitat d'infraestructura de recàrrega, tant en l'escenari actual com en el futur. S'analitza també per a un escenari futur per tal de verificar les línies les quals mantindrien la mateixa modalitat d'infraestructura de recàrrega i quines variaria.

Aquesta diferenciació és degut a les diferents modalitats de circulació del vehicle: les línies urbanes presenten una velocitat de circulació inferior les interurbanes, així com més acceleracions a causa de la major densitat de trànsit i la presència de semàfors. Per altra banda, una línia interurbana té trams en que l'autobús circula a una velocitat superior a quan es circula per una trama urbana, sent aquest tram interurbà més llarg que el tram urbà.



Així doncs, degut al gran nombre de línies interurbanes i urbanes a la Regió Metropolitana de Barcelona que dificulta un anàlisi particular per cada una d'elles, l'equip tècnic del projecte ha realitzat una primera estimació considerant per un costat totes les línies amb factors urbans i per altra banda, totes les línies considerant factors interurbans. Com que els factors utilitzats tant per urbà com interurbà presenten valors similars, els resultats d'aquesta primera estimació a alt nivell permeten obtenir una valoració d'aquelles línies amb dificultats de ser electrificades, per tant, susceptibles a ser híbrides-endollables, i d'aquelles amb potencial de ser electrificades segons la modalitat de recàrrega òptima.

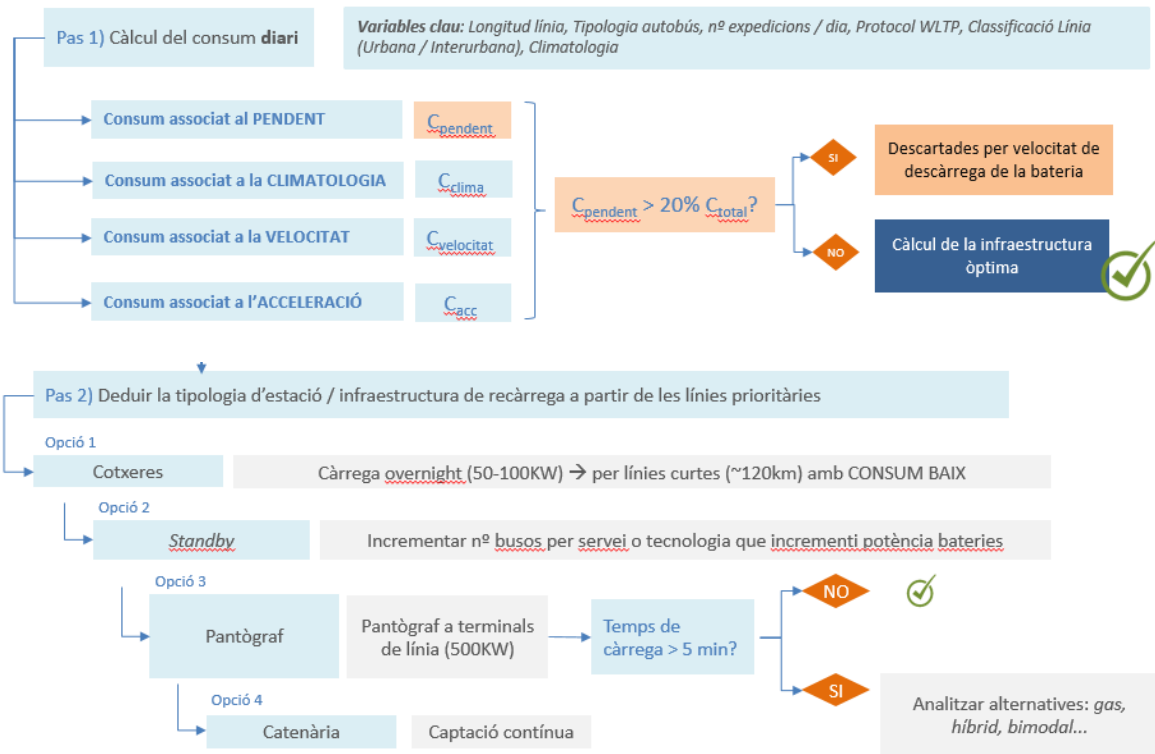


Figura 5.8 Càlcul de les línies

- ❖ En tot cas, el primer factor que s'ha avaluat ha estat el **consum d'un autobús associat al pendent de cada línia** de la Regió Metropolitana de Barcelona.

El màxim pendent superable és un aspecte tècnic del model d'autobús escollit i depèn de la velocitat de desplaçament de l'autobús. És important remarcar que el aquest pendent màxim superable és considerant unes condicions nominals de potència. Aquest pendent pot ser superior treballant en condicions de potència de pic, però solament és possible durant un breu període de temps, ja que sinó s'escalfaria massa la bateria.

Per tal de tenir un ordre de magnitud del pendent superable segons les diferents dimensions dels autobusos, s'ha realitzat un benchmarking, del qual s'ha obtingut la següent informació:

- Màxim pendent superable per un autobús de 18m : Rang del **17-18%**
- Màxim pendent superable per un autobús de 12m: Rang del **12-18%**
- Màxim pendent superable per un autobús de 10m: Rang del **12-18%**
- Màxim pendent superable per un autobús de 8m: Rang del **12-18%**

A continuació, per tal de clarificar el concepte de pendent màxim superable en funció de la velocitat, s'ha considerat oportú mostrar les diverses velocitats que pot assolir en funció de la pendent a superar un autobús tipus de 12m:

<b>Pendent màxima superable</b>	<b>13,8%</b>
<b>Pendent 13,8 %</b>	Velocitat màxima: 24,6 km/h
<b>Pendent 12,9 %</b>	Velocitat màxima: 28 km/h
<b>Pendent 6,5 %</b>	Velocitat màxima: 50 km/h
<b>Pendent 3,3 %</b>	Velocitat màxima : 80 km/h

En primer lloc, s'ha considerat oportú analitzar aquelles línies amb pendents superiors al pendent màxim superable. Aquestes línies doncs seran inicialment candidates a ser operades mitjançant autobusos híbrids-endollables ja que s'obté un alt percentatge de consum associat al propi pendent respecte el consum total.

Aquest anàlisi s'ha realitzat per totes les línies, i les següents taules mostren els resultats en funció de si s'han utilitzats els valors urbans o interurbans:

#### **Classificació considerant factors de Línies Urbanes**

	ID Línia	SCODIGO PUB	ORIGEN - DESTÍ
1	L95	-	Carles Riba – Av. Del Poal
2	1636	N16	Castelldefels – Barcelona El Prat
3	7001	Est	Ruta Verda – Est Estiu

#### **Classificació considerant factors de Línies Interurbanes**

	ID Línia	SCODIGO PUB	ORIGEN - DESTÍ
1	1014	603	Barcelona – Blanes
2	1022	614	Aeroport del Prat - Mataró - Blanes
3	1040	e13	Arenys de Mar – Sant Celoni
4	1046	567	Arenys de Mar – Sant Celoni
5	1094	406	Vic – La Garriga - Granollers
6	1101	e8	Barcelona – Corbera (A)
7	1192	C5	C5 Mataró – Argentona – UAB
8	1203	326	Barcelona – Vall del Tenes
9	1210	213	Barcelona – Santa Maria d'Oló
10	1211	212	Barcelona – Sant Feliu de Codines
11	1212	203	Barcelona – Santa Maria d'Oló
12	1216	211	Barcelona – Caldes Exprés
13	1232	e12	Vic – Barcelona
14	1242	e5	Barcelona – Igualada
15	1250	e6	Barcelona – Vilafranca del Penedès
16	1266	1266	Vilafranca del Penedès - St. Quintí de Mediona
17	1280	1280	UAB – Igualada
18	1282	1282	Barcelona – Martorell – Sta Margarida
19	1284	1284	Barcelona – Capellades – Igualada
20	1365	850	Barcelona – Olesa de Montserrat – Manresa
21	1423	360	Badalona – Mollet – Sabadell
22	1425	361	St. Fost – Mollet – Sabadell
23	1460	L61A	Barcelona – St. Boi de Llobregat
24	1462	L62	Barcelona – Torrelles de Llobregat
25	1464	L64	Barcelona – Martorell
26	1524	260	Granollers - Moià
27	1530	323	Barcelona – Ametlla – Riells
28	1544	502	Barcelona – Granollers – Llinars del Vallès
29	1561	221	Barcelona – Santmenat
30	1570	441	Viladrau – Vic
31	1592	710	Manresa – Vic
32	2005	2005	Barcelona – Vilafranca

33	2034	680	Barcelona – Pineda de Mar
34	1231	B8	Sant Cugat – Sant Quirze
35	-	e7	Barcelona – La Vall del Tenes
36	-	e9	Barcelona – Caldes de Montbu
37	-	e14	Barcelona – Sant Pere de Ribes
38	-	e15	Barcelona – Vilanova i la Geltrú
39	-	e16	Barcelona – Sitges
40	-	e18	Barcelona – Sant Sadurní d'Anoia
41	-	e22	Barcelona – Manresa
42	-	e23	Barcelona – Olesa de Montserrat

Per tant, aquestes línies són inicialment candidates a ser operades mitjançant autobusos híbrids-endollables.

❖ Seguidament, s'ha procedit a calcular el **consum associat a la realització de les expedicions diàries de cada autobús**

S'ha considerat oportú també incloure en el càlcul del consum les línies esmentades en les dues taules anteriors encara que presenten pendents superiors al pendent màxim admissible.

Aquest consum s'ha calculat mitjançant el protocol WLTP, tenint també en compte el consum associat al pendent, a la climatologia, a la velocitat i a l'acceleració.

En base al consum diari per autobús, es procedeix a avaluar quina és la millor tipologia d'infraestructura de recàrrega per cada línia, prioritzant el següent ordre:

1. **Modalitat Overnight:** la càrrega dels autobusos es realitza durant la nit a baixa potència, entre 50 i 100 kW. El màxim de quilòmetres a realitzar dependrà del consum i capacitat total de les bateries de l'autobús. No obstant, s'estima que amb una bateria de 350 kWh un autobús realitzi uns 168 km.
2. **Stand-by:** Són aquelles línies que poden ser operades amb una càrrega a una potència entorn als 250 kW. Les sessions de recàrrega duren de 2 a 3 hores. Aquesta modalitat permet realitzar dos torns de servei amb el mateix vehicle, de 168 km respectivament.
  - 1 **Mixta amb igual nombre d'autobusos.**
  - 2 **Mixta amb un vehicle adicional.**
  - 3 **Mixta amb dos vehicles adicionales.**
  - 4 **Mixta amb tres vehicles adicionales.**

També s'inclouen en aquesta modalitat de aquelles línies que en un escenari futur poden deixar de ser operades amb pantògrafs.

3. **Modalitat Càrrega d'oportunitat:** la càrrega de l'autobús es realitza en cada extrem de la línia, o bé en un dels dos, mitjançant pantògrafs de 400 – 500 kW de potència, que durant 5 minuts proporcionen l'energia necessària a l'autobús per circular fins a la següent sessió de recàrrega. Aquesta modalitat permet que els autobusos tinguin menys bateries a bord, deixant més espai per a més passatgers. No obstant, realitzar sessions de recarrega implica malmetre les bateries. Per aquest motiu és necessari realitzar una càrrega lenta a cotxeres, entre 50 i 100 kW, per tal de balancejar la càrrega de les bateries i optimitzar més així la seva vida útil.

Només s'optarà electrificar aquelles línies, que en un escenari futur en que la tecnologia de les bateries hagi millorat, que hagin de ser operades mitjançant pantògrafs.

4. **Modalitat Híbrid Endollable:** Quan una línia no pugui ser operada mitjançant un autobús elèctric, s'optarà per operar-la mitjançant aquesta modalitat d'autobús, prioritant el mode de tracció elèctric en els entorns urbans, i el mode de tracció de combustió pels entorns interurbans així com aquells trams que presentin un fort pendent.

