Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

# Avaluació de la implantació del cotxe elèctric en una àrea urbana: La seva aplicació a Barcelona

TREBALL FINAL DE MÀSTER


Treball realitzat per:

**IGNASI TORGUET CARBONELL**

Dirigit per:

**ÀLVAR GAROLA CRESPO**


Màster en:

**Enginyeria de Camins, Canals i Ports**

Barcelona, Juny del 2016


Departament: ECA- Enginyeria Civil i Ambiental

## INDEX

**Resum** ..... 6

**Summary** ..... 7

**Introducció** ..... 8

1. **El cotxe elèctric** ..... 10
   - **1.1. Definició i història del cotxe elèctric** ..... 10
   - **1.2. Classificació del cotxe elèctric** ..... 14
     - 1.2.1. Vehicle elèctric pur (VE) ..... 15
     - 1.2.2. Vehicle híbrid no endollable (HEV) ..... 16
     - 1.2.3. Vechicle híbrid endollable (PHEV) ..... 17
   - **1.3. Principals característiques del cotxe elèctric** ..... 18
   - **1.4. Sistemes d'emmagatzematge. Bateries** ..... 20
     - 1.4.1. Tipus de bateries ..... 20
     - 1.4.2. Característiques per determinar una bateria ..... 22
     - 1.4.3. Comparativa de característiques de les bateries ..... 24
   - **1.5. Mètodes de càrrega** ..... 25
     - 1.5.1. Necessitats temporals per a la càrrega ..... 25
     - 1.5.2. Cosideracions en relació al subministrament en via pública ..... 26
     - 1.5.3. Cosideracions en relació al subministrament en aparcament ..... 27
     - 1.5.4. Recàrrega elèctrica. Nou paradigma de subministrament d'energia. ..... 28
     - 1.5.5. Localització i tipus de infraestructura de recàrrega ..... 29

2. **El Vehicle Elèctric a Catalunya** ..... 33
   - **2.1. Situació actual i marc legislatiu català** ..... 33
   - **2.2. Context regulatori i inciatives internacionals** ..... 34
   - **2.3. Anàlisi DAFO pel VE a Catalunya** ..... 35
   - **2.4. Estratègies d'impuls i objectius a assolir** ..... 37
   - **2.5. Penetració VE i previsions de futur** ..... 39
     - 2.5.1. Previsions fins al 2015 ..... 39
     - 2.5.2. Dades actuals ..... 41
     - 2.5.3. Previsions per al 2020 ..... 42

3. **MOBILITAT A BARCELONA** ..... 44
   - **3.1. L'entorn metropolità i la mobilitat** ..... 44
   - **3.2. La mobilitat a Barcelona** ..... 47
     - 3.2.1. Mobilitat a Barcelona segons tipus de desplaçament ..... 48
     - 3.2.2. Mobilitat a Barcelona segons el motiu del desplaçament ..... 49
     - 3.2.3. Mobilitat a Barcelona segons el mode de transport ..... 50
   - **3.3. Parc mòbil de Barcelona** ..... 51
   - **3.4. Barcelona i el vehicle elèctric** ..... 52
   - **3.5. Situació mediambiental** ..... 54
   - **3.6. Projeccions** ..... 55

4. **Anàlisis Cost-Benefici de l'implantació del VE a Barcelona** ..... 57
   - **4.1. Introducció al ACB** ..... 57
   - **4.2. Definició del projecte** ..... 58
   - **4.3. Identificació d'agents implicats** ..... 59
   - **4.4. Identificació costos-beneficis i mètodes de quantificació** ..... 60
     - 4.4.1. Relacionats amb el vehicle ..... 61
     - 4.4.2. Relacionats amb l'aparcament ..... 64
     - 4.4.3. Relacionats amb els punts de recàrega ..... 66
     - 4.4.4. Demanda energètica ..... 67

**4.5. Impactes i externalitats ..... 69**
4.5.1. Impactes en contaminació atmosfèrica ..... 69
4.5.2. Impactes en contaminació acústica ..... 70
4.5.3. Altres impactes ..... 72
**4.6. Resum de costos ..... 73**
**4.7. Matriu d'agents-impactes ..... 74**
**4.8. Valoració del benestar ..... 75**

5. **Cas Barcelona. Escenaris d'implantació ..... 77**
**5.1. Possibles escenaris ..... 77**
5.1.1. Escenari de 0% VE ..... 77
5.1.2. Escenari de 10% VE. Previsió del PECAC ..... 77
5.1.3. Escenari de 100% VE ..... 80
**5.2. Optimització del projecte. Possibles variacions ..... 81**
5.2.1. Impost sobre els vehicles contaminants ..... 81
5.2.2. Electricitat generada mitjançant fonts d'energia renovables ..... 82
5.2.3. Reducció del preu del vehicle elèctric ..... 83
5.2.4. Valoració del temps d'accés al aparcament ..... 83
5.2.5. Anàlisi comparatiu de les variacions ..... 85
**5.3. Repercussions del anàlisi. Model elèctric ..... 87**
5.3.1. Obejctius a assolir ..... 87
5.3.2. Noves infraestructures ..... 88
5.3.3. Repercussions ambientals ..... 90

6. **Rendibilitat financera pels usuaris de vehicle elèctric ..... 92**
**6.1. Rendibilitat financera. Cas Barcelona ..... 92**
6.1.1. Principis i hipòtesis utilitzades ..... 92
6.1.2. Conceptes de VAN i TIR ..... 93
6.1.3. Taxa de descompte ..... 94
**6.2. Anàlisi de rendibilitat financera ..... 94**
6.2.1. Usuaris sense cap ajuda ..... 94
6.2.2. Usuaris amb ajuda a la compra ..... 97
6.2.3. Situació actual d'ajudes ..... 99
**6.3. Optimització de les ajudes ..... 100**

7. **Implementació del model ..... 102**
**7.1. Viabilitat del canvi de mobilitat ..... 102**
7.1.1. Des del punt de vista dels usuaris ..... 102
7.1.2. Des del punt de vista de la societat ..... 103
7.1.3. Des del punt de vista de l'administració ..... 103
**7.2. Limitacions del model ..... 104**
7.2.1. Aspectes limitants del model ..... 104
7.2.2. Possibles millores ..... 105
**7.3. Mesures fiscals. Ajudes i subvencions ..... 106**
7.3.1. Criteris d'acceptació de les ajudes ..... 106
7.3.2. Suggeriments d'incorporació i revocament ..... 106
7.3.3. Temporalitat de les ajudes ..... 107

8. **Conclusions ..... 109**

**Bibliografia ..... 113**

**Annex de Càlculs ..... 117**

## INDEX DE FIGURES

Figura 1-1 El Morrison, vehicle elèctric de 1891 ..... 10
Figura 1-2 Jamais Contente, any 1899 ..... 11
Figura 1-3 El EV1, Principi i final ..... 13
Figura 1-4 Tesla Model 3 ..... 14
Figura 1-5 Nissan Leaf. Vehicle elèctric pur ..... 16
Figura 1-6 Estructura comparada dels elements d'un PHEV i un VE pur ..... 18
Figura 1-7 Bateria de Plom-Àcid, Bateria Ni-Cd disposada en vehicle ..... 21
Figura 1-8 Bateria ió liti instal·lada en VE ..... 22
Figura 1-9Vechicles elèctrics en un punt de recàrrega en via pública ..... 27
Figura 1-10 Punt de recàrrega en aparcament públic ..... 28
Figura 1-11 Pictograma de senyalització de punt de recàrrega per a VE ..... 29
Figura 1-12 Prototip d'electrobenzinera ..... 31
Figura 2-1 Logos de IVECAT 2010-2015 i PECAC 2012-2020 ..... 34
Figura 2-2 Estratègia del procés temporal per implementar punts de recàrrega ..... 40
Figura 3-1 Àmbit d'estudi de la mobilitat. STI ..... 45
Figura 3-2 Quota sectorial de transport segons mode de transport emprat ..... 46
Figura 3-3 Fluxos interns i entre àmbits en la STI ..... 47
Figura 3-4 Evolució del trànsit a Barcelona en dia feiner ..... 48
Figura 3-5 Motiu del desplaçament, segregat entre tipologia de desplaçament ..... 49
Figura 3-6 Mode de transport emprat, segregat per tipologia de desplaçament ..... 50
Figura 3-7 Punt de recàrrega per a motos. Vehicle elèctric de flota pública ..... 53
Figura 4-1 Demanda i producció a temps real ..... 67
Figura 4-2 Gràfics explicatius de l'utilització d'hores vall per recàrregar VE ..... 68
Figura 5-1 Repartiment dels impactes del ACB segons el agent. Valors en M€ ..... 79

## INDEX D'EQUACIONS

Equació 1 Càlcul d'impactes ..... 78
Equació 2 Recorregut mig fins a aparcament públic ..... 84

## INDEX DE TAULES

Taula 1-1 Característiques de les diferents bateries del mercat ..... 24
Taula 1-2 Adequació de diferents localitzacions on implantar un punt de recàrrega 32
Taula 2-1 Anàlisi DAFO per a la implantació del VE a Catalunya ..... 36

Taula 2-2 Previsió de penetració del VE segons IVECAT 2010 ..... 39
Taula 2-3 Estimació de punts de recàrrega 2010-2015 segons IVECAT ..... 40
Taula 2-4 Endolls disponibles per a recàrrega segons tipologia ..... 41
Taula 2-5 Previsions de penetració pel 2020 del VE a Catalunya segons PECAC .. 42
Taula 3-1 Desplaçament en la STI segons el mode de transport emprat ..... 46
Taula 3-2 Tipus de desplaçament a Barcelona en dia feiner ..... 48
Taula 3-3 Comparativa 2014 2013 de quota dels modes de transport a Barcelona . 51
Taula 3-4 Inventari del parc mòbil a la ciutat de Barcelona ..... 52
Taula 3-5 Punts de recàrrega a Barcelona, segregats per localització ..... 53
Taula 3-6 Valors mitjans de contaminació a Barcelona en els últims anys ..... 54
Taula 4-1 Distribució d'aparcament en via pública ..... 65
Taula 4-2 Costos d'externalitat segons normativa europea ..... 70
Taula 4-3 Cost Marginal de contaminació acústica ..... 71
Taula 4-4 Quadre resum de costos, segregats entre VCI i VE ..... 73
Taula 4-5 Matriu d'agents-impactes ..... 74
Taula 5-1 Resultats del ACB pel 10% desplaçaments en VE. Valors en M€ ..... 79
Taula 5-2 Resultats del ACB degut a l'implementació del Impost CO2 ..... 82
Taula 5-3 Resultats del ACB degut a l'implementació del ús de fonts renovables .... 83
Taula 5-4 Resultats del ACB degut a la reducció d'un 10% del cost d'adquisició del VE ..... 83
Taula 5-5 Conjunt de costos relacionats amb el temps d'accés al aparcament ..... 85
Taula 5-6 Resultats del ACB considerant el temps d'accés al aparcament ..... 85
Taula 5-7 Recopil·lació de mesures a adoptar i sensibilitat del ACB ..... 86
Taula 5-8 Situació actual i projectada per l'implementació del projecte. Gasos emesos ..... 91
Taula 6-1Rendibilitat financera per usuari de connexió sense ajudes ..... 95
Taula 6-2 Rendibilitat financera per usuari interns sense ajudes ..... 96
Taula 6-3 Rendibilitat financera per conjunt d'usuaris sense ajudes. Valors en M€ .. 97
Taula 6-4 Rendibilitat financera per usuaris amb ajuda a la compra. Valors en M€ .. 98
Taula 6-5 Rendibilitat financera per usuaris amb sistema actual d'ajudes. Valors en M€ ..... 99
Taula 6-6 Rendibilitat financera per usuaris. Optimització d'ajudes per a rendiment 3% ..... 100
Taula 6-7 Recull d'ajudes amb TIR i VAN corresponent ..... 101

# Resum

En els últims anys, en l'afany de trobar nous sistemes de mobilitat més respectuosos amb el medi ambient, en el sector del transport s'han impulsat polítiques cap a tecnologies menys contaminants, amb voluntat de reduir la dependència de fonts d'energia no renovables, pacificar el transport, etc. Entre les mesures engegades, s'ha popularitzat i prioritzat el canvi del parc mòbil, passant del vehicle convencional de combustió interma al vehicle elèctric.