Cada línia ha estat avaluada individualment per determinar quina és la modalitat d'operació òptima en cada cas. En la següent taula s'exposen els resultats obtinguts:

**Classificació considerant factors de Línies Urbanes, escenari tecnologia actual**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>TMB - AMB</b>	4	16	73	0	93
RESTA AMB	27	1	66	1	95
<b>SIMMB</b>	25	32	148	2	207
<b>TOTAL</b>	56	49	287	3	395

La modalitat d'operació de les línies anteriorment citades, equival a una demanda elèctrica diària que es detalla a continuació:

Consum diari [kWh/dia]	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>TMB - AMB</b>	1.475	6.863	443.117	-	451.455
RESTA AMB	25.993	728	167.101	-	193.822
<b>SIMMB</b>	11.398	8.729	200.970	-	221.097
<b>TOTAL</b>	38.865	16.321	811.188	-	866.374

Aquesta demanda energètica es tradueix a la necessitat de tenir una potència necessària, ja sigui en cotxeres i/o pantògrafs entorn als següents valors:

Potència necessària[kW]	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>TMB - AMB</b>	177	831	46.774	-	47.783
RESTA AMB	1.992	50	38.413	-	40.455
<b>SIMMB</b>	8.524	775	61.905	-	71.223
<b>TOTAL</b>	10.712	1.656	147.094	-	159.461

A continuació es mostra el càlcul energètic per l'escenari actual i futur:

**Comparació escenari actual i futur de cada conjunt de línies**

**TMB - AMB**

**Tecnologia actual:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 350 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
Modalitat Operació	4	16	73	0	93
Consum kWh/dia	1.475	6.863	443.117	-	451.455
Potència [kW]	177	831	46.775	-	47.783

**Tecnologia futura:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 500 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
Modalitat Operació	36	7	50	0	93
Consum kWh/dia	58.488	20.800	355.699	-	434.987
Potència [kW]	10.150	3.215	35.555	-	48.920

**RESTA AMB**

**Tecnologia actual:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 350 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	27	1	66	1	<b>95</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	25.993	728	167.101	-	<b>193.822</b>
<b>Potència [kW]</b>	1.992	50	38.413	-	<b>40.455</b>

**Tecnologia futura:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 500 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	55	1	38	1	<b>95</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	57.588	1.062	125.091	-	<b>183.741</b>
<b>Potència [kW]</b>	6.761	102	26.847	-	<b>33.711</b>

**SIMMB URBANES**

**Tecnologia actual:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 350 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	25	32	148	2	<b>207</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	11.397	8.729	200.970	-	<b>221.097</b>
<b>Potència [kW]</b>	8.542	775	61.905	-	<b>71.222</b>

**Tecnologia futura:**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 500 kWh / 50 kW**

**Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW**



Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	71	43	93	0	<b>207</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	42.234	23.782	147.925	-	<b>213.941</b>
<b>Potència [kW]</b>	29.026	3.100	44.589	-	<b>76.715</b>

En els annexes d'aquest estudi es pot consultar en detall el mode d'operació de totes les línies d'autobús analitzades.

### Classificació considerant factors de línies Interurbanes SIIMB, escenari tecnologia actual

## **SIMMB INTERURBANES**

### Tecnologia actual:

Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 350 kWh / 50 kW

Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	74	28	106	42	<b>250</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	8.647	6.380	121.229	-	<b>136.256</b>
<b>Potència [kW]</b>	733	404	75.868	-	<b>77.005</b>

### Tecnologia futura:

Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat Overnight: 500 kWh / 50 kW

Bateria Bus / Potència pantògraf, modalitat oportunitat: 125 kWh / 500 kW

Línies	Overnight	Standby	Oportunitat	Híbrid Endollable / Catenària	TOTAL
<b>Modalitat Operació</b>	125	23	76	26	<b>250</b>
<b>Consum kWh/dia</b>	36.059	8.705	104.529	-	<b>149.293</b>
<b>Potència [kW]</b>	10.643	1.555	53.700	-	<b>65.898</b>

En els annexes d'aquest estudi es pot consultar en detall el mode d'operació de totes les línies d'autobús analitzades.

### Comparació consum combustible actual en front el càlcul emprat en aquest estudi

Un cop classificades les línies d'estudi en les diferents modalitats possibles, s'ha procedit a analitzar l'impacte mediambiental que suposaria aquesta transició, prenent totes les línies actuals operades amb autobusos de combustió, i considerant un consum mig en línies urbanes de 35 L/100 km i de 45 L/100 km per a línies interurbanes. De la mateixa manera, s'ha considerat l'energia anual que seria necessària si tots els mateixos vehicles fossin operats per vehicles elèctrics. Finalment s'ha convertit a tones equivalents de petroli per observar la eficiència total que suposaria aquest canvi. El resultat es plasma en la taula següent:

Línies	Consum Anual Combustible (L/any)	Tones eq. de petroli (t.e.p./any)	Energia anual (kWh/any)	Tones eq. de petroli anuals (t.e.p. /any)	Eficiència
<b>TMB - AMB</b>	27.242.999	23.475	112.949.956	9.713	0,586
<b>RESTA AMB</b>	14.858.383	12.803	48.695.753	4.187	0,676
<b>SIMMB Urb.</b>	13.236.271	11.405	55.583.363	4.780	0,581
<b>SIMMB Interurb.</b>	22.023.879	18.978	77.866.871	6.696	0,647
<b>TOTAL</b>	<b>77.361.533</b>	<b>66.662</b>	<b>295.095.944</b>	<b>25.378</b>	<b>0,619</b>

Remarcant que aquest càlcul d'energies fa referència a la que va del dipòsit del vehicle a les rodes "*tank to wheel*", és a dir, on el rendiment dels vehicles elèctrics és molt més alt que el dels vehicles de combustió. Si analitzéssim tot el recorregut de l'energia, des de que s'obté la matèria prima fins la roda "*well to wheel*" observariem com aquesta diferència és reduïda i propera a la unitat. A la imatge següent s'observa el recorregut de ambdós fonts d'energia i de les seves eficiències en cadascuna de les seves transicions. Analitzant les eficiències del dipòsit a les rodes, veiem com la diferència entre elles (80 i 20%) és correspon aproximadament al 60% de diferència que resulta dels càlculs plasmats en les taules.

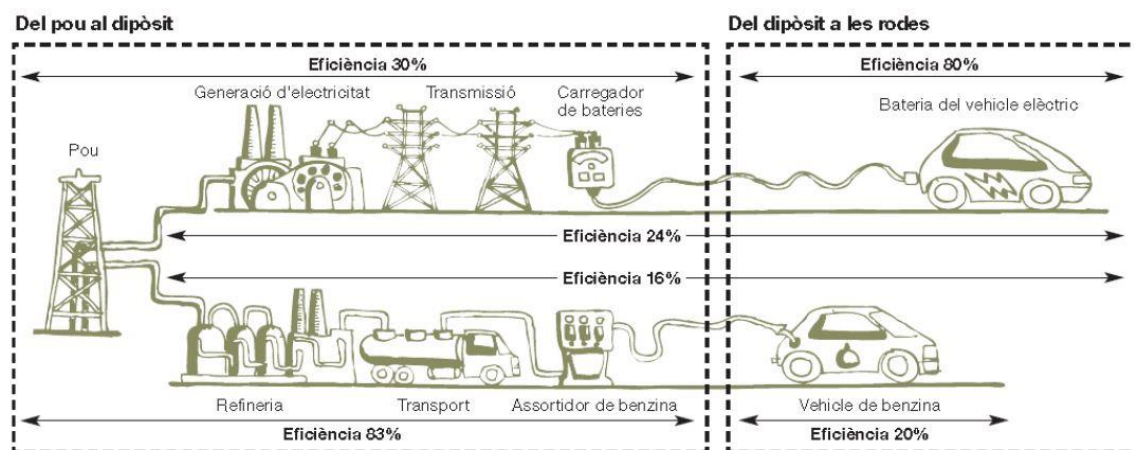


Figura 5.9 Recorregut d'ambdós fonts d'energia.

### 5.3.2 Disponibilitat energètica

En aquest apartat es pretén, en base a la infraestructura de recàrrega i xarxa elèctrica existent, estudiar la cobertura elèctrica existent per tal d'analitzar les zones amb més i menys infraestructura. D'aquesta manera es podrà detectar si les línies candidates a ser electrificades tenen fàcil accés a l'energia i planificar la infraestructura de recàrrega adient per cada una d'elles.

A partir dels apartats anteriors estudiats, es tindrà en compte:

- Les infraestructures elèctriques existents dels operadors ferroviaris amb l'objectiu de detectar vies de col·laboració i d'aprofitar l'energia sobrant.
- Les localitzacions més adients i propícies per realitzar l'aprofitament energètic.
- Les condicions tècniques, administratives a complir per tal de respectar la legislació referent al reaprofitament d'energia.

#### 5.3.2.1 Barcelona Ciutat i municipis confrontats

Tal com s'ha comentat, a nivell de Barcelona, i respecte el primer punt, les reunions bilaterals amb TMB METRO han informat que actualment la potència que es pot arribar a requerir simultàniament equival al 68% de la potència contractada, per tant, en un primer moment es tindria disponibilitat energètica per a la recàrrega dels autobusos. Tot i així, METRO preveu un augment del 40% en el consum de potència a causa de l'augment en la freqüència del metro en un futur.

Es presenten les següents premisses a tenir en compte per tal de definir l'estratègia de disponibilitat d'energia i condicions d'accés d'energia per als autobusos elèctrics:

- La xarxa existent de METRO està formada a partir de 2 receptores destinades a la línia L9 i 12 subestacions per la resta de línies.
- La voluntat és que cada receptora subministri la demanda energètica total del metro, essent una redundat a l'altre, per tal de garantir el subministrament energètic.
- Amb les dues receptores que es van construir per a la L9, juntament amb les escomeses de Metro, es podria tenir potència disponible per a subministrar energia als autobusos elèctrics.
- TMB Metro informa la seva voluntat al 2020 de començar a alliberar potència de les seves subestacions de tracció i connectar-se a les receptores de L9. Aquest fet habilita que es pugui destinar la potència sobrant de cada subestació de tracció a noves funcions, com podria ser el subministrament energètic dels autobusos elèctrics.

- TMB METRO informa que els drets de les escomeses contractades caduquen aquest any, no obstant, tenen la intenció d'augmentar la potència contractada en el P6 per tal de seguir mantenint els drets de potència per tal de fer front a un augment de la demanda energètica, ja sigui per part de METRO o els autobusos elèctrics.
- Per altra banda, les receptores es podrien destinar a subministrar l'energia als autobusos durant la nit, ja que durant el dia es seguiran destinant al subministrament energètic del METRO. Aquesta operativa comportaria tenir grans estalvis, a més a més de aprofitar el potencial energètic de les receptores.

En base a la infraestructura de METRO actual, TMB i Infraestructures.cat s'obra la possibilitat de realitzar una connexió, pel subministrament elèctric dels autobusos elèctrics, a la infraestructura de tracció ferroviària, que es podria realitzar en **tres fases** per tal de gestionar la disponibilitat d'energia i les condicions d'accés a l'energia per als autobusos elèctrics a planificar.

### 1. Utilitzar la potència sobrant actual sense contemplar connectar-se a la xarxa ferroviària.

Actualment METRO no disposa de reserva de potència en les escomeses principals (alimentadores) de les subestacions de tracció. Es podria analitzar un ús alternatiu de les escomeses de reserva que tenen en algunes subestacions. Tenint en compte que aquestes escomeses passen a ser alimentadores en períodes en què la principal deixa de ser present (per exemple, degut a que la Distribuïdora faci un descàrrec per manteniment, avaria o afectació per obres), aquestes només estarien a disposició dels autobusos només en el cas que la principal estigui disponible. És a dir, en els períodes en què no ho estigui es desconnectaria el carregador del Bus i passaria a alimentar en exclusivitat el METRO.

Tanmateix, Metro no accepta que la solució de recàrrega dels autobusos sigui mitjançant el model de realitzar connexions des de Metro i recórrer sòl urbà amb cables MT de Metro, no obstant realitzar les connexions elèctriques recorrent els túnels de METRO podria ser una possibilitat.

Ara bé, per al projecte pel pilot de Maristany, en motiu del Projecte Zeus, es va estendre l'escomesa pel carrer, però representa seriosos problemes tant d'operació com de manteniment per a Metro. Per aquest motiu, caldria plantejar situar les estacions de recàrrega ràpida just al costat de les estacions del Metro indicades, de forma que no hi hagués recorregut de línia MT pel carrer. Aquest model, no obstant, podria implicar que els busos que es desviessin de la seva línia i es desplaressin fins a l'estació de recàrrega cada vegada que haguessin de carregar, el que implicaria possiblement introduir algun bus addicional al carrusel per no afectar el servei.

### 2. Utilitzar la redundància de les receptores de la xarxa ferroviària per tal de recarregar els autobusos elèctrics.

En aquest cas es disposaria de 120 MW entre receptores i escomeses d'Endesa. Aquesta opció però té l'avantatge que es perdria la redundància actual de la que disposa el metro.