En aquest estudi s'ha realitzat una dissecció dels trets característics del vehicle elèctric, comprovant-ne les prestacions i els elements que el configuren, amb l'objectiu de demostrar el seu potencial dins la mobilitat. Paral·lelament, aquest estudi presenta un anàlisi crític al model de transport de l'àrea de Barcelona. En efecte, s'ha parametritzat la tipologia i el nombre de desplaçaments en la zona metropolitana, segregant les funcions i les característiques de cada un d'ells, amb l'objectiu de desentrellar les possibilitats reals d'implantació del vehicle elèctric a la mobilitat.

Seguint les normatives catalanes i les directrius europees, s'ha determinat un projecte d'implantació del vehicle elèctric, amb una demanda esperada de fins a un 10% dels desplaçaments realitzats amb aquest tipus de vehicle. Amb un rigurós anàlisi cost benefici, en el que han quedat involucrats els principals agents que intervenen en el canvi de sistema de mobilitat, i on s'ha detallat i quantificat cada un dels impactes que s'aconteixen, s'ha dictaminat el benefici esperat del projecte.

Aquest benefici ha estat sotmès a un anàlisi de sensibilitat, on diferents sub-escenaris han estat proposats per comprovar la consistència del model, així com s'han proposat possibles millores en l'actual sistema de mesures compensatòries en el camp del vehicle elèctric.

Complementàriament, s'ha efectuat un anàlisi de rendibilitat financera amb el que s'ha contrastat el rendiment a la inversió del vehicle elèctric per part dels usuaris en diferents escenaris. La finalitat del estudi ha estat la de propocionar una eina econòmica fiable que demostri l'atractiu del canvi de mobilitat per part dels usuaris en el context de Barcelona, alhora que permeti extreure conclusions extrapolables a d'altres poblacions.

Amb els resultats obtinguts en els diferents estudis s'ha decretat la factibilitat del projecte, matitzant les mesures que l'administració ha de mantenir i suggerint les que s'han de revocar per assegurar-ne la viabilitat econòmica i social. En essència, aquest és un exercici de quantificació de en què es materialitzarien les diferents propostes d'impuls del vehicle elèctric a Catalunya, alhora que es proposen millores i es proporciona un full de ruta per aplicar-les.

**Paraules clau:** vehicle elèctric, mobilitat, anàlisi cost-benefici, rendibilitat, viabilitat

# Summary

In recent years, in an effort to find new mobility systems that respect the environment, the transportation sector has promoted policies towards cleaner technologies, with the aim of reducing dependence on non-renewable energy sources, pacifying the transport, etc. Among the measures implemented, one that has become popular and therefore the focus of our study, is changing the vehicles, going from conventional combustion vehicle to electric vehicle.

In this study we have performed a dissection of the main characteristics of electric vehicles, in order to check their performance and the basic elements that configure them, demonstrating the vehicle's potential in our current mobility system. Meanwhile, this study presents a critical analysis of the transportation model in the Barcelona area, aiming to determine the feasibility of the introduction of the electric vehicle in the city. Indeed, the mobility has been parameterized, in type and number of trips in the metropolitan area, segregating the functions and features of each of the trips, with the aim of unraveling the most attractive segments to introduce the electric vehicle.

Following the Catalan regulations and European directives, the research has determined a project to introduce the electric vehicle, with an expected demand of up to 10% of the trips made with this type of vehicle. With a rigorous cost benefit analysis, which has involved the major players in the mobility system, all impacts have been detailed and quantified, we have obtained the expected final benefit of the project .

The final benefit has been subjected to a sensitivity analysis, where different sub-scenarios have been proposed to check the consistency of the model and to identify possible improvements to the current system of compensatory measures in the field of electric vehicles.

Additionally, we have performed an analysis of financial return compared to the investment in electric vehicles by users in different scenarios. The purpose of the study is to provide a solid economic tool and a reliable basis to demonstrate the feasibility of the implementation of such vehicles from the users viewpoint in a city like Barcelona, which can be extrapolated to other populations.

Finally, regarding the results obtained, we have proceeded to highlight the validity of the project, refining the measures that the administration has to maintain and suggesting the ones that have to be revoked, in order to ensure economic and social viability. In essence, the whole project is an exercise of quantifying the impacts that would arise from the various proposals made to boost the electric vehicle in Catalonia, and to propose improvements and provide a roadmap to implement them.

**Key words**: electric vehicle, mobility, cost-benefit analysis, financial return, viability.

# Introducció

En els últims anys, la societat ha presenciat l'adveniment d'un nou tipus de vehicle: el vehicle elèctric. Aquest nou vehicle presenta un seguit de característiques molt diferents als tradicionals cotxes de combustió interna, i suposa un canvi en el paradigma de la mobilitat.

Amb ell, noves tecnologies associades al funcionament del vehicle, com les bateries d'ió liti, representen no només noves prestacions sinó també una nova concepció de com desplaçar-se per una ciutat, i de com interactuar amb els altres elements del viari. Entre d'altres canvis, els nous vehicles necessiten punts de recàrrega distribuits per la ciutat, canviant la fesonomia dels carrers alhora que habilitant-ne nous usos.

En aquest sentit, el moviment d'impuls del vehicle elèctric queda englobat en moviments de major trascendència, com el de les Smart Cities. Aquestes ciutats, catalogades com ciutats del futur, representen una nova forma d'entendre no tan sols la mobilitat sinó el conjunt d'interaccions entre societat i espai públic. En general, es tracta d'ideals de ciutat més sostenible, més respectuosa amb el medi ambient, alhora que genera un ambient propici pel correcte desenvolupament dels ciutadans.

La crisi climàtica en la que es troba el planeta, arran de l'augment d'emissions per l'industrialització excessiva amb fonts d'energia no renovables, com els combustibles fòssils, malhauradament es magnifica en l'àmbit del transport. Actualment, el transport es realitza en gairebé totalitat amb fonts contaminants, i les previsions de creixement del parc mòbil mundial no donen treva, augmentant any rere any. Com a conseqüència, el transport tal i com el coneixem suposa una greu amenaça pel medi ambient i per la seguretat energètica.

Com a conseqüència de la situació actual, un dels clars impulsors de projectes verds, com el d'implantació del vehicle elèctric a la cutats, és la creixent conscienciació social i ecològica de la societat. Aquesta, cada vegada més està centrant esforços a favor de la conservació del medi ambient, en un intent de revertir la tendència contaminant dels últims anys.

En efecte, en una societat avançada s'ha de produir un canvi estructural profund del model energètic, on la dependència dels recursos no renovables sigui reduïda a la mínima expressió. En conseqüència, tota mesura que ajudi a fer el canvi és benvinguda i encoratjada. Entre d'altres, el tipus de mesures que cal impulsar són aquelles que propiciïn la reducció de demanda de vehicle privat, el major ús del transport públic i dels modes no motoritzats, a més d'una millora en l'eficiència dels vehicles.

És en aquest context en el que neix la idea de canvi de sistema de mobilitat, passant a un model basat en vehicles menys contaminants, com el vehicle elèctric. La substitució del model de mobilitat, lluny de ser senzilla d'executar, requereix de profunds canvis en diferents àmbits, així com de decidides mesures per afavorir el citat canvi. En aquesta línia, el vehicle elèctric i la seva

implantació vindran donades per l'interacció de diferents agents implicats, que es veuran afectats en major o menor mesura pels impactes que el canvi comporti.

Tot i l'efervescent creença que el vehicle elèctric és el futur dels sistemes de mobilitat en les ciutats d'avantguarda, són nombroses les problemàtiques i els dubtes que sorgeixen de la seva implantació al parc mòbil. Entre d'altres, segueix en dubte el potencial real del vehicle elèctric, donat que les prestacions que proporciona actualment no resulten competitives en tots els segments de la mobilitat, especialment en els desplçaments de llarga distància. Aspectes com la necessitat de recarregar i el temps que això comporta, sumat a la menor autonomia de les bateries, suposen punts negatius per aquest tipus de vehicles.

En relació amb el possible encaix del vehicle elèctric amb la mobilitat catalana, hom s'ha de fixar en les estratègies impulsades per les institucions tant a nivell nacional com municipal, observant les mesures adoptades i els incentius que afavoreixen al canvi de tipus de vehicle. En essència, un pas indispensable per a la correcta implantació d'un canvi de mobilitat és que aquest canvi ha de ser consensuat per totes les parts, aportant un suport econòmic i financer que recolzi les mesures a adoptar.

Certament, existeixen per als possibles usuaris de vehicle elèctric a Barcelona i rodalies nombroses ajudes, que tenen com a finalitat fer més atractiu els vehicles nets. Tanmateix, cal una lectura crítica d'aquestes mesures, per poder dictaminar la viabilitat d'aquestes i poder-les prioritzar. Davant d'elles, doncs, cal que un es pregunti si resulten realment efectives i si impulsen el procés d'implantació, o bé tan sols respresenten mesures superficials o fins i tot arbitràries.

Al mateix temps, un projecte d'implementació no tindrà sortida si no resulta rendiblement atractiu pels usuaris. En aquest sentit, apareix la necessitat de comprovar si el canvi a un vehicle elèctric resulta una bona aposta per a un usuari tipus. Si aquesta resposta fós negativa, la viabilitat del canvi de sistema deixaria de ser real, ja que pocs serien els que apostarien per un canvi que no els hi resultés beneficiós.

En el camp de les externalitats, tot i la ja establerta connexió entre tecnologies netes i medi ambient, els impactes que representaria el canvi de sistema de mobilitat no són clars. En aquest sentit, resulta vital un estudi en el que es constati en quins aspectes es produirien canvis en la qualitat de vida de les persones, per disminució de la contaminació atmosfèrica o acústica, així com en la major pacificació del trànsit.

Per últim constatar que, en una societat interconnectada, els agents implicats en qualsevol projecte que canvii un paradigma establert són nombrosos i intervenen de formes diverses. En altres paraules, tot canvi involucrarà en diferent mesura als agents, i cal un estudi que distribueixi els impactes ente ells, per poder determinar mesures compensatòries. Aquestes, al seu torn, col·laboraran a maximitzar els beneficis socials d'aquest tipus de projecte, fent viable els procesos de canvi de sistema de mobilitat.

En definitiva, es cerca respondre al dubte regnant en el camp del vehicle elèctric: resulta la implantació d'aquest nou tipus de vehicle un benefici per a la societat?

# 1. El cotxe elèctric

## 1.1. Definició i història del cotxe elèctric

En els darrers anys, s'ha produit un esclat mediàtic en relació als vehicles elèctrics, anomenats VE d'ara en endavant, però roman un gran desconeixement sobre les seves prestacions reals i les possibilitats que representa per a la mobilitat.

En una definició estricte, designem com a vehicle elèctric a tot aquell automòbil de tracció elèctrica, autònom de la xarxa de distribució elèctrica. Amb aquesta definició, doncs, queden exclosos els demés mitjans de transport que usen electricitat com a font d'energia, com pot ésser el ferrocarril o el metro.

Tot i que aquest concepte d'automoció elèctrica pot semblar força recent, en realitat és anterior fins i tot al vehicle tèrmic convencional de combustió interna (VCI). El primer vehicle elèctric del que es té constància es va desenvolupar a Escòcia, el 1839. Robert Anderson, amb la creació del primer vehicle elèctric pur, va sentar les bases del que després seria un interès col·lectiu: descobrir un mitjà de transport autopropulsat que generés uns millors rendiments i suposés una eina energèticament més eficient a tots els mitjans usats en l'època. (PALLISÉ, 2010)

Tot i l'empenta inicial, no és fins a finals del segle XIX quan es produeix el començament de fabricació en diferents paisos del món, aprofitant l'evolució d'equipaments i de tecnologies per a aquest tipus de vehicles. Entre els avenços més rellevants consta la creació de bateries recarregables, que va permetre l'ús comercial d'aquest tipus de vehicles. En conseqüència, nombroses experiències van rellançar el camí del vehicle elèctric.

**Figura 1-1 El Morrison, vehicle elèctric de 1891**

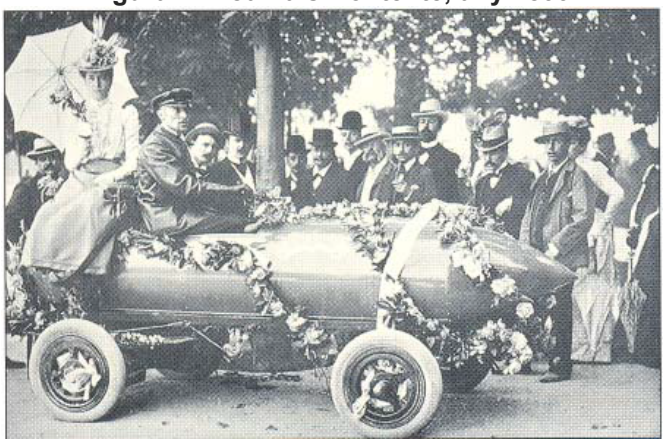
***Font: CADS, Diagnosi i perspectives del vehicle elèctric a Catalunya, 2010***

Una de les primeres experiències de l'època, que data del 1891, és la de W.Morrison, amb la fabricació del primer vehicle elèctric als Estats Units

d'Amèrica. Aquell primer prototip de automòbil tenia un motor de 4CV, i podia transportar fins a 10 persones a una velocitat de 32km/h i una autonomia de 80 km. (ICAEN, 1999)

En aquest context, les millores de rendiments es van succeïr ràpidament, amb fites com l'assoliment dels 100 km/h en vehicle elèctric, per part del belga Camille Jenatzy amb el seu vehicle anomenat "Jamais Contente". Paral·lelament, al 1900, Lohner Porsche presenta el primer vehicle elèctric amb tracció a les quatre rodes.

**Figura 1-2 Jamais Contente, any 1899**



***Font: ICAEN,El vehicle elèctric, situació actual i perspectives, 2009***

Paral·lelament, comencen a aparèixer els primers vehicles de motor de combustió monocilíndrics, tenint com a pioner el vehicle creat per Nikolaus August Otto, al 1876. Així va néixer el motor de combustió interna de quatre temps.

Aquest tipus de vehicle, amb considerables millores de rendiment i fiabilitat, suposava una clara amenaça pel vehicle elèctric, fet que quedava accentuat en la disparitat d'autonomia a causa de les bateries en comparació al fuel. En contrapartida, el vehicle elèctric ja des del seus inicis se'l va relacionar amb aspectes com la comoditat i el menor impacte acústic i d'emissions.

A principis del segle XX, doncs, es va produir una pugna pel liderat dins del sector de la automoció. Fins a aquell moment, el vehicle elèctric havia portat la iniciativa, amb constants millores en el sistema de tracció i de prestacions. Tot i així, en aquella època van ocórrer un seguit d'esdeveniments que van capgirar el rumb dins l'automoció comercial.

El fet principal que determina la eclosió del automòbil de combustió interna, i consequentment relega l'ús del vehicle elèctric, és l'arribada del model Ford T, i la implantació de la producció en sèrie. Aquest model, tot i que consumia una mitjana d'uns 20 litres cada 100 quilòmetres, suposa un enorme èxit de vendes, arribant a comercialitzar-se més de quinze milions d'unitats aquell any. Un preu per vehicle assequible per al ciutadà d'ingressos mitjos, sumat a un petroli a baixos preus i amb perspectives estables de disponibilitat, va propiciar el absolut auge del vehicle de combustió interna.(PALLISÉ, 2010)

Arran del rotund èxit dels vehicles de combustió, el vehicle elètric va veure minvat el seu ús, i el desenvolupament de les seves tecnologies va quedar focalitzat en sistemes de mobilitat molt específics, com furgonetes de repartiment, elevadors elèctrics, etc.

Tanmateix, cal remarcar que algunes de les grans empreses d'automoció van seguir apostant per el vehicle elèctric dins del seu catàleg de productes, com la americana Detroit Electric, que el 1910 va vendre 1500 unitats d'un vehicle amb autonomia de 200 km i velocitats punta de 40 km/h. Entre d'altres, figuren empreses de renom com Renault o Peugeot, qui a la dècada del 1940 va produir més de 400 vehicles, amb autonomia de 8 km i velocitats de fins a 32km/h.

El vehicle híbrid també gaudeix d'una extensa història, que permet la connexió entre el vehicle elèctric pur i el vehicle de combustió interna. Començant per Ferdinand Porsche, empleat de la firma Lohner, qui a finals del segle XIX va desenvolupar el primer model de vehicle híbrid. Aquest model, combinava un motor de combustió amb una dinamo, que carregava unes bateries acumuladores d'energia. L'energia emmagatzemada era proporcioanda als motors elèctrics que es localitzaven a les rodes, amb l'objetciu d'aportar l'energia necesària per al desplaçament.

A partir de mitjans del segle XX, es produeix un nou resorgiment del vehicle elèctric, principalment fomentat per la crisi del petroli dels anys 70. Els preus del petroli en augment i la manca de disponibilitat per omplir el dipòsit de fuel van precipitar nombrosos prototips i iniciatives amb l'interès de proposar un vehicle de motorització alternativa a la convencional. Davant el fervor inicial, les dificultats inherents al VE, com el fet de disposar de bateries amb capacitat suficient, així com la decidida aposta dels fabricants de cotxes tradicionals de dissenyar motors més eficients, torna a frenar l'entusiasme pel VE.

Un dels grans avaladors dels projectes de VE va ser l'augment de la sensibilitat ambiental, expressada amb els compromisos del Protocol de Kyoto, així com diverses normatives estatals. En aquesta línia, observem una conscienciació col·lectiva, canalitzada per les administracions públiques, per adoptar mesures per a potenciar l'ús d'aquest tipus de vehicles.

Una de les esmentades normatives estatals va ser la llei a Califòrnia del 1990, anomenada California Air Resources Board (CARB), que obligava a les empreses automobilístiques a tenir dins del seus models algun amb zero emissions. L'aparició d'aquesa normativa va desencadenar en un dels models més icònics del vehicle elèctric modern, el EV1, fabricat per General Motors el 1997. El EV1 va revolucionar el concepte de VE, ja que en el mode econòmic permetia una autonomia de fins a 130 km, amb velocitats sostingudes de 100 km/h. Aquestes prestacions van fer del vehicle un gran competidor dins del mercat del transport urbà, competint directament amb els vehicles de combustió interna de la època.

Cal remarcar el model de comercialització del EV1. GM va fabricar 1100 vehicles EV1 entre 1997-1999, apart d'una segona generació del mateix VE, el 1999-2001. El sistema comercial es basava en contractes de leasing dels vehicles, tant per a flotes com per a particulars, durant un període de 3 anys o 30000 milles (uns

42000 km). No es permetia la compra o traspàs de la titularitat del vehicle, donant un control molt gran en l'explotació del producte a GM.(PAINE, 2006)

En un primer moment, les comunitats es van volcar a la recepció de models com el EV1 en el seu parc mòbil. A mode d'exemple, un any després del primer EV1 comercialitzat a Califòrnia, ja hi havia instal·lats a la regió mes de 300 punts de recàrrega públics, molts d'ells localitzats en les zones d'aparcaments de grans superfícies. Aquestes instal·lacions, de caràcter gratuit, aconseguien càrregues del 80 % en tan sols 10 min, utilitzant un cargador de 50 kW. El sistema de càrrega era per inducció magnètica, i gaudia d'uns alts rendiments i possibilitava una eficient recàrrega.

Malhauradament per als defensors del VE, les pressions del món automobilístic convencional van precipitar la modificació de la normativa vigent de l'època, amb un punt d'inflexió clau el any 2004. A partir d'aquell any, la normativa va esdevenir més laxa, donant pas a tecnologies menys netes, com el biocombustible o els vehicles híbrids. Al canvi de normativa el van acompanyar nombroses veus crítiques del VE, que van crear escepticisme davant de les possibilitats reals d'aquest tipus d'automoció. Com a fruit del escepticisme general, i tot i que molts usuaris del EV1 van manifestar intenció de comprar o prorrogar les llicències d'utilització, GM va acabar decidint retirar de la circulació la flota de vehicles. Posteriorment es van destruir tots els vehicles retirats, argumentant no ser un projecte rentable per a la companyia.

**Figura 1-3 El EV1, Principi i final**

***Fonts: http://www.cartype.com/pages/854/gm_ev1__1997, http://www.treehugger.com/cars/ev1-electric-car-did-it-suck-or-not.html***

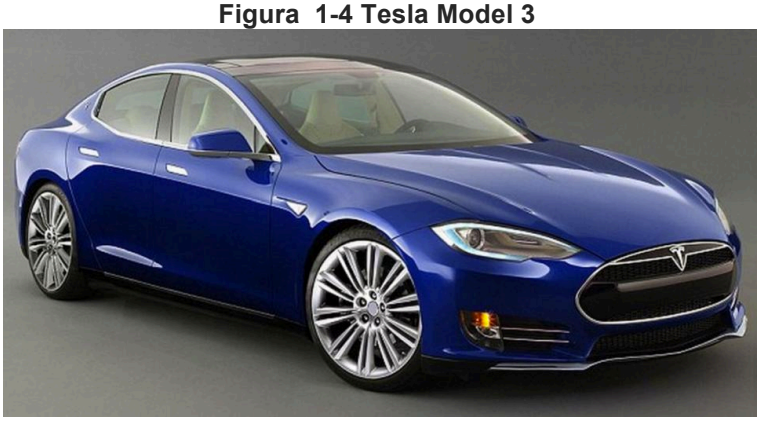
Entre d'altres experiències recents, volem ressaltar com altres companyies del sector de la automoció han enfocat el desenvolupament i la comercialització del vehicle elèctric. Per la seva banda, Toyota va treure al mercat el primer cotxe híbrid fabricat en sèrie, el Prius, el 1997. Aquest model, tot i ser constantment remodelat, segueix tenint vigència i elevada penetració en el mercat del vehicle híbrid, essent una referència en el àmbit dels taxis o vehicles d'ús personal. Nissan o Honda, amb els models ALTRA EV i Insight respectivament, també han tingut presència en aquest mercat.

Actualment, la aposta pel vehicle elèctric està en auge, sobretot buscant un punt d'inflexió en l'elecció de model de vehicle privat, promovent un ús racional del transport i associant les pràctiques de l'automoció amb el respecte al medi

ambient. Però, val a dir, el cotxe elèctric no només cerca un menor impacte ambiental, sinó també trobar una alternativa viable al properament obsolet recurs del petroli, amb un probable esgotament de les seves reserves en un futur pròxim.

Per últim, posem de manifest que no tots els vehicles elèctrics que es produeixen en l'actualitat són de tipus utilitari, sinó que ja hi ha companyies que aposten per vehicles elèctrics d'alta gamma. En aquest grup de companyies volem destacar TESLA Motors, empresa americana (radicada a Silicon Valley) dedicada a crear vehicles elèctrics de grans prestacions. L'objectiu de la companyia és oferir vehicles a preus assequibles per al consumidor mitjà, promovent l'ús de tecnologies netes i afavorint el medi ambient. Seguint aquesta línia, s'espera que per al any 2017, es comercialitzi el Tesla Model 3, un vehicle amb preu de 30000 euros, i una autonomia aproximada de 400km.(TESLA, 2016)

**Figura 1-4 Tesla Model 3**



***Font: http://www.fleeteurope.com/news/ half-price-tesla-model-3-be-popular-company-car***

## 1.2. Classificació del cotxe elèctric

Actualment, les tecnologies relacionades amb el vehicle elèctric són suficientment autonòmes i consistents com per permetre un ús extensiu d'aquest mètode d'autopropulsió. Malgrat tot, encara presenten una sèrie de limitacions, sobretot lligades amb la recàrrega i l'autonomia, que dificulten la seva penetració total en el mercat automobilístic.