METRO està calculant quantes línies de METRO poden ser subministrades actualment per les dues receptores existents. Es permetrà conèixer les escomeses que quedarien disponibles per subministrar la demanda energètica dels autobusos elèctrics.

En aquest sentit, TMB i Infraestructures informen que la receptora de Sagrera actualment és capaç de subministrar la demanda energètica del 40% de la xarxa de METRO. En aquest cas es podria valorar realitzar una inversió per tal de connectar la receptora amb les 13 subestacions de tracció de metro més properes. S'estimen que els estalvis anuals permetrien amortitzar la inversió en un escenari curt. En aquest punt, es connectarien les subestacions de tracció amb la receptora de Sagrera en direcció a Zona Franca, i de la mateixa manera es podria procedir amb la receptora de Zona Franca.

Es parla sobre la complexitat existent quan es pretén ampliar una xarxa elèctrica privada, com seria la connexió de les receptores de L9 amb el subestacions de tracció de METRO, allà on hi ha xarxa de distribució existent de ENDESA. No obstant, justificant aquesta connexió com a interès dels organismes públics, pot facilitar aquesta connexió.

3. **Valorar la construcció de noves receptores per tal de garantir un coeficient de redundància que permeti garantir el subministrament energètic a la xarxa de transport, tant de METRO com d'autobusos elèctrics.**

Per aquesta darrera fase, caldria valorar realitzar una inversió, per la construcció d'una nova receptora (que complementaria les dues receptores existents) i l'adaptació des les receptores existents **per tal de subministrar l'energia elèctrica a METRO i autobusos elèctrics**. Aquesta inversió s'amortitzaria mitjançant els estalvis generats.

Finalment, el fet de que les receptores passin a proporcionar energia a TMB, i a les diferents operadores públiques/privades de transport públic d'autobusos (TMB, etc.), comporta una complexitat de compra-venta d'energia. Caldria decidir qui seria el titular de les receptores, que seria el mateix que s'hauria d'encarregar de la contractació energètica i la conseqüent distribució; tant a METRO com als diferents punts de recàrrega dels operadors encarregats d'operar el transport públic (TMB, altres).

S'han plantejat dues opcions:

- **OPCIÓ A:** ATM com a titular
- **OPCIÓ B:** crear una nova figura pública que en sigui el titular.

En ambdós casos, és necessari estudiar la gestió associada, per tant, caldria comptar amb el suport d'un equip de Juristes – Tècnics.

Per altra banda, pel que fa al servei del Tram i a les possibles ampliacions dins de les condicions actuals d'explotació (i contractació), es podria:

- Incrementar al nivell que hi ha en període P6 (4.158 kW)
- Incrementar la potència a uns nivells entre 10-20 % més que la màxima que hi ha actualment (p.e. Collblanc un 10-20 % més que 1.949), que probablement implica un canvi de transformadors d'intensitat i drets de connexió.
- Incrementar la potència per sobre dels nivells anteriors, caldria un estudi de la Companyia distribuïdora per analitzar la viabilitat o no d'aquest increment, amb diferents alternatives possibles.

Els estudis de simulació d'energia del Tram Baix conclouien que la potència contractada a Collblanc havia de ser de 9 MW, amb el dimensionament corresponent dels cables. Un cop iniciada l'operació es va baixar als 1,5 MW – 2 actuals.

### 5.3.2.2 Àrea Metropolitana de Barcelona i SIMMB

Finalment, pel que fa al subministrament elèctric fora de Barcelona, caldria realitzar un estudi tècnic-econòmic sobre quina és la solució més avantatjosa per la infraestructura de recàrrega a les cotxeres dels autobusos.

Existeixen dues possibilitats a estudiar, reubicar les cotxeres prop de la infraestructura elèctrica que tingui capacitat per donar subministrament elèctric, o bé, realitzar una inversió per estendre la xarxa de distribució elèctrica fins les respectives cotxeres.

En ambdós casos, la inversió a realitzar seria elevada, i per tal d'optimitzar costos, es considera avantatjós que la inversió es realitzi en cotxeres públiques, i si és necessari, crear noves cotxeres públiques. Les cotxeres públiques disposarien així de infraestructura de recàrrega per als operadors d'autobusos que estiguin realitzant el servei.

En el següent imatge, que es pot consultar en l'annex, es pot visualitzar la localització de les cotxeres dels operadors (segons el nombre de places que disposen), les diferents subestacions elèctriques que podrien proporcionar cadascuna un subministrament elèctric de 5 MW, les subestacions elèctriques ferroviàries, centrals elèctriques i línies elèctriques d'alta (>110 kV) i baixa tensió (<110 kV).

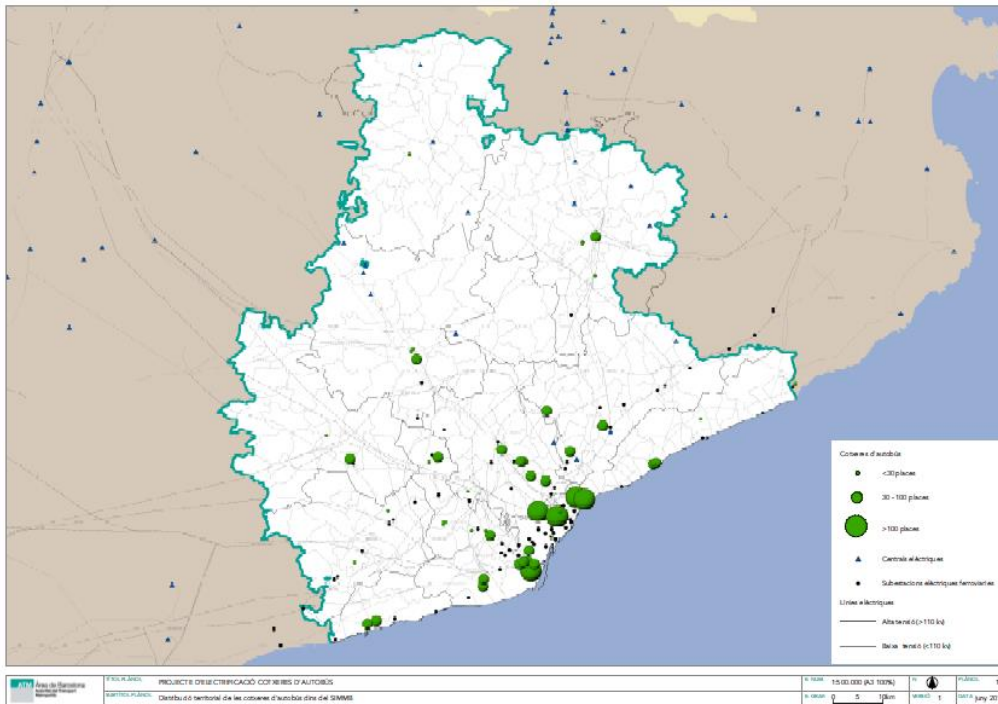


Figura 5.9 Mapa cotxeres i infraestructures elèctriques

## 6 Definició d'escenaris

### 6.1 Consideracions per l'estratègia global

Un cop analitzades la globalitat de les línies segons la seva tipologia òptima de recàrrega, es detecten dos àmbits diferents d'actuació:

- Electrificació de la xarxa urbana d'autobusos
- Electrificació de la xarxa interurbana d'autobusos

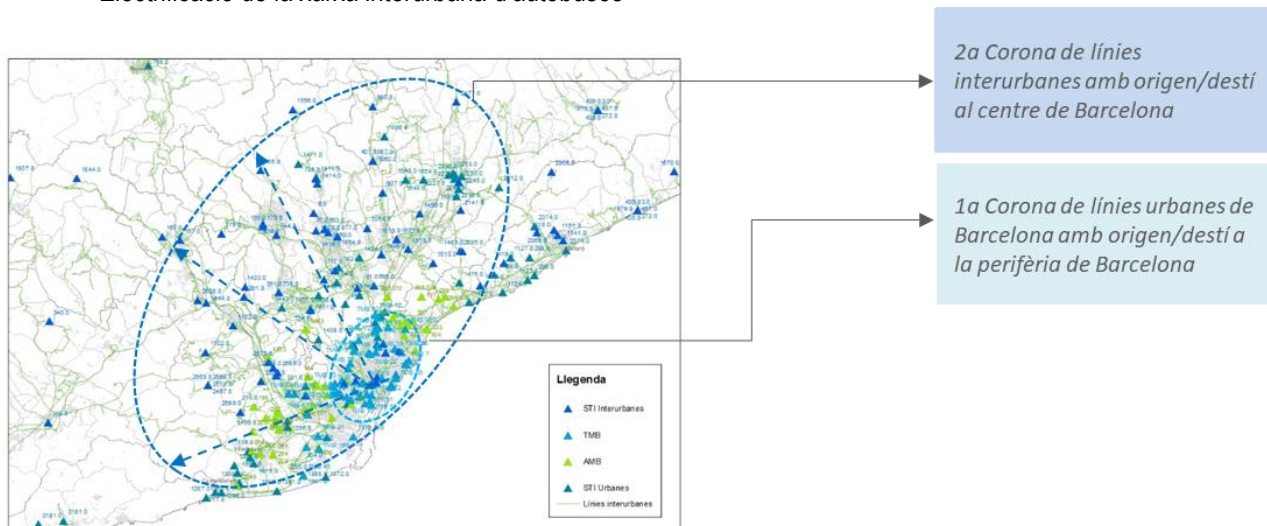


Figura 6.1 Servei de Transport Públic d'autobús a electrificar

L'estratègia ha tingut en compte una sèrie d'inputs per tal de generar els escenaris de línies a electrificar. En un primer lloc, la **facilitat d'implantació segons la tipologia de recàrrega** ja que la càrrega mitjançant pantògraf aporta rigidesa a la línia i per tant, a la solució global. Així doncs, l'estratègia planteja en primer lloc prioritzar aquelles línies que actualment són òptimes de recarregar mitjançant tecnologia overnight, i proposa realitzar una reflexió concreta sobre l'**estratègia de col·locació dels pantògrafs**. En aquest aspecte, caldria detectar quines línies s'operen des de cada gran estació d'autobusos de Barcelona, analitzant la viabilitat d'electrificació mitjançant pantògraf a origen i també a la destinació. Es pot plantejar fins i tot, la possibilitat d'utilitzar vehicles *Range extender/catenàries* per aquelles línies interurbanes més llargues.

Per altra banda, a part de la tipologia de recàrrega òptima, cal tenir en compte la disponibilitat energètica del territori, tal i com s'ha analitzat en els apartats anteriors:

- **Xarxa d'estacions amb càrrega overnight properes a les subestacions**
- **Terminals de línia properes a les escomeses de reserva de TMB**
- **Terminals de línia en nuclis urbans** (facilitat de tenir energia disponible)

Així doncs, és clau analitzar la **ubicació de les cotxeres**. Per tant, aquesta estratègia apunta a la necessitat d'incorporació una **reflexió energètica a l'estudi Terminals d'Autobusos**, de la mateixa ATM.

#### 6.1.1 Metodologia de l'Impacte econòmic: Anàlisi cost-benefici

Per calcular l'impacte econòmic de l'escenari proposat, s'utilitza la metodologia del **Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT)**, metodologia de referència de la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre (DGIMT), que segueix una **metodologia d'anàlisi cost-benefici (ACB)**.

L'anàlisi cost-benefici (ACB) consisteix en la **quantificació i la comparació dels beneficis i costos** que generen, per al conjunt de la societat, diferents projectes d'inversió. En fer això, l'ACB considera tots els impactes que el projecte té sobre la societat, independentment de si aquests són o no considerats per una anàlisi financera convencional. La utilització de l'ACB, presentant els seus resultats junt amb l'enumeració detallada dels impactes considerats i la seva quantificació, és un pas important per fer més transparent el procés de presa de decisions públiques.

El SAIT té en compte, per un costat, els **impactes derivats del projecte de transport**, i per altra banda, cada un dels agents implicats en el sistema, ja siguin institucions, companyies privades o individus. Els costos i beneficis que s'analitzen mitjançant aquesta eina, corresponen als aspectes relacionats amb la inversió, operativa, manteniment, usuaris i externalitats.

#### 6.1.1.1 Hipòtesis utilitzades:

En primer lloc, és important anotar que per conèixer l'impacte econòmic de la implantació de la tecnologia elèctrica, aquest es calcula en base a un escenari base a partir de tecnologia dièsel. És a dir, l'ACB s'obté com a diferència entre els costos i els beneficis de la proposta elèctrica respecte als costos i beneficis de l'escenari de referència tendencial (dièsel).