En conseqüència de les limitacions, el seu ús es centra en l'interior de les ciutats, on no és necesària ni la punta de velocitat ni la potència de motor que pot proporcionar el vehicle convencional de combustió interna.

En general, tant les limitacions en les prestacions com el cost elevat de fabricació han desencadenat en diverses tipologies de vehicles elèctrics, divergint en tecnologies emprades i els criteris de disseny utilitzats en la seva concepció. En altres paraules, podem distingir entre la oferta de vehicles elèctrics i híbrids segons el sistema utilitzat, o el grau de dependència del motor en relació a la seva font d'energia.

A grans trets, podem classificar els vehicles elèctrics en tres grans subgrups. El primer seria el format per vehicles elèctrics alimentats per cable (vehicles guiats per un recorregut fix i constantment connectats a la xarxa de distribució elèctrica). Aquest subgrup, del qual en formen part alguns tramvies, per exemple, no queda dins l'abast del nostre estudi. El segon i tercer subgrups són els vehicles íntegrament elèctrics (VE), i els vehicles híbrids (PHVE).(PALLISÉ, 2010)

A continuació, presentem un recull dels principals tipus de vehicles elèctrics que existeixen en l'actualitat. Posteriorment, farem una dissecció pormenoritzada de les seves característiques particulars.

### 1.2.1. Vehicle elèctric pur (VE)

El vehicle elèctric pur és aquell que és impulsat íntegrament per un motor elèctric. L'energia necesària li és sumbnistrada a través de les bateries, esdevenint aquestes l'element clau que defineix les prestacions del cotxe. La capacitat de les bateries serà la principal raó de l'autonomia del vehicle, així com de la funcionalitat i adaptabilitat a les necessitats dels seus usuaris.

En general, l'autonomia del VE és limitada respecte als estàndards que assoleixen els vehicles convencionals o els PHEV. No obstant, el rang dins l'autonomia varia sensiblement segons el tipus de bateria emprada, fet en el que ens endinsarem properament. En essència, les autonomies actuals permeten distàncies de fins a 200 km, fet que demostra la necessitat de mètodes de recàrrega ràpids i eficients, que permetin recarregar completament les bateries en qüestió de minuts. A més, cal un constant desenvolupament de les bateries, per a poder assolir unes fites majors d'autonomia, i poder superar l'escull que a dia d'avui representa.

En un intent de segregar el vehicle elèctric pur segons la seva concepció, així com el seu àmbit d'actuació, podem distingir dos dissenys marcadament diferenciats: el vehicle elèctric adaptat i l'electromòbil.

Amb el concepte de vehicle elèctric adaptat, designem les versions elèctriques de models de vehicles ja existen però que són de naturalesa tèrmica de sèrie. És la opció majoritària dels fabricants d'automòbils, degut a la facilitat d'implementació i la reducció de costos en els processos de fabricació que comporta.

La transformació, en moltes ocasions, es basa en tan sols el remplaçament del motor convencional al motor elèctric, mantenint tots els altres elements inalterats. No obstant, presenten l'inconvenient de que fàcilment queden sobredimensionats, ja que anteriorment constaven de força més elements que quan es fa la transformació a elèctric. Elements com la caixa de canvis, o l'embragatge passen a no ser necesaris.

L'altre tipus esmentat és el electromòbil. Amb aquesa designació englobem tot aquell vehicle elèctric pur que ha estat concebut exclusivament per a propulsió elèctrica. Adaptats a les limitacions existents, queden orientats a tasques

únicament urbanes, acostumant a tenir unes dimensions força reduïdes, i una potència d'acord a les necessitats de circulació.

Com a principal avantatge, proporcionen un elevat rendiment energètic, basat en el reduït pes i l'eficiència dels elements que els configuren. Tanmateix, el fet d'incorporar materials i processos de fabricació específics encareix els costos d'aquest tipus de vehicles, i els relega a una producció més minoritària dins l'àmbit privat. En canvi, proliferen en l'ús públic, per a prestar serveis molt particulars.

**Figura 1-5 Nissan Leaf. Vehicle elèctric pur**

***Font: http://www.carnewsm.com/2016-nissan-leaf-ev-quick-drive-review/***

### 1.2.2. Vehicle híbrid no endollable (HEV)

Aquest tipus de vehicle neix de la necessitat de solucionar les limitacions que presenta el VE, però sense perdre els seus avantatges en relació amb temes ambientals i energètics. En aquest sentit, busca combinar ambdós sistemes, minimitzant els impactes negatius de cada un d'ells, i potenciant els aspectes que el fan viable i eficient. Així, es situen a mig camí entre el vehicle convencional i el vehicle elèctric.

En una definició estricte, el vehicle híbrid no endollable combina un motor de combustió interna amb un altre motor, aquest de règim elèctric, que rep l'energia d'un conjunt de bateries. La seva principal característica és que pot ésser impulsat tant amb la pròpia energia elèctrica com la de combustió, amb l'objectiu d'ampliar la seva autonomia.

En general, es poden classificar els HEV en dos subgrups, depenent de la configuració dels motors: els vehices híbrids de disposició en sèrie, i els vehicles híbrids de disposició en paral·lel.

El sistema disposat en sèrie té com a protagonista el motor elèctric, ja que aquest és l'únic encarregat de la propulsió del vehicle. Així, el motor de tracció elèctrica capta l'energia provinent d'un grup generador i d'unes bateries. El grup generador consisteix en un motor de combustió exclusivament ideat per a generar energia elèctrica a partir d'energia mecànica per a recarregar les bateries.

La diferència de mètodes de captació i utilització d'energia en relació a un vehicle convencional comporta una gran disparitat en la configuració i els elements que el conformen. En conseqüència, aquest sistema és força costós de construir, ja que incorpora gran quantitat d'elements específics. A més, el sistema té un funcionament autònom dins d'un complex sitema electrònic de gestió d'energia, activant-se a conveniència del motor quan detecta les característiques idònies de càrrega.

El sistema disposat en paral·lel es caracteritza per disposar de dos sistemes de tracció, un accionat per un motor elèctric i un altre per un motor convencional de combustió interna. Aquests dos motors poden funcionar de forma independent, tot i que en general s'utilitzen de forma complementària. Normalment, es sol utilitzar el motor elèctric en condicions de circulació urbana, amb velocitats baixes i constants parades i arrencades. En aquests escenaris, el motor elèctric resulta molt més eficient, i té impactes tant d'emissions com acústics molt més baixos. En canvi, en escenaris de circulació interurbana, amb recorreguts més llargs i velocitats més elevades, el vehicle utilitzarà el motor tèrmic per a millorar el seu rendiment.

Actualment trobem força vehicles de tipus HEV en el mercat, com poden ser el Toyota Prius o l'Honda Civic. La seva capacitat d'optimització del mètode de tracció els fan especialment útils per a situacions de constant canvi de rendiments. No obstant, la excessiva dependència del motor tèrmic comporta aquest tipus de vehicle no suposi un veritable canvi de paradigma, sinó més aviat una millora en la eficiència dels vehicles convencionals.

### 1.2.3. Vechicle híbrid endollable (PHEV)

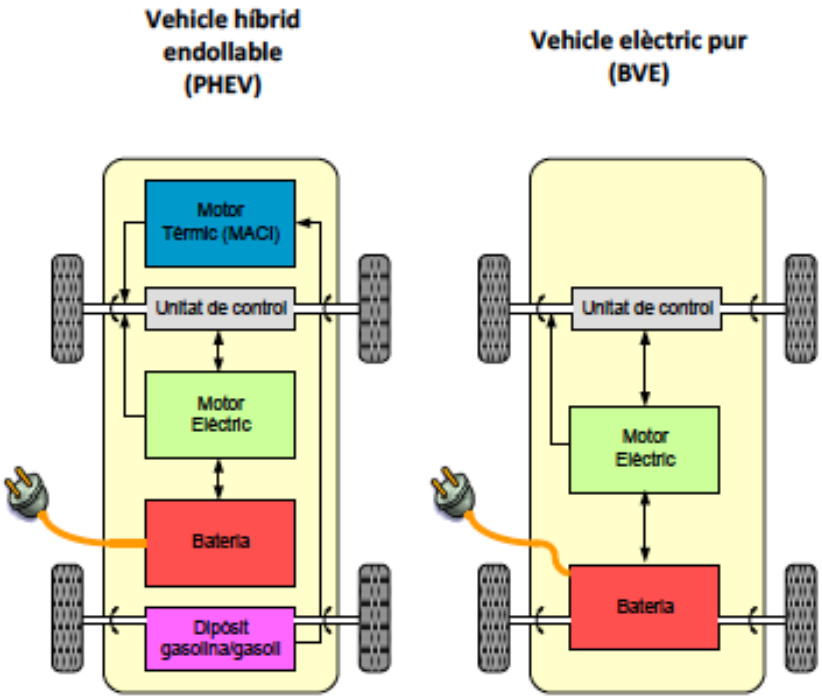
El tercer grup dins dels vehicles elèctrics és el de vehicle híbrid endollable, conegut per les sigles PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). La principal característica d'aquest tipus de vehicle és la incorporació d'un sistema d'alimentació extern de les bateries. Amb aquest dispositiu el vehicle queda possibilitat per establir connexió a la xarxa de distribució elèctrica, i captar aquesta energia.

De tota manera, el vehicle segueix tenint a la seva disposició un motor de combustió interna, que serveix per a ajudar al sistema de tracció principal. A través del motor convencional, es produeix l'electricitat necessària per al funcionament del motor elèctric.

Des del punt de vista energètic, el PHEV resulta molt interessant ja que pot carregar amb electricitat provinent de fonts renovables, cosa que actuaria de promotora de l'explotació d'energies netes i suposaria una millora en l'impacte ambiental derivat del sector transport.

La seva funció principal és la de donar solució a trajectes urbans curts, on tan sols cal emprar el motor elèctric. A més, el mètode de captació d'energia és novedós. Permet que el vehicle es connecti durant la nit a la xarxa, quan els preus de la electricitat són més baixos, i la xarxa elèctrica té major capacitat excedentària.

**Figura 1-6 Estructura comparada dels elements d'un PHEV i un VE pur**




***Font: IVECAT 2010-2015, Estratègia d"impuls del vehicle elèctric a Catalunya, 2010***

## 1.3. Principals característiques del cotxe elèctric

Els vehicles elèctrics presenten una sèrie d'elements específics que, al seu torn, resulten en unes característiques del vehicle força diferents a les que posseeixen els vehicles convencionals de combustió interna.

Per començar, des d'un punt de vista tècnic, basant-se en la disposició dels elements que el conformen, el VE presenta una major senzillesa respecte els vehicles de combustió interna. Aquesta simplicitat vé donada pel menor nombre d'elements que composen el sistema de propulsió d'un vehicle respecte l'altre.

En essència, un VE consisteix en un sitema molt més senzill, amb un aproximat 90% menys de components que un VCI, ja que el VE principalment és una estructura portant d'una bateria, un sistema de càrrega, un sistema de control i un o diversos motors elèctrics. Aquesta dràstica disminució de la complexitat i del nombre d'elements que el configuren, fan del VE un vehicle de més fàcil reparació i manteniment.

Un dels elements principals, el motor elèctric, pot ser tan de corrent continu com de corrent altern. El motor de corrrent continu va ser el primer en ser utilitzat, ja que permet una regulació senzilla de la velocitat, simplificant tot el parament elèctric/electrònic adossat al motor. Proporciona un elevat parell d'arrencada, o una àmplia variació de règims de gir. Per contra, resulta voluminó i té força pèrdues per escalfament del rotor.

L'altre tipus de motor és el de corrent altern, que pot ser síncron o asíncron. Tot i un cost més elevat, degut a la major complexitat dels equipaments electrònics de regulació, proporciona un major ventall de velocitats amb elevat parell, fent innecessari el canvi de velocitats mecànic. A més, comporta una major robustesa i millor manteniment que el motor de corrent continu.