##### - **Inversió:**

Pel que fa a la inversió, es calcula la inversió associada a la infraestructura i la inversió associada al material mòbil.

A nivell d'infraestructura, es calcula segons els escenaris de línies per tipologia de recàrrega. S'assumeixen els següents valors de costos associats a cada un de les tipologies:

<b>Pantògraf ràpid (PR)</b>	400.000 €
<b>Pantògraf lent (PL)</b>	65.000 €
<b>Càrrega mixta (CM)</b>	281.000 €
<b>Càrrega híbrida (CH)</b>	50.000 €

Taula 47 Costos de recàrrega associats a cada un de les tipologies

Per tal de calcular el cost total, s'han seguit les següents hipòtesis de càlcul:

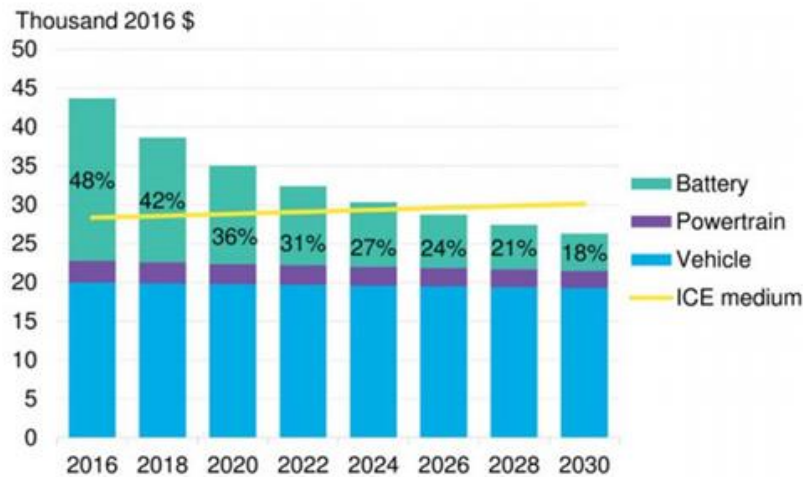
	<b>Cost d'infraestructura:</b>
<b>Overnight</b>	línies x nº busos/línia x PL
<b>Mixta +1</b>	PM x línies x (nº busos línia +1)
<b>Oportunitat</b>	PR x 2 x línies oportunitat + línies x nº busos/línia x PL
<b>Mixta +2</b>	PM x línies x (nº busos línia +2)
<b>Mixta +3</b>	PM x línies x (nº busos línia +3)
<b>Tecnologia híbrida</b>	H x línies x nº busos línia

Taula 48 Hipòtesis de càlcul associades a cada un de les tipologies

S'ha estimat un número de busos mig per línia, en funció del sistema analitzat (TMB, AMB i SIMMB). Per altra banda, s'ha considerat una taxa de renovació de 10 anys.

Per incloure el cost del vehicle s'ha calculat la diferència entre la tecnologia dièsel i la tecnologia elèctrica. Actualment el cost d'un autobús elèctric és superior al cost d'un autobús dièsel, però la informació de referència posa de manifest que el preu de compra d'un vehicle elèctric es reduirà significativament durant els pròxims anys. Concretament, i segons els informes Electric Vehicle Outlook (Bloomberg New Energy Finance) i The EV Disruption (Virta, The electric vehicle charging company) els preus de compra als EEUU s'igualaran a l'any 2025:





Seguint aquestes referències, s'ha optat per reduir paulatinament el diferencial de cost d'un autobús elèctric front un autobús dièsel. Les hipòtesis utilitzada ha estat que a l'any 0 de l'anàlisi el diferencial de cost és d'un 20% superior pel cas elèctric, disminuint aquest diferencial fins assolir un 0% de diferencial l'any 2025. A partir del 2025 també s'ha reduït el diferencial fins aconseguir un -5% que s'ha mantingut fins al final de l'estudi. La següent figura mostra els valors utilitzats:

Horitzó	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	20	30
Any	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2039	2049
<b>DIFERENCIAL PREU</b>	<b>20%</b>	<b>18%</b>	<b>15%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>3%</b>	<b>0%</b>	<b>-1%</b>	<b>-2%</b>	<b>-3%</b>	<b>-4%</b>	<b>-5%</b>	<b>-5%</b>	<b>-5%</b>
<b>Elèctric</b>	366.000	359.900	350.750	335.500	320.250	314.150	305.000	301.950	298.900	295.850	292.800	289.750	289.750	289.750
<b>Dièsel</b>	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000	305.000

Taula 49 Hipòtesis de càlcul associat al cost del vehicle.

A posteriori, per cada una de les tipologies utilitzades s'han obtingut el número de busos necessaris seguint les següents premisses de càlcul:

	Número de busos necessaris
<b>Overnight</b>	línies x nº busos/línia x CVe
<b>Mixta +1</b>	línies x (nº busos línia +1) x CVe
<b>Oportunitat</b>	línies x nº busos/línia x CVe
<b>Mixta +2</b>	línies x (nº busos línia +2) x CVe
<b>Mixta +3</b>	línies x (nº busos línia +3) x CVe
<b>Tecnologia híbrida</b>	línies x nº busos línia x CVh

Taula 50 Hipòtesis de càlcul de número de busos necessaris per cada un de les tipologies

S'ha suposat una inversió pel 100% de la flota electrificable, sempre comparant els costos de les diferents tecnologies elèctriques amb els costos de la tecnologia dièsel.

**- Manteniment:**

Pel que fa al manteniment, també es calcula el manteniment associat a la infraestructura i el manteniment associat al material mòbil.

En relació a la infraestructura, es calcula l'estalvi de cost de manteniment, entre les estacions de bus amb vehicles dièsel en front el manteniment dels punts de recàrrega.

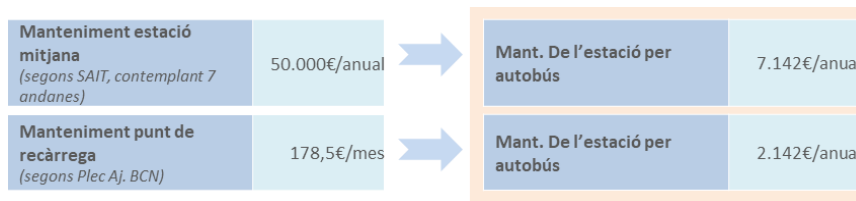


Figura 6.2 Diferència de manteniment segons tecnologia

La direcció tècnica dels treballs considera aquesta diferència de costos molt elevada, per tant, s'ha decidit aplicar un factor de seguretat del 30% reduint el valor del manteniment en el cas dièsel i augmentat el cost de manteniment en el cas elèctric.

Finalment, s'utilitzen els següents factors segons tecnologia aplicada:

<b>Valor dièsel</b>	5.000€ anuals
<b>Valor elèctric</b>	2.785€ anuals
<b>Diferència de costos anuals</b>	+2.215€ anuals per punt de recàrrega

Taula 51 Valors de cost de manteniment de la infraestructura anual segons tecnologia

En relació al manteniment del material mòbil, segons l'estudi *Electric Bus Analysis for New York City Transit de la Universitat de Columbia*, els costos de manteniment dels vehicles dièsel inclouen el manteniment del motor de combustió interna i el motor de potència associat, incloent els canvis d'oli i filtre, canvi de pneumàtics i pastilles de fre, i altres elements de desgast, entre altres. Els vehicles elèctrics no requereixen d'aquest manteniment. S'ha demostrat que l'estalvi de costos és tan elevat com el 50%, però seguint el seu anàlisi, **l'estalvi utilitzat en aquest anàlisi s'ha fixat del 40%**.

<b>Valor dièsel</b> <i>Segons SAIT</i>	0,13 €/km
<b>Valor elèctric</b> <i>Segons 40% reducció</i>	0,08 €/km

Taula 52 Valors de cost de manteniment del vehicle en funció km segons tecnologia

#### - Operativa:

Per calcular el cost associat a la operativa, es té en compte el combustible dels vehicles. S'ha calculat la diferència de cost entre l'operativa dièsel i l'operativa elèctrica.

Segons l'estudi *El valor del sector empresarial privat en la prestació del servei públic de transport de viatgers* encarregat per FECAV i realitzat per l'Institut Cerdà, el cost quilomètric d'operar mitjançant un vehicle dièsel és de:

Urbà	0,6	€/km
Perirurbà	0,39	€/km
Interurbà	0,29	€/km
Interurbà	0,24	€/km
<b>Mitjana</b>	<b>0,38</b>	<b>€/km</b>

Figura 6.3 Costos quilomètrics del dièsel

Per altra banda, s'ha calculat el cost de l'operativa en el cas elèctric. En aquest cas s'han utilitzat els costos de l'Informe de Precios Energéticos Regulados del Ministeri per a la transició energètica. S'han calculat els costos en base a la tarifa 6.1. actual, però també en base a la tarifa 6.4. Aquesta diferència de tarifa es farà efectiva en el moment que els autobusos puguin beneficiar-se de la connexió amb la xarxa ferroviària existent. Així doncs tenint en compte les potències necessàries i els consums diaris que s'han calculat en apartats anteriors, el cost operatiu de l'electricitat seria:

- Tarifa 6.1. (connexió actual a la xarxa Endesa):  
TP = 108,24 €/kW i TE=0,065€/kWh

	€/km
TMB - AMB	0,39
RESTA AMB	0,23
SIMMB	0,50
<b>Mitjana</b>	<b>0,37</b>

Figura 6.4 Costos quilomètrics de l'electricitat amb tarifa 6.1

- Tarifa 6.4. (connexió mitjançant xarxa ferroviària):  
TP = 37,89 €/kW i TE=0,024€/kWh

	€/km
TMB - AMB	0,13
RESTA AMB	0,07
SIMMB	0,17
<b>Mitjana</b>	<b>0,13</b>

Figura 6.5 Costos quilomètrics de l'electricitat amb tarifa 6.4

En aquest cas, es considera únicament la diferència de cost de l'energia. El cost de manteniment i neteja de vehicles ja s'ha considerat a l'apartat de Manteniment. Per altra banda, tampoc s'han inclòs costos d'operació dels equipaments perquè ja s'han considerat en el manteniment de les estacions.

#### - Usuaris:

En aquest cas, no es considera un traspàs d'usuaris entre vehicle privat i transport públic pel canvi de tecnologia dels autobusos. Tampoc es considera una modificació en les tarifes pel canvi de tecnologia dels autobusos, ni un estalvi, ni un canvi d'impostos. Per altra banda, es negligeixen impostos fixes com ara impost de matriculació, circulació, etc. En general doncs, no es considera canvis en la operació dels usuaris de vehicle privat.

#### - Externalitats:

En aquest cas es consideren les externalitats produïdes per la pol·lució, també pel canvi climàtic i pel soroll. Per altra banda, no es considera una major o menor accidentalitat per canvi de tecnologia dels autobusos, ni es consideren vibracions, canvis en l'ecosistema ni contaminació del sòl o l'aigua.

Pel que fa a la **pol·lució**, s'ha tingut en compte la reducció ens els contaminants Nox i PM. Especificar pel cas de les PM, es tenen en compte aquelles relatives a la combustió però també les de frenada. Segons els valors obtinguts en els estudis instrumentals del pdM, les partícules per desgast del neumàtic i del paviment són de l'ordre del 20% del total de partícules. Aquesta tipologia de partícules no es veu afectada pel canvi de tecnologia.

Considerant aquestes premisses, i segons els valors de la presentació TOWARDS THE ELECTRIFICATION OF PUBLIC TRANSPORT VIA PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP: THE EXAMPLE OF LUXEMBOURG, dins el marc de la Conferència Anual POLIS 2017 la reducció per utilitzar vehicles elèctrics front vehicles dièsel en Nox i PM és del 70%, la qual s'aplica sobre el valor de dièsel que proposa la guia SAIT.

Actualment la metodologia SAIT es troba en procés de revisió amb la qual cosa els ratis ambientals estan pendents de validar. Per calcular l'impacte de la pol·lució s'han considerat els ratis de pol·lució que proposa el nou SAIT aplicant un factor de seguretat ja que l'increment entre el nou valor i el de l'anterior versió del

SAIT és molt accentuat. És així que s'ha considerat el nou valor de 0,75€/km amb un factor reducció del 80%, per tant, el valor utilitzat és de 0,15€/km. Tot i així, l'increment amb el SAIT anterior és de l'ordre del 200%.