Des d'un punt de vista de prestacions, el principal inconvenient del vehicle elèctric és i ha sigut sempre la limitada autonomia, que la podem situar en els 200 km de mitjana. Aquest problema és fruit de la impossibilitat d'emmagatxemar energia elèctrica en quantitats significatives en les bateries. Tot i que existeix una contínua millora en aquest aspecte, segueix suposant un important desavantatge d'aquest mode de propulsió.

Paral·lelament, un dels aspectes més atractius del VE, que el posiciona com a potencial vehicle del futur, és la eficiència energètica que desenvolupa el seu motor. Actualment, el motor elèctric representa una millora substancial en eficiència en relació al motor del VCI (el motor elèctric presenta eficiències entre 65-80%, entre operacions de carrega i descarrega de bateries, mentre que la del tèrmic es situa en el 25%). Cal remarcar que la ineficiència resulta en que la resta de l'energia la malgastem en calor residual i contaminació.

Tot i l'eficiència de les bateries per a vehicles elèctrics, en les que aprofundirem posteriorment, aquestes típicament són capaces d'emmagatzemar tan sols uns 30kWh, que proporcionen una energia a les rodes equivalents a 15 litres de benzina. Per a millorar la quantitat d'energia que el vehicle pot emmagatzemar, cal considerar les limitacions de pes i volum que hi anirien associats (en el cas, per exemple, d'incloure un major nombre de bateries). Així, la solució ha de venir donada per maximitzar la densitat energètica, també anomenada energia específica.

En aquest sentit, en el camp de les bateries s'ha experimentat una profunda renovació, reduint el cost de les bateries i permeten més cicles de càrrega, alhora que han augmentat les capacitats d'emmagatzematge. La constant evolució, de fet, també es veu impulsada per altres sectors (com el de la telefonia o informàtica).

Entre aspectes a destacar, cal fer una menció especial al cost del vehicle elèctric. Aquest sobretot depèn del tipus de bateria, així com la seva capacitat. Segons la bateria, queden condicionades la velocitat màxima, l'autonomia entre càrregues, el temps de càrrega o la vida útil de la mateixa. De fet, els preus de les bateries han anat disminuint progressivament en els darrers anys, convertint-se en productes més competitius dins de l'automoció.

Per últim en el camp de les característiques, podem constatar que el vehicle elèctric presenta sistemes de frenat regeneratius en els seus models híbrids, el motor gairebé no genera cap soroll eliminant la contaminació acústica, així com la desaparició d'emissions durant la seva utilització. No obstant això, els vehicles elèctrics segueixen essent força nous en el mercat automobilístic, tenint un cost inicial més elevat que si els comparem amb els vehicles convencionals.

Els experts, degut a les disparitats entre models de vehicle i la dificultat de transició, auguren una coexistència entre el VCI i el VE durant molt anys. Tot i així, es mostren confiats en la millora del sistema de mobilitat, aconseguint una menor dependència energètica envers el petroli, i una reducció dràstica de la contaminació a les ciutats.

## 1.4. Sistemes d'emmagatzematge. Bateries

El sistema d'emmagatzematge i el de transmissió d'energia elèctrica constitueixen els punts més cabdals del rendiment del vehicle, essent claus per a l'autonomia i les prestacions d'aquest.

Tradicionalment, l'element més utilitzat per a fer aquesta funció ha estat l'acumulador electroquímic, que converteix l'energia elèctrica en potencial químic durant el procés de càrrega, i l'energia química en elèctrica durant la descàrrega. Els citats acumuladors electroquímics són un conjunt de cèl·lules, de propietats electroquímiques, apilades i introduides en un electròlit, que és una solució ionitzada que propicia l'oxidació.

En els darrers anys, s'han començat a desenvolupar vehicles elèctrics en els que l'electricitat no prové d'un acumulador, sinó que prové de nous sistemes d'emmagatzematge, com els ultracondensadors.

### 1.4.1. Tipus de bateries

- **Bateries de Plom-Àcid**

Aquest tipus de pila està constituida per dos electrodes submergits en una solució d'àcid sulfúric amb aigua destil·lada, que té la funció d'electròlit. Pioneres en el camp de les bateries, ja que daten de mitjans del segle XIX, segueixen vigents i actualment són les més utilitzades en els vehicles convencionals per a alimentar el sistema elèctric.

Com a avantatge, trobem el seu reduït cost, comparat amb altres tipus de bateries. No obstant, tenen una baixa energia específica, a banda de posseir diversos materials constituents que resulten contaminants.

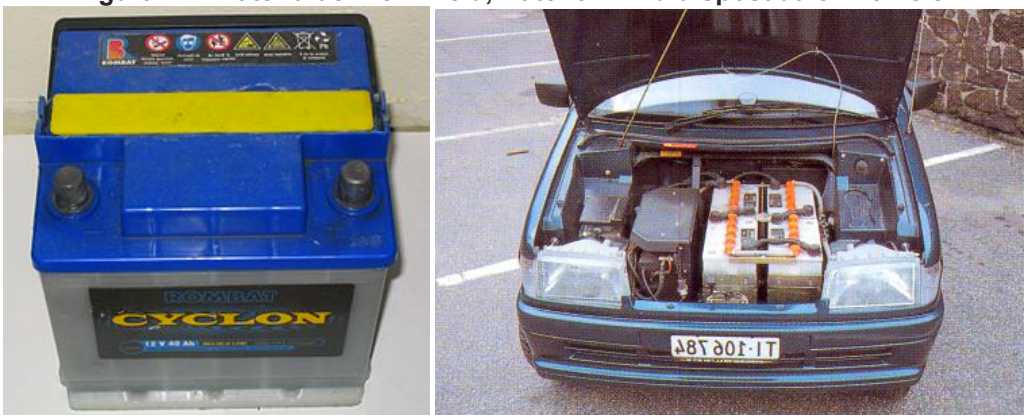
- **Bateries de Níquel-Cadmi**

Aquest tipus de bateries estan basades en solucions alcalines com a electròlit. Actualment es troba en desús, degut principalment al contaminant cadmi, usat en les reaccions químiques d'aquesta bateria.

Tanmateix, presenta unes prestacions molt interessants per a escenaris de tracció, ja que disposa de gairebé el doble d'energia específica que les bateries plom-àcid. A més, tenen una càrrega ràpida, un bon cicle de vida i presenten un

bon comportament a baixes temperatures. Com a contrapartida, apart del efecte contaminant, cal destacar el seu elevat cost .

**Figura 1-7 Bateria de Plom-Àcid, Bateria Ni-Cd disposada en vehicle**




***Font: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido***
***Font: ICAEN,El vehicle elèctric, situació actual i perspectives, 2009***

- **Bateries de Níquel-Hidrur Metàl·lic**

Aquest tipus de bateries suposen una evolució respecte a les Ni-Cd. En essència, tenen el mateix funcionament, però substitueix el cadmi contaminant per al·leacions de metalls no contaminants. Amb el canvi, reprensenten un viratge cap a sistemes més evolucionats d'acumulació d'energia, tot i que presenten uns costos més elevats i unes densitats de potència inferiors.

Aquestes bateries, per exemple, són les que s'utilitzaven en el icònic EV1 de GM, o actualment les duu el Toyota Prius o el Honda Insight.

- **Bateries d'ió liti**

Aquest tipus de bateries són de les més conegudes, degut a la seva àmplia participació en altres sectors, com el de les tecnologies portàtils, com els ordinador, reproductors de música, etc. En aquests sectors, i més que probablement en el camp del transport en un futur pròxim, gaudeixen d'un gran creixement i èxit.

Les seves prestacions semblen excel·lents, atesa la seva elevada potència específica.Entre altres avantatges hi trobem l'alta densitat d'energia, que redueix notablement el tamany de la bateria, la manca d'efecte memòria, o la seva baixa autodescàrrega.

Progressivament, les bateries d'ió liti van convertint-se en el tipus predominant dins del mercat de les bateries, i cada vegada més vehicles aparreixen equipats amb elles.

### ➢ Bateries ZEBRA

La bateria dissenyada per la Zeolite Battery Research Africa project (ZEBRA), creada el 1985 a Sud-Àfrica, té com a compost principal el Na-NiCl2. A diferència de les altres bateries, aquesta funciona a 300ºC, la qual cosa obliga a disposar-la en embolcalls estancs.

Tenen una bona densitat energètica, i poden emmagatzemar quantitats significatives d'electricitat. Aquests aspectes la fan òptima per nombrosos vehicles actuals, com el Renault Twingo o els primers models de Th!nk City.

**Figura 1-8 Bateria ió liti instal·lada en VE**

***Font: http://green.blogs.nytimes.com//2008/12/15/competition-intensifies-for-car-battery-makers/***

## 1.4.2. Característiques per determinar una bateria

Com acabem d'observar, l'elecció de bateries en el cotxe elèctric resulta essencial, per a poder desenvolupar les prestacions que hom desitja. Per això, a continuació s'exposa el seguit de característiques a considerar a l'hora de la selecció.

- **La tensió**. Amb unitats de volts (V), acostuma a ser el paràmetre que condiciona la conveniència del acumulador. El seu valor vé fixat pel potencial de reducció durant la oxidació dins la bateria, i es sol situar en els 12V (entre 1 i 4V per cèl·lula apilada). Cal remarcar que la tensió d'una bateria no és constant al llarg del temps, ja que varia segons la càrrerga i descàrrega. A mode d'exemple, podem parlar de la tensió final de descàrrega, anomenada també tensió de final de vida ja que correspon a la tensió mínima que pot tenir una bateria un cop descàrrega. S'utilitza per a ella l'acrònim TMU.

- **La capacitat**. Amb unitats d'ampers/hora (Ah), és el factor que determina la quantitat d'energia que s'ha produït arran de la reacció electroquímica. En aquest sentit, expressa la quantitat d'energia que la bateria pot proporcinar abans de quedar descarregada. En vehicles, aquesta capacitat pot variar entre 55Ah per a vehicles de gamma baixa, fins a valors de 90Ah per a automòbils de luxe.

- **La capacitat energètica**. Relacionada amb la capacitat i expressada en unitats de kWh, ens mostra la quantitat d'energia que pot ser subministrada per hora de funcionament. En els VE, les necessitats poden fluctuar entre 4kWh a 17kWh.

- **El corrent**. Amb unitats de ampers (A), denota la intensitat subministrable de la bateria. Aquesta varia segons la necessitat, essent el moment de l'arrencada el moment amb més demanda d'intensitat. En VE, podem observar corrents pic de fins a 300 A.

- **Potència específica**. També anomeda densitat de potència, és la potència disponible a la sortida per unitat de massa o volum del sistema de bateries. Aquest valor té unitats de W/kg, i, a mode d'exemple, una bateria de 120 kg pot desenvolupar una densitat de potència de 380W/kg.

- **Potència de pic**. És la potència màxima que el sistema pot proporcionar sense deteriorar-se. Es mesura en kW, i el seu valor en vehicles híbrids sol rondar els 23-40 kW, mentre que en VE augmenta fins a 60 kW.

- **Energia específica.** És la quantitat d'energia disponible per unitat de massa i volum, essent Wh per kilogram de bateria. També anomenada densitat energètica, sol tenir valors entre 50-140 Wh/kg.

- **Durabilitat**. Representa la capacitat d'una bateria per mantenir la seva funcionalitat en el temps. En general, s'intenta obtenir valors de 15 anys de durabilitat, en condicions de 35ºC, independentment del ús.

- **El cicle de vida**. Aquest valor representa el nombre de càrregues i descàrregues que la bateria és capaç de soportar abans de perdre la seva funcionalitat per envelliment. Això es pot observar quan la càrrega màxima no arriba al 80% de la capacitat nominal. Un valor desitjat pot ser el de 5000 cicles complets (considerant 1 cicle per dia, representa uns 15 anys de vida útil).

- **Resistència.** Mesurada en Ohm, resulta molt inferior a la de les piles convencionals, fet que comporta la possibilitat de subministrar càrregues molt més intenses. En una bateria de plom-àcid, la resistència sol ser de 0,006 Ohm, i en una Ni-Cd, de 0,009 Ohm.

- **Rendiment**. Expressat en percentatge, resulta de la relació entre energia elèctrica rebuda en el procés de càrrega i la que la bateria subministra durant la descàrrega. En bateries de plom-àcid, aquest rendiment és superior al 90%.

- **Temps de càrrega**. Tal com indica el seu nom, és el temps necessari per a efectuar una recàrrega completa de la bateria.

- **L'estat de la càrrega**. Expressada en %, és la capacitat d'una bateria en relació a la seva capacitat màxima.

- **Cost.** Actualment, les bateries de 12V de plom-àcid costen al voltant de 50$/kWh. Les bateries de Ni-Cd i Ni-MH són força més cares, rondant els 350$/kWh per cel·la, i les d'ió liti es situen en 450$/kWh. Si usem aquesta darrera tecnologia i la implementem en els VE, el cost s'incrementa fins a 700$/kWh. Per aquesta raó els preus de la majoria de VE segueix essent elevat.

- **Volum i pes**. Condicionen l'estructura i el disseny del vehicle. Degut a la necessitat de major autonomia, resulta vital una correcta eleccció entre volum/pes i prestacions desitjades.

### 1.4.3. Comparativa de característiques de les bateries

Arran dels tipus de bateries exposades anteriorment, podem constatar que entre els diferents sistemes, són les bateries d'ió liti les que ofereixen superiors prestacions. Aquestes, significativament millors que les de Ni-MH, resulten les més prometedores per a l'aplicació en vehicles elèctrics.

En relació als vehicles híbrids, aquests tenen necessitats d'energia inferiors als vehicles elèctrics purs, fet que comporta divergències davant de la millor elecció de bateria en cada cas. Per als HEV, les bateries de liti són òptimes, ja que la necessitat de 96 Wh/kg d'energia pot ésser subministrada fàcilment per aquest tipus de bateria. No obstant, és complicat fer un judici d'aquest tipus, ja que les necessitats varien segons l'apliació I l'àmbit d'utilització del vehicle.

En els VE queda pal·lès que la densitat d'energia també resulta cabdal per al funcionament, cosa que fa concloure que l'ió liti és una bona elecció com a bateria.

A continuació, presentem un quadre comparatiu on s'exposen les principals característiques de les bateries utilitzades en vehicles elèctris i híbrids:

**Taula 1-1 Característiques de les diferents bateries del mercat**

| Tipus de bateria | Densitat d'energia (Wh/kg) | Densitat potència (W/kg) | Cicles de vida | Temps de càrrega (h) | Cost (€/kWh) |
|---|---|---|---|---|---|
| Plom-àcid | 35-50 | 150-400 | 500-1000 | 8 | 90-120 |
| Níquel-Cadmi | 50-60 | 80-150 | 800 | 1 | 190-280 |
| Níquel- MH | 70-95 | 200-300 | 750-1200 | 1 | 150-280 |
| Ió liti | 80-130 | 200-300 | 1000+ | 2-3 | 150 |
| ZEBRA | 120 | 180 | 1200 | 0.5(50%) | 140 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en CADS, 2010***

Per sobre de tot això, tenim altres aspectes que cal tenir en consideració en relació a les bateries, com poden ser els criteris de seguretat o de compatibilitat amb el medi ambient. Respecte aquestes consideracions, les bateries segueixen tenint un gran recorregut a fer, ja que encara cal superar diverses barreres per a assegurar la seva operativitat.

Aquesta operativitat, a dia d'avui, encara es veu condicionada per agents externs, com poden ser les baixes temperatures. En aquestes baixes temperatures (per sota de 0ºC), la potència de les bateries disminueix considerablement com a conseqüència de l'augment de la resistència interna de les cel·les.

## 1.5. Mètodes de càrrega

Emmagatzemar l'energia elèctrica ha quedat demostrat que és vital per al correcte funcionament del cotxe elèctric. Aquesta energia, al seu torn, ha de ser subministrada al vehicle d'alguna manera, carregant periòdicament les bateries.

Per aques motiu, els mètodes de càrrega resulten de crítica importància a l'hora d'estudiar la viabilitat del vehicle elèctric, ja que no només afecten a la quantitat d'energia emmagatzemada, sinó també a la vida útil i prestacions de les bateries.

Abans d'entrar a aprofundir en les diverses modalitats de càrrega, podem constatar que la segmentació i necessitats de càrrega dels VE correspon a:

- **Càrrega en via pública**: Es tracta de zones d'aparcament preparades amb sistemes de proveïment elèctric, on els vehicles efectuin un estacionament de curta durada i realitzin una recàrrega de complement.

- **Càrrega en locals de pública concurrència**: En aquest conjunt hi englobem tota aquella àrea que disposa d'àmplies zones d'aparcament (típic de grans superfícies, aeroports, etc), on caldrà implementar serveis de càrrega elèctrica. Donada la disparitat de temps d'estacionament, aquests espais hauran d'adoptar sistemes intel·ligents que permetin optimitzar el procés de subministrament.

- **Càrrega domèstica/privada**: Es tracta dels aparcaments en domicilis. Aquest és un segment molt important, ja que pot gaudir de majors temps d'estacionament i, conseqüentment, temps més llargs de càrrega.

### 1.5.1. Necessitats temporals per a la càrrega

Per començar, cal determinar el temps de durada i procés de la recàrrega. En relació a aquests, podrem determinar els sistemes de distribució elèctrica i la localització dels punts de càrrega.

En aques sentit, podem distingir entre els següents nivells:

- **Nivell 1**: Càrrega lenta estàndard. En general s'associa a una instal·lació de 230V, amb una potència de 3,7kW. La càrrega s'efectua en un interval d'entre 6 i 8 hores, depenent de la capacitat de les bateries del vehicle, i d'unes 4 hores en el cas de les motos. A dia d'avui és la proposta més factible, ja que permet una millor compatibilitat amb la resta de la xarxa de distribució.

- **Nivell 2**: Càrrega semiràpida. Amb instal·lacions de 380 V i potències de 43kW, tenen un temps de càrrega superiors a una hora. Generalment són els destinats a la via pública.

- **Nivell 3**: Càrrega ràpida. Associada a nivells de potència de fins a 100kW, que permeten tenir més del 65% carregat en menys de 15 minuts. Aquest tipus d'instal·lacions requereixen de connectors especials, i han de ser usats tan sols en casos d'urgència. El caràcter d'urgència rau en que segons els fabricants de bateries argumenten que el seu ús abusiu pot escurçar significativament la vida útil de les bateries.

Complementàriament, segons la necessitat temporal podem distingir els punts de càrrega de la següent forma: punts de **recàrrega completa (RC)** i punts de **recàrrega de reforç (RR).**

Els punts de recàrrega completa , generalment pensats per estacionaments superiors a 4h, tenen la finalitat de possibilitar un cicle de càrrega complet, fins a recuperar el 100% de l'autonomia. Acostuma a ser on el vehicle habitualment "dorm". En aquests punts, la potència sol ser baixa, adaptada als protocols que habiliten un fàcil control i manteniment.

Els punts de recàrrega de reforç, tal com indica el seu nom, serveixen per complementar la càrrega. Amb estacionaments menors a 4h, el usuari té com objectiu mantenir l'autonomia del vehicle i, fins i tot, augmentar-la. En general, estan adaptats a diferents tipologies de VE, així com diferents demandes elèctriques.(SENTIAS, 2013)

### 1.5.2. Cosideracions en relació al subministrament en via pública

La via pública actualment ja conté força instal·lacions que requereixen d'energia elèctrica, com pot ser l'enllumenat públic, els semàfors, etc. A causa de la ja densa xarxa d'infraestructures a la via, cal dissenyar l'introducció d'un nou consum a la xarxa de distribució.

Tot i que la implementació pugui ser reduïda al principi, moltes xarxes poden patir de falta de capacitat i de potència per a sosportar el subministrament als vehicles elèctrics. De fet, la divergència de tipus de consums arran de la incursió del VE, fan augurar que en el futur existiran línies elèctriques i subministrament específic per aquest tipus de vehicles.

Des del punt de vista funcional, la xarxa de subministrament en via pública significa tenir un punt de tensió accessible a la via pública, el qual s'ha de protegir adequadament. En aquest sentit, cal no només redistribuir les infraestructures de serveix urbans, sinó també comptar amb els nous equips de mesura, o de protecció nous (a nivell elèctric, mecànic i ambiental).

A més, s'ha d'evitar que aquests sistemes pateixin actes vandàlics, que els deteriorarien, així com també l'utilització inadequada de l'energia. Per a això, cal procedir a un marcat i senyalització adient, segons les normatives vigents, de les zones de càrrega elèctrica.

Un aspecte important és, i serà més important encara en el futur, el que es deriva dels vehicles elèctrics que no tenen aparcament propi i estacionen al carrer. Aquest escenari ja està essent estudiat per nombrosos ajuntaments. En aquests casos, caldrà que l'usuari contacti amb l'ajuntament de la ciutat i que aquest li asigni un punt de càrrega vinculat. Aquests punts de càrrega vinculats, es localitzaran en algun dels aparcaments públics de concessió existents en la ciutat. Si no fós possible l'assignació en aparcament, caldria asignar un punt de recàrrega a la via pública adient a les necessitats del usuari, i proporcionar-li una targeta per a activar el punt de recàrrega.(LIVE, 2016)

**Figura 1-9Vechicles elèctrics en un punt de recàrrega en via pública**

***Font: http://www.evectra.es/proyecto-evectra/ayuntamiento-de-barcelona-estaciones-de-recarga-rapida/***

### 1.5.3. Cosideracions en relació al subministrament en aparcament

En la mateixa línia que en la via pública, els aparcament ja construits tenen un seguit de serveis que interactuen entre si, entre els que destaquen el sistema d'il·luminació, la ventilació, etc. La inclusió d'un nou servei comportarà canvis importants en els aprcament i, per tant, cal que sigui àmpliament estudiat.

Problablement, caldrà duplicar o modificar les connexions elèctriques ja existents en els aparcaments, posant nous terminals exclusius per als VE. En aparcaments de nova construcció, s'efectuarà un estudi prèvi que inclogui les demandes d'energia elèctrica segons la tipologia de vehicles que hi faran estacionament.

A excepció de les vivendes unifamiliars, la resta d'aparcaments poden presentar tipologies molt diverses, impossibilitant un disseny unificat per a la implantació del VE, sinó un estudi particular per a cada cas. Aquest fet, entre d'altres exalça la necessitat de dur a terme una gestió intel·ligent de la xarxa elèctrica, des de la rotació de vehicles, els horaris de càrrega, etc.

Actualment ja existeixen normatives, com la Instrucció 8/2012 de la Direcció General d'Energia, mines i Seguretat Industrial, que possibiliten diferents tipologies d'instal·lacions de punts de recàrrega per a vehicles elèctrics. Amb aquestes normatives, es busca modificar les lleis de propietat horitzontal i les instruccions tècniques, establint pautes clares entre usuaris, comunitats de veins i empreses subministradores d'energia.

En relació a la seguretat, cal remarcar que les proteccions de la instal·lació domèstica en principi ja proporcionen la seguretat suficient. Tanmateix, en el mercat existeixen sistemes avançats de recàrrega, programadors i demés eines, que permeten millorar el procés de recàrrega.

**Figura 1-10 Punt de recàrrega en aparcament públic**

***Font: http://www.1cocheelectrico.es/***

### 1.5.4. Recàrrega elèctrica. Nou paradigma de subministrament d'energia.

La irrupció dels vehicles elèctrics, amb característiques desiguals respecte els vehicles convencionals, implica un important canvi no tan sols a nivell tecnològic sinó també en els hàbits de transport. Tot i que de ben segur en els propers anys experimentarem l'adveniment de bateries cada vegada més eficients i amb major capacitat, el sistema de subministrament elèctric sempre serà força diferent al de subministrament de fuel. Aquest sistema presentarà nous avantatges i inconvenients en respecte a la situació actual de transport i energia generant, en última instància, un canvi de paradigma.