Figura 6.6 Diferència de pol·lució segons tecnologia

Per calcular l'efecte sobre el **canvi climàtic**, s'ha analitzat el factor de reducció d'emissió associat al CO<sub>2</sub> mitjançant la informació de l'Oficina del Canvi Climàtic de la Generalitat. Aquest factor s'aplica als costos proposats per la guia SAIT (en aquest cas no s'ha aplicat cap factor de seguretat ja que la nova metodologia SAIT proposa el mateix rati de canvi climàtic que l'anterior):

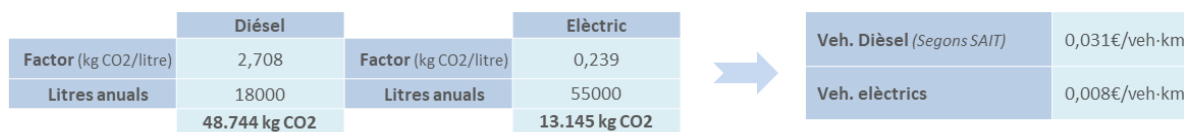


Figura 6.7 Diferència de canvi climàtic segons tecnologia

El tercer punt associat a les externalitats és el **soroll**. Segons converses amb el Servei de Prevenció i Control de la Contaminació Acústica i Lumínica de la Generalitat de Catalunya, s'assumeix una reducció del soroll del 50%. Aquesta reducció s'aplica al valor proposat per la guia SAIT. Pel cas del soroll s'ha utilitzat el rati que proposava fins ara la metodologia SAIT. Els ratis ambientals encara estan pendents de validació però segons converses amb el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat, es creu necessari que a nivell de contaminació acústica creiem es consideren els ratis definits en el SAIT, que estan basats en el Handbook of External Costs de la Comisió Europea.

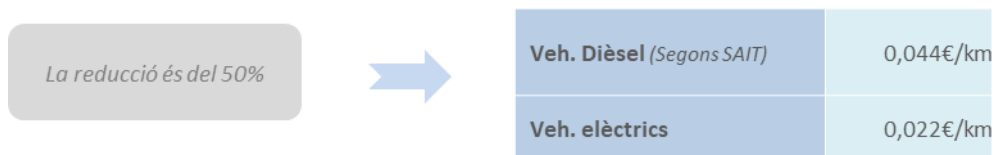


Figura 6.8 Diferència de soroll segons tecnologia

## 6.1.2 Metodologia de l'Impacte Ambiental

Per calcular l'impacte ambiental que suposaria la implantació de la tecnologia elèctrica seguint els escenaris proposats, s'utilitza la metodologia de l'informe *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives*, de European Environment Agency (EEA). Tal com diu el mateix títol, la informació recollida en aquest informe és molt interessant ja que té en compte l'impacte ambiental de la tecnologia elèctrica en tot el seu cicle de vida: des de l'extracció i el processament de matèries primeres fins a la fabricació del producte, el seu ús en la vida quotidiana i fins al final de la seva vida. Per altra banda, l'informe també té en compte el concepte d'economia circular.

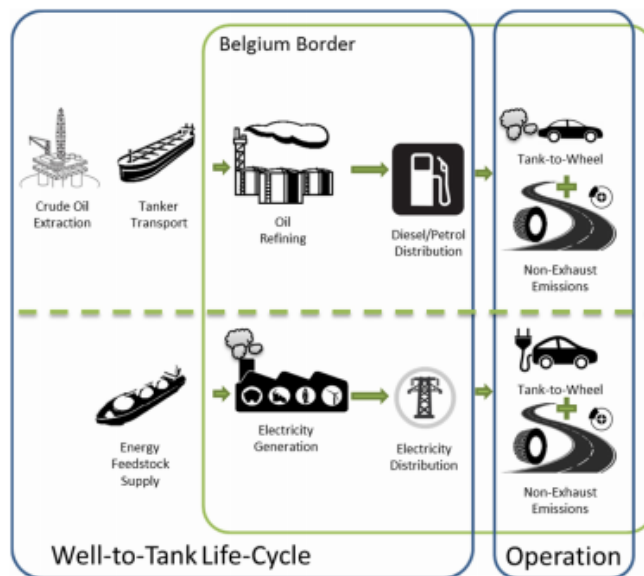


Figura 6.9 Esquema de cicle de vida entre un vehicle dièsel o gasolina en front un vehicle elèctric a Bèlgica, però aplicable en el nostre cas d'estudi.

Seguint la metodologia d'aquest informe, l'impacte ambiental que es presenta en aquesta estratègia s'agrupa en tres aspectes:

- **Canvi climàtic:** reducció en els gasos d'efecte hivernacle.

La reducció en aquest cas, depèn d'una sèrie de factors, inclosos la mida del vehicle considerat, el mix d'electricitat i també depèn de si comparem amb un vehicle convencional de gasolina o dièsel. Segons la informació recollida a l'informe, que té en compte el mix elèctric europeu i tot el cicle de vida dels vehicles elèctrics, les emissions associades a aquests vehicles són de mitjana un 17-21% i un 26-30% menys que les emissions associades als vehicles de dièsel i gasolina similars, respectivament.

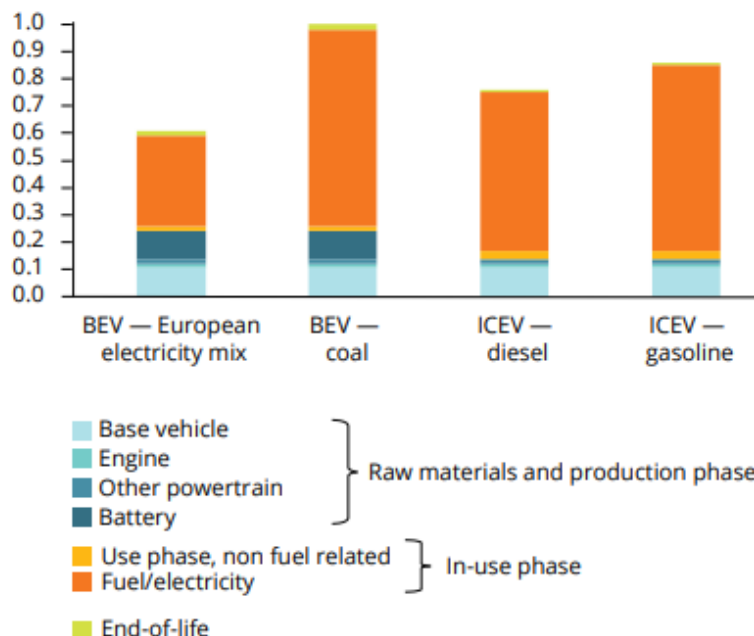


Figura 6.10 Impactes canvi climàtic: exemple comparació de vehicles elèctrics amb vehicles de combustió. Font: Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA.

Per altra banda, les emissions dels gasos efecte hivernacle associades a les matèries primeres i a la seva producció, durant les primeres etapes de la vida útil, solen ser més elevades per a un vehicle elèctric que per al seu equivalent de combustió. Això té a veure amb els requisits energètics per a l'extracció i processament de matèries primeres, així com per a la producció de bateries. Per a l'etapa final del cicle, les emissions, tant de vehicles elèctrics com de combustió, són molt baixes tenint en compte tot el cicle de vida global. En aquest context, el potencial de reutilització i reciclatge dels components del vehicle és un dels temes claus de desenvolupament.

Per aquest projecte s'ha calculat el factor d'emissions de CO<sub>2</sub> per kWh segons el mix energètic espanyol 2018. S'exposen els factors utilitzats pel càlcul ambiental, segons vehicle elèctric o vehicle dièsel.

Factor CO <sub>2</sub> mix 2018 Espanya	0,239 kg CO <sub>2</sub> /kWh
Factor CO <sub>2</sub> dièsel	2,708 kg CO <sub>2</sub> /l

#### - Impacte sobre la salut

Els impactes sobre la salut considerats són la pol·lució de l'aire i l'impacte sonor. Els vehicles elèctrics ofereixen uns beneficis locals de qualitat de l'aire a causa de no tenir emissions d'escapament. Per altra banda, els vehicles elèctrics continuen emeten PM localment: des de la carretera, el pneumàtic i el desgast dels frens, com fan tots els vehicles de motor.

En el cas de les PM i els NO<sub>x</sub> també s'ha calculat el factor d'emissions per kWh segons el mix energètic espanyol 2018. S'exposen els factors utilitzats pel càlcul ambiental, segons vehicle elèctric o vehicle dièsel per combustible:

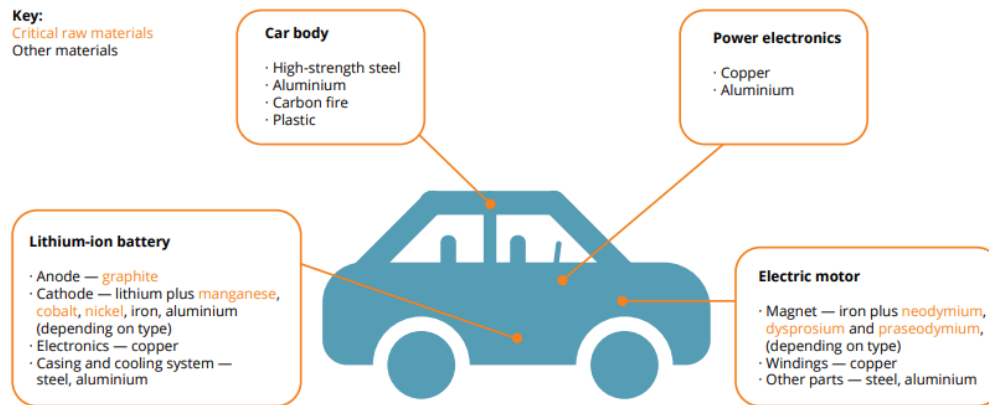
Factor PM 2,5 mix 2018 Espanya	0,004 g PM <sub>2,5</sub> /kWh
Factor PM 10 mix 2018 Espanya	0,007 g PM <sub>10</sub> /kWh
Factor PM 2,5 dièsel	1,16 g PM <sub>2,5</sub> /l
Factor PM 10 dièsel	1,22 g PM <sub>10</sub> /l

Pel càlcul s'ha tingut en compte que les partícules per desgast del pneumàtic i del paviment són de l'ordre del 20% del total de partícules. Aquesta tipologia de partícules no es veu afectada pel canvi de tecnologia. En el cas dels NO<sub>x</sub>, els factors utilitzats són:

Factor NO <sub>x</sub> mix 2018 Espanya	0,160 g NO <sub>x</sub> /kWh
Factor NO <sub>x</sub> dièsel	33,92 g NO <sub>x</sub> /l

#### - Impacte sobre l'ecosistema

Hi ha certs impactes sobre l'ecosistema que són causats per l'ús de les matèries primeres exclusives dels vehicles elèctrics, com per exemple, els impactes i l'ús de la terra produïdes per la mineria associada a la producció de matèries com el coure o el níquel.



Source: Compiled from data in Hawkins et al., 2013; Mathieux et al., 2017; EC, 2018a; 2018b.

Figura 6.11 Principals matèries primes utilitzades en els vehicles elèctrics. Font: Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, EEA.

És important destacar que **els impactes ambientals associats a la fase final de la vida útil**, ja sigui vehicle elèctric o de combustió, **no són el principal contribuent al conjunt de l'impacte ambiental**. Tot i així, el processament final i les oportunitats de reutilització i reciclatge poden tenir beneficis significatius pel que fa a les altres etapes de la vida, en particular a l'abastament de matèries primeres.

Per exemple, una gestió de residus millorada i una major eficiència a través d'un augment dels nivells de reutilització i reciclatge podrien reduir els alts impactes toxicològics associats a l'ús intensiu de metalls bàsics com el coure i el níquel dels vehicles elèctrics. La fase final de la vida contribueix, per tant, a l'impacte ambiental global del vehicle.

Així doncs, els efectes del canvi climàtic per a la fase final de vida són similars, tant pels elèctrics com pels de combustió. Per altra banda, l'informe determina que les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades a l'eliminació de les bateries podria arribar al 14 o el 23% del global. Ara ve, la falta de dades obra certes incerteses sobre aquestes hipòtesis.

Table 9. Fuel refinery and electricity production related emissions. NMVOC: Non methane volatile organic compounds.