Tanmateix, aquest canvi no serà dràstic, ja que molt probablement es donarà un escenari de transició en el camí cap als vehicles elèctrics purs. En aquesta transició, el PHEV pot tenir un paper cabdal, introduint els conceptes de vehicle elèctric als usos quotidians de desplaçament (majoritàriament trajectes curts

urbans), mentre que encara s'usarà el motor de combustió per a llargs recorreguts.

Actualment, els VE necessiten de temps de recàrrega molt superiors al temps emprat per omplir un dipòsit d'un vehicle de combustió. En aquest sentit, ha d'existir un canvi dels hàbits en relació al procés de recàrrega, deixant de ser centralitzat en certs punts, com podien ser en el cas de combustió les gasolineres, passant a ser un procés de recàrrega molt més distribuït. En el nou sistema, l'usuari pot aprofitar el propi ús diari del vehicle i les estones d'estacionament per regular el subministrament d'energia.

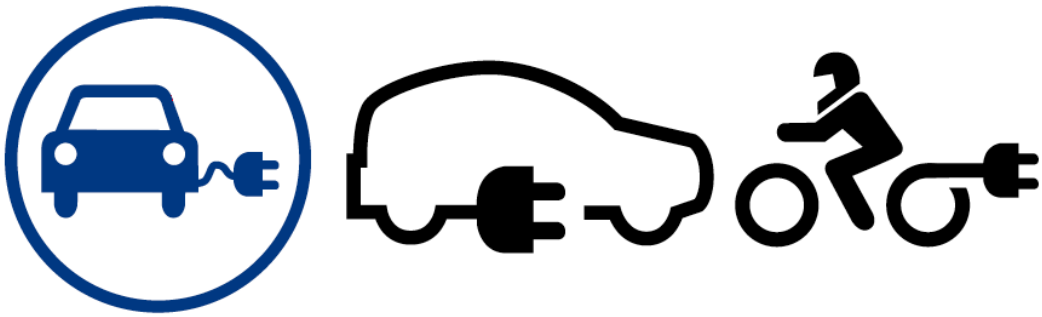
Per altra banda, el fet que els VE puguin emprar la xarxa elèctrica existent per a realitzar la seva càrrega resulta de gran ajuda a la seva implementació, degut a la senzillesa i rapidesa de l'adaptació dels vehicles a la xarxa de dsitribució. A més, la implementació pot ser més paulatina, acomodant-se a les demandes del parc mòbil. L'esglaonament de la inversió comportarà menors riscos, minimitzant el perill d'obsolescència de totes les infraestructures si la tecnologia millora.

Per últim, ressaltar l'avantatge que suposa poder efectuar la recàrrega tant en els garatges de les vivendes particulars com en qualsevol altre punt on el vehicle quedi estacionat. Com a conseqüència del lligam establert entre estacionament i recàrrega, sembla poc lògic focalitzar els esforços cap a sistemes de càrrega ultraràpida, que haurien de quedar relegats a eines de reforç i complementarietat.

### 1.5.5. Localització i tipus de infraestructura de recàrrega

Com acabem de veure, la implementació del vehicle elèctric passarà per un primer estadi de determinació de on, quan i com efectuar la recàrrega. Atès que els VE es preveu que siguin, almenys en un primer moment, vehicles majoritàriament usats per ciutat, en trajectes de com a molt 100km, convindrà identificar les diferents zones òptimes de recàrrega dins les ciutats. Aquestes zones quedaran determinades en funció de la densitat de vehicles en les diferents àrees de la ciutat, de la localització de pàrquings, etc, a fi de detectar cadascun dels punts principals d'estacionament de vehicles. Aquests punts caldrà dotar-los els primers d'infraestructures de recàrrega, intentant, amb el desplegament, maximitzar les àrees d'actuació del VE.

**Figura 1-11 Pictograma de senyalització de punt de recàrrega per a VE**



***Font: CADS, Diagnosi i perspectives del vehicle elèctric a Catalunya, 2010***

Les àrees dins la ciutat amb major oferta d'aparcament són els pàrquings públics, els aparcaments privats i determinades zones d'aparcament a la via pública. En aquest sentit, en aquestes tres zones caldrà disposar de tipologies específiques d'infraestructures de recàrrega, adaptades a cadascun d'aquests tipus de localització i de les necessitats corresponents. A mode d'exemple, algunes de les infraestructures poden utilitzar una tipologia de recàrrega estàndard, on un cotxe de tipus mitjà pot trigar entre 5 i 8 hores a fer una càrrega del 100% de la bateria.

En aquest sentit, la correcta distribució d'equipaments evitarà qualsevol limitació a l'usuari, ja que aquest fa normalment ús dels tres tipus de localització esmentat. Una incorrecta implementació podria ser fatal per al desenvolupament i la viabilitat del VE.

Tot i la convivència dels tres tipus de localització, els punts on es suposa que es produirà més recàrrega són els que corresponen a aparcament cobert. Així doncs, caldrà emfatitzar en la implementació en aquests punts que, a més, suposaran uns menors costos d'inversió que en via pública.

- **Pàrquings públics**

Situats en els punts estratègics de la ciutat (aquells punts on es produeix una afluència massiva de vehicles), són indrets lògics per dotar de punts de recàrrega als VE. Amb una inversió reduïda i una senzilla instal·lació, es pot disposar d'una xarxa de punts de recàrrega en aquests aparcaments.

Addicionalment, aquests pàrquings gaudeixen de vigilància i d'altres elements de seguretat, fet que dona solidesa a la opció de recàrrega en aquests punts. Des del punt de vista econòmic, l'implementació de punts de recàrrega en els pàrquings pot suposar el naixement de nous serveis, generant negoci a les empreses a càrrec dels aparcaments.

Al principi, la dotació de punts de recàrrega pot ser reduida, ja que hi ha molta rotació de vehicles en aquest tipus d'aparcaments, i els vehicles elèctrics encara no seran massa nombrosos. Amb el pas del temps, les demandes d'aquest servei s'utilitzaran per optimitzar el nombre de punts de càrrega particulars per a cada pàrquing, així com els possibles canvis en la xarxa elèctrica del propi equipament.

- **Pàrquings privats**

Els aparcaments privats han de constituir el punt principal de recàrrega de VE. Tanmateix, dins dels aparcaments privats podem trobar dos escenaris, que tindran necessitats i condicionants diferents: aparcaments comunitaris i aparcaments individuals.

El principal punt de debat apareixerà en la conveniència d'adaptar o no el pàrquing comunitari, donat que alguns dels usuaris optaran per VE i d'altres no. En aquest sentit, cal trobar mètodes per a poder adaptar-los de forma ràpida i

tan bon punt els usuaris ho necessitin. Per exemple, en aparcaments comunitaris caldrà introduir elements de control d'accés a cada punt de càrrega, així com enregistrar l'energia consumida. En essència, s'ha d'intentar que la instal·lació pugui ser el més autònoma possible de la resta d'aparcament, per no afectar al funcionament del conjunt.

Aquesta autonomia ha de venir propiciada per una recàrrega mitjançant elements ja coneguts i usats pels usuaris, com poden ser endolls de característiques similars als de les llars. Aquest tipus de punts de càrrega han de proporcionar simplicitat en el maneig, a fi que qualsevol usuari pugui fer servir les instal·lacions fàcilment.

### ➢ Aparcament en via pública

Proporcionalment menys nombrosos, resulten imprescindibles per efectuar les recàrreges de reforç. Amb una distribució d'acord a la densitat de vehicles i les necessitats de transport de la zona, es podria generar una xarxa interconnectada on un VE fós capaç de diposar d'energia per a realitzar desplaçament lliurement.

Aquest tipus d'aparcament serà el de major exposició envers la seguretat i l'accessibilitat. Així, han de complir una sèrie de premisses de seguretat elèctrica i senzillesa d'ús i uns requisits mínims de robustesa per a resistir actes vandàlics. Cossos metàl·lics resistens, pintura antigraffiti, etc. han de figurar entre les característiques d'aquests punts de recàrrega.

### ➢ Electrobenzineres

Més enllà de les teconologies de càrrega estàndard, nombroses iniciatives es centren en fer viable les càrregues ultraràpides, que es podrien produir en les anomenades benzineres elèctriques. Permeten recàrregues completes inferiors a 10 min, podrien representar el futur pels VE, habilitant viatges de gran recorregut sense llargues parades. Malhauradament, aquestes experiències segueixen en fase d'investigació i desenvolupament (I+D).

**Figura 1-12 Prototip d'electrobenzinera**

***Font: http://www.elperiodicodearagon.com/m/noticias/aragon/cuatro-entidades-aragonesas-disenan-electrolinera-carga-coches_1058155.html***

A mode de quadre resum explicatiu, a continuació tenim la recopilació de diferents punts on instal·lar un punt de recàrrrega. El llistat, apart de mostrar el temps d'estacionament mitjà estimat, valora si la localització és adient o no, i en quin grau, per a efectuar la recàrrega.

**Taula 1-2 Adequació de diferents localitzacions on implantar un punt de recàrrega**

| Localització | Idoenïtat del punt | Temps d'estacionament mitjà estimat |
|---|---|---|
| Domicili particular | Molt adient | >10h |
| Nodes de transport (llarga distància) | Molt adient | >10h |
| Allotjaments turístics | Molt adient | >10h |
| Llocs de treball | Molt adient | >8h |
| Nodes de transport (curta distància) | Força adient | 6-8h |
| Espais de lleure i esbarjo | Força adient | 4h |
| Espais de restauració | Força adient | 3h |
| Serveis sanitaris o centres culturals | Força adient | 2h |
| Centres comercials | Acceptable | 2h |
| Administració pública o centre religiós | Acceptable | 1h |
| Estacions de servei | Poc recomanat | <1h |
| Encàrrecs domèstics (correus, bancs) | Poc recomanat | <1h |

***Font: Elaboració pròpia, basada en CADS 2010***

Aquest tipus de quadre-resum ajuda a determinar quins punts són més adients per a instal·lar-hi punts de càrrega. Com es pot observar, existeix una dependència directa entre temps d'estacionament mitjà i la idoneïtat de punt de càrrega. Aquest fet ratifica el supòsit que ja hem comentat anteriorment de que el focus en les infraestructures s'ha de posar en les recàrregues llargues i no en sistemes de recàrrega ràpides.

# 2. El Vehicle Elèctric a Catalunya

## 2.1. Situació actual i marc legislatiu català

El vehicle elèctric està gaudint de força protagonisme en els darrers anys a Catalunya, recolzat per nombroses inicitavies, així com diverses normatives per part dels departaments de la Generalitat de Catalunya. La importància del VE radica en que no només representa un canvi en els sistemes de transport, sinó que pot significar canvis profunds en matèries com la política energètica, el medi ambient o l'activitat industrial.

En la vessant energètica, cal citar l'anàlisi de "Prospectiva Energètica de Catalunya a l'horitzó 2030" (PROENCAT-2030), dut a terme pel Departament d'Economia i Finances de la Generalitat de 2008. En aquest estudi, elaborat conjuntament amb el Institut Català de l'Energia (ICAEN), ja es posa de manifest el progressiu esgotament dels recursos energètics fòssils, comportant problemes d'abastament mundial de combustible. A més, es mostra la urgent necessitat de canviar de model energètic a escala mundial per lluitar contra el Canvi Climàtic.(ICAEN, 2005)

Catalunya, que no disposa de recursos fòssils, es troba especialment afectada per la necessitat de desenvolupar nous models energètics, i així poder reduir la seva dependència de recursos no renovables. Per tenir com a referència, a Catalunya el transport suposa gairebé el 40% del consum d'energia final, essent aquesta energia gairebé al complet obtinguda de petroli i derivats. Conseqüentment, el sector transport constitueix un dels principals focus d'emissió de gasos d'efecte hivernacle.(Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2010)

Cal, doncs, generar un model sostenible en el període de temps el més curt possible, per a arribar a una societat que gaudeixi de baixos índex d'intensitat energètica i baixes emissions de carboni. Aquesta societat s'encaminarà cap a tecnologies basades en les energies renovables, i així podrà mitigar els efectes del Canvi Climàtic. De forma complementària, una estratègia a llarg termini per un nou sector energètic pot resultar en un clar vector de creixement econòmic per a Catalunya, i alhora minimitzar els efectes nocius sobre la qualitat de l'aire dels agents contaminants i dels gasos d'efecte hivernacle.