Substance	Unit	Diesel Euro 4	Diesel Euro 5	Diesel Euro 6	Petrol Euro 4	Petrol Euro 5	Petrol Euro 6	EV Electricity
Carbon Dioxide	kg	$2.08 \times 10^{-5}$	$1.99 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-5}$	$4.84 \times 10^{-5}$	$4.37 \times 10^{-5}$	$3.95 \times 10^{-5}$	0.026097
Nitrogen Dioxide	kg	$9.35 \times 10^{-6}$	$8.93 \times 10^{-6}$	$8.51 \times 10^{-6}$	$1.81 \times 10^{-5}$	$1.63 \times 10^{-5}$	$1.48 \times 10^{-5}$	$6.52 \times 10^{-7}$
Particulates	kg	$5.41 \times 10^{-7}$	$5.16 \times 10^{-7}$	$4.92 \times 10^{-7}$	$5.86 \times 10^{-7}$	$5.28 \times 10^{-7}$	$4.77 \times 10^{-7}$	$6.27 \times 10^{-8}$
Hydrocarbons	kg	$2.72 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^{-6}$	$2.47 \times 10^{-6}$	$2.94 \times 10^{-6}$	$2.66 \times 10^{-6}$	$2.4 \times 10^{-6}$	$1.34 \times 10^{-14}$
Sulfur Dioxide	kg	$9.35 \times 10^{-6}$	$8.93 \times 10^{-6}$	$8.51 \times 10^{-6}$	$1.81 \times 10^{-5}$	$1.63 \times 10^{-5}$	$1.48 \times 10^{-5}$	$9.07 \times 10^{-7}$
NMVOC	kg	$9.8 \times 10^{-9}$	$9.36 \times 10^{-9}$	$8.92 \times 10^{-9}$	$2.11 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-8}$	$1.72 \times 10^{-8}$	$1.31 \times 10^{-8}$
Waste Heat	MJ	0.0048	0.004584	0.004368	0.008382	0.007559	0.006834	0.293279

## 6.2 Estratègia a curt-mig termini: Escenaris 2021-2030 (PDM/PDI)

### 6.2.1 Introducció

L'estratègia a curt termini (2021-2030) configura un escenari d'implementació de tecnologia elèctrica alineat amb l'horitzó del PDM i PDL de l'ATM. L'estudi planteja dos escenaris per aquesta estratègia:

- Un primer escenari calculat des de l'inici fins al final amb el cost d'energia actual, és a dir, utilitzant la tarifa 6.1.
- Per altra banda, es planteja un segon escenari 2021-2030 mitjançant dues fases, una primera fase utilitzant la tarifa 6.1. actual i una segona fase on es presenta a l'accés a l'energia mitjançant la xarxa ferroviària actual, per tant disposant d'una nova tarifa, la tarifa 6.4.

### 6.2.2 Fases de l'estratègia 2021-2030

Per tal de configurar l'estratègia, i independentment de l'escenari calculat, primer de tot s'analitza la fotografia segons tipologia de recàrrega per cada un dels sistemes analitzats, a partir de la hipòtesis que la tecnologia *overnight* és de 350kWh.

Per altra banda, s'ha considerat important considerar la constant millora de tecnologia pel cas de la recàrrega *overnight* i les bateries, per tant, s'ha realitzat el mateix càlcul i classificació de línies tenint en compte una tecnologia de 500 kWh pel cas *overnight*. Així doncs, s'obté una classificació de línies amb tecnologia 350kWh i una classificació de línies amb tecnologia 500 kWh. Aquestes són les següents:

Línies 350kwh	Overnight	Oportunitat	Standby	Alternativa (híbrid endollable, catenària...)	TOTAL
<b>TMB</b>	4	73	16	0	93
<b>AMB</b>	27	66	1	1	95
<b>SIMMB urbanes</b>	25	148	32	2	207
<b>SIMMB interurbanes</b>	74	106	28	42	250
<b>TOTAL</b>	130	393	77	45	645

Línies 500kwh	Overnight	Oportunitat	Standby	Alternativa (híbrid endollable, catenària...)	TOTAL
<b>TMB</b>	36	7	50	0	93
<b>AMB</b>	55	1	38	1	95
<b>SIMMB urbanes</b>	71	43	93	0	207
<b>SIMMB interurbanes</b>	125	23	76	26	250
<b>TOTAL</b>	287	74	257	27	645

Figura 6.12 Tipologia de càrrega segons sistema de transport analitzat.

A partir d'aquests resultats, s'observa per un costat que el conjunt de línies que tant amb tecnologia 350kWh com amb tecnologia 500kWh la seva tipologia de recàrrega òptima és la *overnight* sumen un total de 130, i representen el 20% de les línies totals. Per altra banda, aquelles que són d'oportunitat en els dos escenaris de tecnologia (350kwh i 500kwh) sumen 257 i representen el 40%.



Per tant, amb la tecnologia actual, **les línies electrificables representen el 60% del total de les línies:**

<b>Overnight</b>	<b>130</b>	<b>20 %</b>
<b>Oportunitat</b>	<b>257</b>	<b>40 %</b>
<b>Overnight + Oportunitat</b>	<b>387</b>	<b>60 %</b>

Taula 53 Línies amb major potencial de ser electrificades

En paral·lel, es considera que el **potencial màxim de renovació serà del 60% d'autobusos**. Per tant, l'escenari 2021-2030 pot contemplar totes les línies anteriors d'Overnight i d'Oportunitat.

A partir d'aquí, per ambdós escenaris es planteja una **priorització de línies** lineal, basada en dos fases, prioritzant el total de les línies segons tecnologia obtinguda. És la possible connexió a la xarxa ferroviària actual que planteja la diferència entre els dos escenaris estudiats:

Escenari 1:

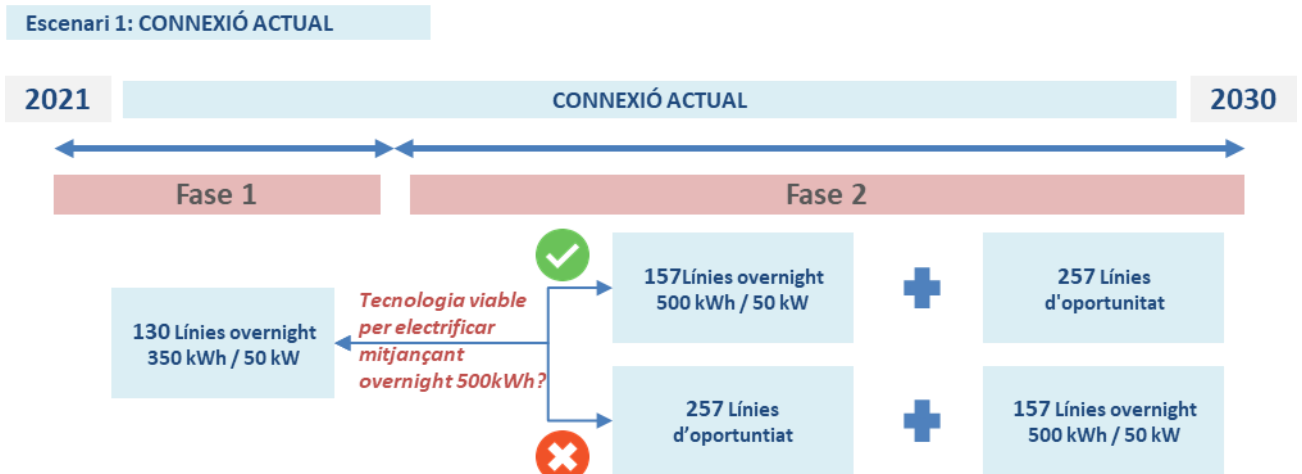


Figura 6.13 Escenari 1.

Escenari 2:

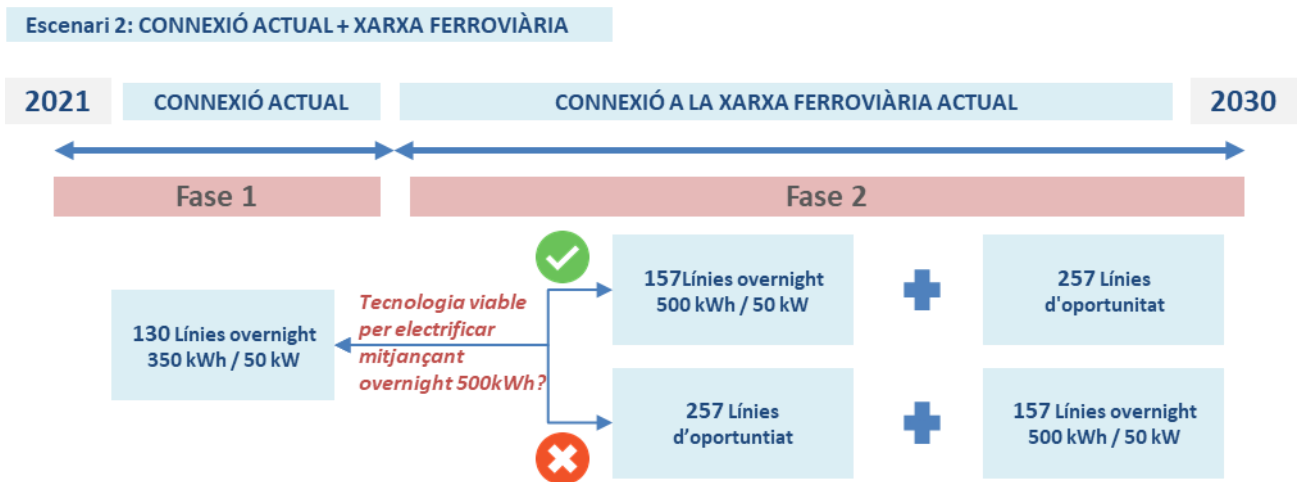


Figura 6.14 Escenari 2.

Les figures anteriors introdueixen un nou aspecte a part de la connexió a la xarxa d'electricitat. L'estratègia, per ambdós escenaris, **considera prioritari electrificar aquelles 130 línies overnight mitjançant tecnologia de 350kWh en una primera fase.** Aquestes línies són el conjunt de línies que tant amb tecnologia 350kWh com amb tecnologia 500kWh la seva tipologia de recàrrega òptima és overnight.

En una segona fase, caldria revisar i tornar a avaluar la tecnologia actual en un futur, aproximadament a l'any 2023, i tornar a analitzar les línies adaptant els coeficients de consum i les especificacions tècniques de les bateries aplicant el mateix algoritme de càlcul. Tanmateix, es presenten dues alternatives per tal de configurar la segona fase, segons la tecnologia disponible al 2023:

- Si en aquest cas, existeix tecnologia per realitzar recàrrega overnight amb 500kWh, l'equip prioritzaria les restants línies overnight (157) mitjançant tecnologia de 500kWh, i deixaria per més endavant l'electrificació mitjançant oportunitat, per la rigidesa que representa.
- En cas negatiu, es prioritzarien primer aquelles línies amb oportunitat i es deixaria pel final les potencials línies a electrificar mitjançant *overnight* de de 500kWh.

A continuació s'exposen els resultats de l'impacte econòmic: anàlisi cost-benefici i de l'impacte ambiental dels escenaris 1 i 2 de l'estratègia 2021-2030, seguint la metodologia exposada en el capítol anterior. Es presenten dos resultats per l'impacte econòmic segons escenari (independentment de la prioritització escollida en la segona fase de cada un d'ells) i un sol resultat en el cas de l'impacte ambiental.

#### 6.2.2.1 Impacte econòmic: Anàlisi cost-benefici

Les dades input que s'han tingut en compte han estat:

- Cost de la infraestructura

	Línies			
	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	GLOBAL
Overnight	196	55	36	287
Oportunitat	169	38	50	257
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>99</b>	<b>86</b>	<b>544</b>

	Cost de la infraestructura			
	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	GLOBAL
Overnight	30.759.750 €	20.017.617 €	36.163.636 €	86.941.003 €
Oportunitat	161.722.438 €	44.230.353 €	90.227.273 €	296.180.064 €
<b>TOTAL</b>	<b>192.482.188 €</b>	<b>64.247.970 €</b>	<b>126.390.909 €</b>	<b>383.121.067 €</b>

- Cost del material rodant:

	Vehicles			
	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	GLOBAL
Veh. Elèctrics	881	521	1.329	2.335

	Cost del material rodant			
	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	GLOBAL
Cost veh. elèctrics	537.571.298,08 €	317.650.180,00 €	810.745.454,55 €	1.424.412.478 €

- Quilòmetres recorreguts:

	Quilòmetres recorreguts i número de quilòmetres per línia			
	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	GLOBAL
Km anuals	48.200.000	37.700.000	40.600.000	126.500.000
Línies	457	95	93	645
Km/Línia	105.470	396.842	436.559	196.124

- Cost de l'operativa:

- Escenari 1: S'utilitza en tots els anys la tarifa 6.1. (connexió actual a la xarxa Endesa): 0,37€/km.
- Escenari 2: S'utilitza durant els primers anys la tarifa 6.1. (connexió actual a la xarxa Endesa), i a posterior, la tarifa 6.4. (connexió a la xarxa ferroviària actual). En aquest cas, s'ha utilitzat un valor de connexió suposant un 20% de tarifa 6.1. i un 80% de tarifa 6.4., ja que les línies a electrificar segons fase 1 i fase 2 segueixen aquestes premisses:

	TMB	AMB menys TMB	SIMMB menys AMB	Mitjana
Línies electrificables FASE 1	4	27	99	43
Línies electrificables FASE 2	82	66	266	138
Línies FASE 1/FASE2	<b>5%</b>	<b>29%</b>	<b>27%</b>	<b>20%</b>

Taula 54 Línies electrificables de la primera fase sobre la segona fase

Finalment, els resultats obtinguts de les operacions per cada un dels escenaris i per cada un dels sistemes de transport han estat els següents:

	TMB		AMB menys TMB		SIMMB menys AMB		GLOBAL	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
<b>VAN</b>	-51,7M€	94,5M€	3,3M€	147,1M€	-51,2M€	98,7M€	-36,6M€	340,4M€
<b>TIR</b>	1,5%	5,3%	3,1%	7,6%	1,5%	5,6%	2,6%	5,6%

Taula 55 Resultats del VAN i TIR dels dos escenaris calculats per cada un dels sistemes analitzats.

S'observa doncs que en tots els casos estudiats la TIR de la inversió és positiva, per tant, ens demostra que la rendibilitat dels projectes és positiva, assenyalant que l'escenari 2 en tots els casos presenta una major rendibilitat. En el cas dels escenaris 1 (excepte el de AMB menys TMB) els valors del VAN surten negatius ja que la TIR és inferior a la taxa de descompte, que és del 3%.

Es mostra, per tant, una clara avantatge en tots tres sistemes pel que fa a l'escenari 2. Aquest fet ens indica que cal treballar per **aconseguir una connexió a la xarxa ferroviària existent**, per tal d'assolir uns costos d'inversió i operació inferiors als beneficis que s'obtenen (beneficis comptabilitzats de manteniment de vehicles i infraestructura, així com a la monetització dels beneficis ambientals obtinguts per la societat).

A continuació s'adjunten les matrius de cada escenari i sistema segons agent i impacte:

- TMB – ESCENARI 1

		AGENTS										SUMATORI ACB
		Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
			Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Operador públic (TMB+Renfe +Tramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe +Tramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-237.614,91	0	15.166,91	0	0	0	0	0	0	-222.448,00
		Obra civil	97.794.131,09	7.583.454,55	0	0	0	0	0	0	0	-90.210.676,54
		Material mòbil	41.352.282,27	0	0	11.146.167,73	182.537.073,47	0	0	0	0	-130.038.623,48
		Expropiacions		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Manteniment Infr.		0	0	0	31.395.445,48	0	0	0	0	0	31.395.445,48
	Manteniment veh.		0	0	0	26.786.055,88	0	0	0	0	0	26.786.055,88
Operativa	Direc	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.		0	0	0	469.302,99	0	0	0	0	469.302,99
	Ind.	Subvencions	11.330.222,61	0	0	0	-11.330.222,61	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-98.553,63	0	0	0	98.553,63	0	0	0	0	0,00
		Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Usuaris	Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	
Externalitats	Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77.267.468,89	77.267.468,89
	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.660.411,12	16.660.411,12
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.189.374,43	16.189.374,43
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SUMATORI AGENTS		-45.447.794,75	7.583.454,55	15.166,91	11.146.167,73	-135.117.938,10	0,00	0,00	0,00	0,00	110.117.254,45	<b>-51.703.689,22</b>

VAN total

**-51.703.689,22**

TIR

**1,54%**

Taula 56 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema TMB – escenari 1

- TMB – ESCENARI 2

			AGENTS									SUMATORI ACB	
			Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris				No usuaris (societat)
				Infraestructura	Enginy./Cons ult.	Vehicles	Operador public (TMB+Renfe+Tramvia)	Vehicle privat	FGC public (TMB+Renfe+Tramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-237.614,91	0	15.166,91	0	0	0	0	0	0	-222.448,00	
		Obra civil	97.794.131,09	7.583.454,55	0	0	0	0	0	0	0	-90.210.676,54	
		Material mòbil	41.352.282,27	0	0	11.146.167,73	182.537.073,47	0	0	0	0	-130.038.623,48	
		Expropiacions		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Manteniment Infr.		0	0	0	31.395.445,48	0	0	0	0	0	31.395.445,48	
	Manteniment veh.		0	0	0	26.786.055,88	0	0	0	0	0	26.786.055,88	
Operativa	Direc.	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	
		Oper.veh.		0	0	0	146.768.884,34	0	0	0	0	146.768.884,34	
	Ind.	Subvencions	47.905.117,94	0	0	0	-47.905.117,94	0	0	0	0	0,00	
		Impostos		0	0	0	30.821.465,71	0	0	0	0	0,00	
		Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Usuaris	Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00		
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00		
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00		
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00		
Externalitats	Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77.267.468,89		
	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.660.411,12		
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.189.374,43		
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
	Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
<b>SUMATORI AGENTS</b>			-39.595.811,50	7.583.454,55	15.166,91	11.146.167,73	5.329.660,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110.117.254,45	<b>VAN total</b>
												<b>94.595.892,13</b>	

TIR  
5,33%

Taula 57 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema TMB – escenari 2

- AMB menys TMB – ESCENARI 1

			AGENTS										SUMATORI ACB
			Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
				Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Operador públic (TMB+Renfe+Tramvia)	Vehicle privat	FGC (transport públic)	TMB+Renfe+Tramvia			
Actius	Invers.	Planificació	-120.786,18	0	7.709,76	0	0	0	0	0	0	0	-113.076,43
		Obra civil	-	3.854.878,20	0	0	0	0	0	0	0	0	-45.856.564,22
		Material mòbil	49.711.442,42	0	0	10.526.975,75	172.396.772,84	0	0	0	0	0	-122.814.717,07
		Expropiacions	39.055.080,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Manteniment Infr.		0	0	0	0	37.052.898,77	0	0	0	0	0	37.052.898,77
	Manteniment veh.		0	0	0	0	26.331.034,84	0	0	0	0	0	26.331.034,84
Operativa	Direc.	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.		0	0	0	461.330,83	0	0	0	0	0	461.330,83
	Ind.	Subvencions	13.348.735,39	0	0	0	-13.348.735,39	0	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-96.879,47	0	0	0	96.879,47	0	0	0	0	0	0,00
		Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Usuaris		Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
		Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
		Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
		Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	
Externalitats		Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75.954.908,20	75.954.908,20
		Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.377.396,79	16.377.396,79
		Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.914.361,72	15.914.361,72
		Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
		Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
		Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
		Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SUMATORI AGENTS			2.474.707,34	3.854.878,20	7.709,76	10.526.975,75	-121.803.364,32	0,00	0,00	0,00	0,00	108.246.666,71	<b>3.307.573,43</b>

**TIR**  
**3,06%**

Taula 58 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema AMB menysTMB - escenari 1

- AMB menys TMB – ESCENARI 2

		AGENTS										SUMATORI ACB
		Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
			Infraestructura	Enginy./Consult	Vehicles	Operator públic (TMB+Renfe+T ramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe+T ramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-120.786,18	0	7.709,76	0	0	0	0	0	0	-113.076,43
		Obra civil	49.711.442,42	3.854.878,20	0	0	0	0	0	0	0	-45.856.564,22
		Material mòbil	39.055.080,03	0	0	10.526.975,75	172.396.772,84	0	0	0	0	-122.814.717,07
		Expropiacions		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Manteniment Infr.		0	0	0	37.052.898,77	0	0	0	0	0	37.052.898,77
	Manteniment veh.		0	0	0	26.331.034,84	0	0	0	0	0	26.331.034,84
Operativa	Direc	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.		0	0	0	144.275.686,73	0	0	0	0	144.275.686,73
	Ind.	Subvencions	49.302.324,37	0	0	0	-49.302.324,37	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-	0	0	0	30.297.894,21	0	0	0	0	0,00
	Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Usuaris	Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
Externalitats	Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	75.954.908,20	75.954.908,20	
	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	16.377.396,79	16.377.396,79	
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	15.914.361,72	15.914.361,72	
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
SUMATORI AGENTS		8.227.281,57	3.854.878,20	7.709,76	10.526.975,75	16.258.417,35	0,00	0,00	0,00	0,00	108.246.666,71	<b>147.121.929,34</b>

VAN total

**147.121.929,34**

TIR

**7,55%**

Taula 59 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema AMB menys TMB - escenari 2

- SIMMB menys AMB – ESCENARI 1

		AGENTS										SUMATORI ACB	
		Administració	Contractistes			Operadors			Usuaris				No usuaris (societat)
			Infraestructura	Enginy./Consult	Vehicles	Operator públic (TMB+Renfe+T ramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe+T ramvia)					
Actius	Invers.	Planificació	-361.866,51	0	23.097,86	0	0	0	0	0	0	0	-338.768,65
		Obra civil	-	11.548.931,25	0	0	0	0	0	0	0	0	-137.382.889,97
		Material mòbil	148.931.821,22	0	0	6.220.376,26	101.869.028,58	0	0	0	0	0	-72.571.056,38
		Expropiacions	23.077.595,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
		Manteniment Infr.	0	0	0	18.134.600,08	0	0	0	0	0	0	18.134.600,08
		Manteniment veh.	0	0	0	27.465.716,75	0	0	0	0	0	0	27.465.716,75
Operativa	Direc.	Oper.pers.	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	
		Oper.veh.	0	0	0	481.210,94	0	0	0	0	0	481.210,94	
	Ind.	Subvencions	6.597.078,31	0	0	-6.597.078,31	0	0	0	0	0	0,00	
		Impostos	-101.054,30	0	0	101.054,30	0	0	0	0	0	0,00	
Usuaris		Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
		Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
		Tarifes	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
		Impostos	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
Externalitats		Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
		Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.228.029,08	79.228.029,08
		Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.083.147,10	17.083.147,10
		Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.600.158,47	16.600.158,47
		Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
		Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
		Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
		Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SUMATORI AGENTS		-119.720.067,79	11.548.931,25	23.097,86	6.220.376,26	-62.283.524,82	0,00	0,00	0,00	0,00	112.911.334,65	<b>-51.299.852,58</b>	

VAN total

TIR

1,50%

Taula 60 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema SIMMB menys AMB - escenari 1



- SIMMB menys AMB – ESCENARI 2

		AGENTS										SUMATORI ACB
		Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
			Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Operador transport públic (TMB+Renfe+Tramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe+Tramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-361.866,51	0	23.097,86	0	0	0	0	0	0	-338.768,65
		Obra civil	148.931.821,22	11.548.931,25	0	0	0	0	0	0	0	-137.382.889,97
		Material mòbil	23.077.595,93	0	0	6.220.376,26	101.869.028,58	0	0	0	0	-72.571.056,38
		Expropiacions		0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Manteniment Infr.		0	0	0	18.134.600,08	0	0	0	0	0	18.134.600,08
	Manteniment veh.		0	0	0	27.465.716,75	0	0	0	0	0	27.465.716,75
Operativa	Direc	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.		0	0	0	150.492.951,35	0	0	0	0	150.492.951,35
	Ind.	Subvencions	44.100.013,41	0	0	0	-44.100.013,41	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-31.603.519,78	0	0	0	31.603.519,78	0	0	0	0	0,00
	Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Usuaris	Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	
Externalitats	Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	79.228.029,08	79.228.029,08	
	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	17.083.147,10	17.083.147,10	
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	16.600.158,47	16.600.158,47	
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		
SUMATORI AGENTS		-113.719.598,17	11.548.931,25	23.097,86	6.220.376,26	81.727.745,98	0,00	0,00	0,00	0,00	112.911.334,65	<b>98.711.887,83</b>

VAN total

**98.711.887,83**

TIR

**5,57%**

Taula 61 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema SIMMB menys AMB escenari 2

- GLOBAL – ESCENARI 1

		AGENTS										SUMATORI ACB
		Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
			Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Operador públic (TMB+Renfe+Tramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe+Tramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-720.267,61	0	45.974,53	0	0	0	0	0	0	-674.293,08
		Obra civil	296.437.394,73	22.987.264,00	0	0	0	0	0	0	0	-273.450.130,73
		Material mòbil	103.484.958,22	0	0	27.893.519,74	456.802.874,89	0	0	0	0	-325.424.396,93
		Expropiacions		0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Manteniment Infr.		0	0	0	86.582.944,33	0	0	0	0	0	86.582.944,33
	Manteniment veh.		0	0	0	80.582.807,47	0	0	0	0	0	80.582.807,47
Operativa	Direc.	Oper.pers.		0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.		0	0	0	1.411.844,76	0	0	0	0	1.411.844,76
	Ind.	Subvencions	31.276.036,31	0	0	0	-31.276.036,31	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-296.487,40	0	0	0	296.487,40	0	0	0	0	0,00
		Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Usuaris	Temps		0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Pol·lució	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232.450.406,16	232.450.406,16
Externalitats	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.120.955,01	50.120.955,01
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.703.894,62	48.703.894,62
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
SUMATORI AGENTS		-162.693.155,20	22.987.264,00	45.974,53	27.893.519,74	-319.204.827,23	0,00	0,00	0,00	0,00	394.368.937,48	<b>-99.695.968,37</b>

VAN total

TIR

2,6%

Taula 62 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema GLOBAL - escenari 1

- GLOBAL – ESCENARI 2

		AGENTS										SUMATORI ACB
		Administració	Contractistes			Operadors		Usuaris			No usuaris (societat)	
			Infraestructura	Enginy./Consult.	Vehicles	Operator públic (TMB+Renfe+Tramvia)	Vehicle privat	FGC públic (TMB+Renfe+Tramvia)				
Actius	Invers.	Planificació	-720.267,61	0	45.974,53	0	0	0	0	0	0	-674.293,08
		Obra civil	296.437.394,73	22.987.264,00	0	0	0	0	0	0	0	-273.450.130,73
		Material mòbil	103.484.958,22	0	0	27.893.519,74	456.802.874,89	0	0	0	0	-325.424.396,93
		Expropiacions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Manteniment Infr.	0	0	0	86.582.944,33	0	0	0	0	0	86.582.944,33	
	Manteniment veh.	0	0	0	80.582.807,47	0	0	0	0	0	80.582.807,47	
Operativa	Direc.	Oper.pers.	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
		Oper.veh.	0	0	0	441.537.522,43	0	0	0	0	0	441.537.522,43
	Ind.	Subvencions	141.307.455,72	0	0	0	141.307.455,72	0	0	0	0	0,00
		Impostos	-92.722.879,71	0	0	0	92.722.879,71	0	0	0	0	0,00
	Overheads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
Usuaris	Temps	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Tarifes	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Impostos	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	
	Cost.op.veh	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	
Externalitats	Pol.lució	0	0	0	0	0	0	0	0	232.450.406,16	232.450.406,16	
	Canvi climàtic	0	0	0	0	0	0	0	0	50.120.955,01	50.120.955,01	
	Soroll	0	0	0	0	0	0	0	0	48.703.894,62	48.703.894,62	
	Vibracions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Accidents	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Ecosistemes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Contam. sòl/aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
SUMATORI AGENTS		-145.088.128,10	22.987.264,00	45.974,53	27.893.519,74	103.315.823,33	0,00	0,00	0,00	0,00	331.275.255,80	<b>340.429.709,30</b>

**VAN total**

**340.429.709,30**

**TIR**

**5,6%**

Taula 63 Resultats de l'anàlisi cost-benefici pel sistema GLOBAL - escenari 2

### 6.2.2.2 Impacte Ambiental

En el cas de l'impacte ambiental, s'han calculat les emissions produïdes per les línies a electrificar de cada un dels sistemes de transport, en el cas dièsel i en el cas elèctric. D'aquesta manera es determina la reducció d'emissions amb la implementació del nou escenari elèctric 2025-2030 (pdM/PDI):

S'han tingut en compte les següents hipòtesis de consums i de quilometratge:

Consum autobús dièsel	0,4 litres/km
Consum autobús elèctric	1,4 kWh/km

Figura 6.15 Hipòtesis de consum. Font: Electric Buses in Rotterdam: [http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/e-Busz\\_Rotterdam\\_final\\_Ecomobiel-Bremen\\_-\\_Rieck\\_small\\_.pdf](http://www.clean-fleets.eu/fileadmin/files/e-Busz_Rotterdam_final_Ecomobiel-Bremen_-_Rieck_small_.pdf)

	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB
Km anuals*	38.496.718	36.906.316	37.544.086

Figura 6.16 Hipòtesis de quilometratge. Font: Elaboració pròpia a partir dades Transmet Xifres

\*Els quilòmetres anuals en mode elèctric s'han obtingut a partir de conèixer el quilometratge total de cada un dels sistemes (font: Transmet Xifres) i el número de línies a electrificar sobre el total de les línies de cada sistema.

Escenari dièsel:

	Unitari		SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	TOTAL
CO2 (g/km)	1.083,20	CO2 (T)	52.210,24	52.210,24	52.210,24	<b>156.630,72</b>
NOx (g/km)	13,57	NOx (T)	653,98	653,98	653,98	<b>1.961,93</b>
PM2,5 (g/km)	0,47	PM2,5 (T)	22,45	22,45	22,45	<b>67,35</b>
PM10 (g/km)	0,49	PM10 (T)	23,60	23,60	23,60	<b>70,81</b>

Figura 6.17 Emissions produïdes en l'escenari dièsel

Escenari elèctric:

	Unitari		SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	TOTAL
CO2 (g/km)	333,92	CO2 (T)	12.854,77	12.323,70	12.536,66	<b>37.715,13</b>
NOx (g/km)	0,22	NOx (T)	8,61	8,25	8,39	<b>25,25</b>
PM2,5 (g/km)	0,10	PM2,5 (T)	3,75	3,59	3,65	<b>10,99</b>
PM10 (g/km)	0,11	PM10 (T)	4,05	3,89	3,95	<b>11,89</b>

Figura 6.18 Emissions produïdes en l'escenari elèctric

Per tant, la implementació de l'escenari 2021-2030 (PDI/PDM) aportaria una reducció d'emissions de l'ordre del 70% en el cas del CO<sub>2</sub> (87.000T de CO<sub>2</sub>), més del 98% en el cas dels NOx (1.500T NOx) i de l'ordre del 80% en el cas de les PM (86T de PM), al conjunt del sistema de transport de l'ATM:

	SIMMB menys AMB	AMB menys TMB	TMB	TOTAL	Reducció
CO2 (T)	28.844,88	29.375,94	29.162,98	<b>87.383,80</b>	<b>-69,9%</b>
NOx (T)	513,72	514,07	513,93	<b>1.541,72</b>	<b>-98,4%</b>
PM2,5 (T)	14,19	14,34	14,28	<b>42,80</b>	<b>-79,6%</b>
PM10 (T)	14,80	14,97	14,90	<b>44,67</b>	<b>-79,0%</b>

Figura 6.19 Comparativa entre els dos escenaris. Reducció final d'impacte ambiental.

### **6.3 Estratègia a llarg termini: Escenari >2030**

Per la constant millora de la tecnologia i el sector elèctric, l'equip de treball creu que s'ha de plantejar una estratègia evolutiva, capaç d'adaptar-se als canvis socials, als canvis de sistema de mobilitat i a les polítiques que plantegi el mercat elèctric. És per això que serà necessari realitzar una revisió de l'estratègia i prioritació de línies, permetent replantejar objectius i possibles accions correctives, i fins i tot actualitzar els continguts de l'estratègia.

## 7 Conclusions

A continuació es presenten les conclusions de l'estudi:

- **Aposta per autobusos elèctrics: variabilitat** de generació d'electricitat, prioritant energies renovables.
- Per a aquelles **línies que no poden ser electrificades** amb la tecnologia actual, ja sigui per haver de fer front a forts pendents, o perquè el consum diària és massa elevat, es proposen **altres tecnologies de tracció** dels autobusos com **híbrids endollables**, de **Gas Natural, Hidrogen o captació contínua (catenària en accessos de Barcelona)**.
- **La revisió de la xarxa d'autobusos cap a l'electrificació requereix un pla regional** que garanteixi un subministrament elèctric suficient.
- **Cal tenir en compte altres subministraments d'energia** per fer una transició suau i maximitzar l'eficiència del sistema d'autobusos. Cal fer un **pla de transició energètica** tenint en compte totes les tecnologies a l'abast els propers anys.
- **Hi ha algunes restriccions tècniques** i al mateix temps el mercat està canviant tan ràpidament que és raonable intentar estar a l'avantguarda del mercat elèctric.
- **Els objectius ambientals i l'electrificació de la xarxa d'autobusos** han de trobar acords sobre la programació de les accions.
- **Prioritzar** l'electrificació de **línies operables** amb una modalitat "**Overnight**", que implica una menor inversió en infraestructura.
- Amb una **millora tecnològica** en la densitat energètica de les bateries, **el nombre de línies** a ser operades mitjançant una modalitat "**Overnight**" **incrementa. Esperar** a una millora tecnològica pot implicar un **gran estalvi econòmic**.
- Per aquelles **línies que han de ser operades amb modalitat "Càrrega d'oportunitat – Pantògraf"** (tot i en un escenari de millora de la densitat energètica de les bateries), cal plantejar un **anàlisi en detall** d'electrificació per tal **d'optimitzar la inversió** econòmica en infraestructura.
- **Instal·lació de pantògrafs en la via pública fixa els terminals de línies**, estableix **poc marge** de maniobra per **allargar** el recorregut de les línies en un futur.
- Els **pantògrafs** en via pública han de **complir** amb la **normativa** i amb **estàndards** existents de **telecomunicacions**, de cara a ser **compatibles** amb els **diferents fabricants** d'autobusos elèctrics.
- La instal·lació de **pantògrafs** en via pública té un **impacte i una inversió elevada**, per tal d'optimitzar més la inversió, es recomana **instal·lar, en la mateixa ubicació, altres tipologies de recàrrega** per a **altres tipologies de vehicles**, com turismes, furgonetes, motocicletes.
- És **avantatjós** establir que les **cotxeres** de les **flotes d'autobusos** siguin de **domini públic** i que sigui l'**administració pública** qui **realitzi la inversió** per **electrificar-les**.
- Les **cotxeres públiques** serien **cedides** a l'**empresa adjudicatària**, que **s'estalviaria** realitzar una **gran inversió** per electrificar les seves pròpies cotxeres.

- **El sector públic ha de liderar la transició cap a una xarxa d'autobusos elèctrics** i ha de provocar la participació del mercat privat.
- Cal **estudiar en detall**, tan **tècnic** com **econòmicament**, **traslladar** la ubicació de les **cotxeres públiques a prop de punts de subministrament** capaços de fer front a la **demanda energètica diària** de la **flota destinada** a aquella cotxera.
- Possibilitat d'estalvi en inversió en infraestructura de recàrrega.
- Valorar la **inversió de pantògrafs** per part de l'administració pública (recàrrega d'oportunitat) en **grans estacions** d'autobusos per a les **línies que poden ser electrificades**.
- El **Consum anual energètic** estimat equivalent a la electrificació de tots els autobusos en l'àmbit d'estudi, és de l'ordre de magnitud del **consum anual en electricitat del sistema ferroviari en la província de Barcelona**.

$$C_{\text{ferroviaria}} \approx [2'5-3] * C_{\text{autobusos elèctrics}}$$

- Es considera molt **avantatjós** poder **subministrar** la xarxa **d'infraestructura d'autobusos elèctrics des de la infraestructura elèctrica de tracció** de les **diferents agents ferroviaris**.
- Es podria contractar el subministrament energètic a un cost inferior i **implicaria un estalvi econòmic important**.
- Als autobusos que ofereixen **servei discrecional**, de **gran tonatge**, així com els vehicles dissenyats per a la **recollida de deixalles (entre altres)**, se'ls hi presenta una oportunitat per poder ser **electrificats pel seus propietaris**, aprofitant la possibles inversions que es pot realitzar en els propers anys.

## PROPER PASSOS

- Priorització de línies de bus a electrificar.
- Estratègia transició energètica global parc autobusos públics.
- Determinació i priorització de les infraestructures elèctriques.
- Estratègia de finançament.
- Establir nous procediments normatius.
- Posta en servei escalada de línies d'autobús elèctric.