Dins d'aquest context, cal introduir les diferents normatives relacionant el nou model energètic amb el foment del cotxe elèctric. El 2010, la Generalitat va aprovar la "Estratègia d'Impuls del Vehicle Elèctric a Catalunya (IVECAT)", amb l'objectiu principal de fomentar la integració dels vehicles elèctrics en el parc mòbil català. Aprofitant el seu potencial, aquesta normativa encara vigent cerca mètodes per harmonitzar l'evolució cap a un sector automobilístic més electrificat, generant les infraestructures necessàries per a la nova demanda energètica.(ATLET, 2010)

A mitjans del 2011, a encàrrec de la Conselleria d'Empresa i Ocupació va començar la redacció d'un nou Pla de l'Energia de Catalunya. A la redacció s'hi va

incorporar, entre d'altres, el Departament de Territori i Sostenibilitat, dotant al programa d'una major transversalitat. Amb horitzó el 2020, recull les orientacions polítiques en matèria d'energia, d'acord també amb els preceptes de la planificació europea aprovada en el paquet legislatiu d'energia i clima. (ICAEN, 2012)

**Figura 2-1 Logos de IVECAT 2010-2015 i PECAC 2012-2020**

***Font: IVECAT 2010-2015 i PECAC 2012-2020***

El Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 representa l'orientació que es vol donar a la política energètica catalana, integrant aspectes com la mitigació d'efectes negatius al medi ambient, o el desplegament del vehicle elèctric a Catalunya. En efecte, es va decidir l'horitzó 2020 per a mantenir coherència amb els importants reptes assumits per la Unió Europea en l'objectiu anomenat "20-20-20". El projecte "20-20-20", és una iniciativa molt ambiciosa impulsada per la UE, que proposa un paquet integral de mesures sobre el canvi climàtic i l'energia, amb horitzó fins al 2020. En aquest projecte, es pretén reduir les emissions de gasos contaminants en un 20%, estalviar el 20% en cosum d'energia per mitjà de major eficiència energètica i promoure les energies renovables fins al 20%.

Per últim abans d'iniciar la dissecció de propostes singulars i eines pel impuls del vehicle elèctric a Catalunya, cal fer una petita reflexió sobre la viabilitat dels escenaris. Els escenaris descrits a continuació poden variar significativament, degut al grau de penetració i acceptació del VE en els propers anys. En aquest sentit, la volatilitat que actualment pateixen els combustibles fòssils, així com els constants avenços en tecnologies netes, poden precipitar l'electrificació del sector transport. Per tant, cal ser conscient de que la situació actual, tot i ser propensa a l'integració del vehicle elèctric, resulta força imprevisible a l'hora de quantificar l'impacte final amb presició.

## 2.2. Context regulatori i inciatives internacionals

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, Catalunya ha experimentat un creixent interès en el camp del vehicle elèctric, i així ha quedat plasmat en la seva legislació. Aquest augment d'importància vé donat per, en certa mesura, les estratègies que s'han desenvolupat a nivell europeu, especialment en relació a la reducció de les emissions del transport de passatgers i mercaderies.

Per a citar algunes de les normatives o programes engegats existents:

- Directiva 2009/28/CE, relativa la foment de la utilització d'energia procedent de fonts renovables. Obliga a introduir un 10% d'energies renovables en el transport l'any 2020.(GCSFP, 2010)

- Reglament (CE) 443/2009, relatiu a les normes de control d'emissions dels turismes nous. Aquesta legislació obliga a reduir l'emissió mitjana de $CO_2$, aconseguint emissions inferiors a 95 g de $CO_2$/km el 2020.

- Horizon 2020- Work Programme 2014-2015. Aquesta iniciativa aborda el anomenat "Transport Challenge", en el que s'intenta integrar el transport de tipus eficient i elèctric en el sistema de transport europeu actual. La integració ha d'afavorir un ús racional del recursos, ser ambientalment respectuós i representar una aportació clara al benestar de la societat.(European Comission-Horizon 2020, 2016)

- Green eMotion (creada el 2011). Iniciativa a nivell europeu de mobilitat elèctrica, reuneix entitats dels tres sectors (públic, privat i associacions) amb l'intenció de desenvolupar millores en les tecnoogies existents, i alhora facilitar l'integració de VE al sistema de transport actual. A més, promou l'estandarització dels processos relacionats amb el VE a tot Europa.(Green eMotion, 2016)

- European Green Vehicles Initiative (fundada el 2013). Es tracta d'una organització públic-privada dedicada a desenvolupar solucions que viabilitzin els nous sistemes de mobilitat. Amb focus especial a l'eficiència energètica, cerquen nous models i tecnologies que sentin les bases per un desplegament global del vehicle elèctric.(EGVI, 2013)

Sense l'existència i l'impuls que aquesta legislació aporta, experiències com les de Catalunya en relació al vehicle elèctric no gaudirien de l'acceptació i la viabilitat que actualment posseeixen. A partir d'aquest punt, ens centrarem en la situació catalana, per a poder aportar un major grau de definició i particularització dels objectius i del abast de les mesures.

## 2.3. Anàlisi DAFO pel VE a Catalunya

Un cop posada en context la situació del vehicle elèctric, tant a nivell tecnològic com legislatiu, procedim a definir l'estratègia que es pretén seguir a Catalunya. A mode de resum, podem desenvolupar un anàlisi DAFO de la implantació del vehicle elèctric a Catalunya.

Un anàlisi DAFO, és un mètode d'estudi de la situació de qualsevol empresa o projecte, en el que s'analitza tant les característiques internes (Debilitats i Fortaleses), com la situació externa (Amenaces i Oportunitats) en una matriu quadrada.

Com a eina serveix per a conèixer la situació real en la que es troba una organització o projecte, i permet planejar una estratègia de futur. En definitiva, té com a objectiu determinar els avantatges competitius del projecte, i com explotar-los segons el mercat en el que es situa.

En el nostre cas, el projecte a jutjar, de forma resumida i conscisa, la viabilitat de la implementació del vehicle elèctric a Catalunya.

**Taula 2-1 Anàlisi DAFO per a la implantació del VE a Catalunya**

| DEBILITATS | AMENACES |
|---|---|
| ▪ Poca implicació empreses sector automoció. Poca oferta de vehicles elèctrics<br>▪ Preus del VE molt elevats, poc competitius<br>▪ Limitació en les prestacions. Bateries amb autonomia insuficient<br>▪ Insuficient xarxa de subministrament d'energia per a recàrrega<br>▪ Temps de recàrrega no competitiu<br>▪ Falta de regulació clara | ▪ Dificultats d'apatació als nuclis urbans de les noves infraestructures<br>▪ Desinformació dels usuaris. Poca acceptació dels vehicles<br>▪ Falta de estandardització de regulació<br>▪ Oposició de lobbies d'automoció convencional<br>▪ Dificultat de canviar el parc mòbil |
| **FORTALESES** | **OPORTUNITATS** |
| ▪ Eficiència energètica major<br>▪ Reducció del 100% en emissions de gasos contaminants durant l'ús<br>▪ Reducció de la contaminació acústica<br>▪ Varietat de possibilitats per l'obtenció d'electricitat pel vehicle<br>▪ Menors i menys costoses reparacions<br>▪ Millora en seguretat degut a la renovació del parc mòbil | ▪ Barcelona té índex de contaminació superiors als limitats per la UE<br>▪ Aposta per les energies renovables, optimitzant la seva gestió<br>▪ Disminució de la dependència de combustibles fòssils<br>▪ Millora de la xarxa de distribució elèctrica<br>▪ Foment de la indústria automobilística en mercat VE<br>▪ Creació de model energètic sostenible<br>▪ Creació d'empreses de valor afegit al VE (serveis relacionats) |

***Font: Elaboració pròpia, basat en informació de IVECAT 2010-2015***

Gràcies al anàlisi DAFO podem copsar en la seva totalitat el comportament esperat del projecte d'implementació del vehicle elèctric. Abans d'entrar en detall, podem extreure primeres conclusions.

En el context actual de canvi de model energètic, intentant virar cap a tecnologies més netes i menys depenents de recursos no renovables, el vehicle elèctric resulta una oportunitat clara. El canvi de paradigma que suposa passar del combustible fòssil a l'electricitat és un dels factors clau per a la viabilitat del projecte.

Tanmateix, existeixen una sèrie de debilitats i amenaces que caldrà superar si es vol materialitzar aquest canvi. Principalment, les prestacions que tenen en

l'actualitat els VE són insuficients per a resultar competitives davant dels vehicles convencionals. A aquest fet, cal afegir la desinformació del ciutadà del que realment suposa aquesta nova tecnologia, que pot provocar recança a fer el canvi de vehicle.

Però les debilitats no provenen solament del vehicle elèctric, sinó també de les infraestructures que l'han de recolzar. Sense una xarxa de recàrrega pública suficient i amb una regulació poc clara, la implementació resulta complicada de materialitzar.

Per tant, alguns dels factors que poden propiciar el creixement del ús del vehicle elèctric són:

- L'encariment dels combustibles tradicionals
- Les penalitzacions a vehicles contaminants
- La reducció de contaminació ($NO_X$ i PM)
- Normativa Europea promotora del ús elèctric en el transport
- L'existència d'incentius a l'adquisició de vehicles elèctrics
- L'existència de base industrial a Catalunya

En l'actualitat, hi ha diverses empreses del sector de l'automoció establertes a Catalunya. Algunes d'aquestes, per la seva part, ja estan apostant en el seu portfoli per vehicles elèctrics, amb bateries de majors prestacions. La producció d'aquest tipus de vehicle a Catalunya podria ser molt beneficiosa. Pot produir-se un augment de la ocupació, ja que els vehicles requeriran de nous perfils per als processos de fabricació. A més, ja existeixen iniciatives de mercats més petits, com el de les motocicletes o vehicles funcionals.

Addicionalment, l'existència d'una indústria auxiliar, basada en la fabricació de components i en la prestació de diferents serveis, ajuda a l'establiment d'una producció forta i estable de VE. Entre aquestes empreses, podem trobar-ne que produeixen elements de la instal·lació de xarxa elèctrica, com endolls, equips de control, etc.

Com a referència de l'ocupació que es pot crear en el desenvolupament i fabricació de VE, podem usar l'experiència de micro-cotxe elèctric que s'ha dut a Vitoria-Gasteiz a finals del 2012. Arran d'aquella iniciativa, es van generar fins a 800 llocs de treball.(Vitoria y el Vehiculo Eléctrico, 2016)

## 2.4. Estratègies d'impuls i objectius a assolir

A continuació, dedicarem l'apartat a enumerar tant les estratègies que la Generalitat de Catalunya, per mitjà dels documents d"Estratègia d'impuls del vehicle elèctric a Catalunya (IVECAT)" i el "Pla de l'Energia i el Canvi Climàtic 2012-2020", com el que s'ha considerat oportú complementar i incloure.

Els principals eixos estratègics per a la correcta implantació del vehicle elèctric a Catalunya són:

- **Foment de l'adquisició de vehicles elèctrics**, mitjançant actuacions de promoció, divulgació i informació d'aquest tipus de vehicle. Es pot potenciar l'adquisicó amb mesures d'incentius a la compra o a la instal·lació de punts de recàrrega domèstic, reducció de tarifes en peatges, o ús exclusiu de determinades àrees d'aparcament.

- **Foment de la industrialització i del R+D+i associats al VE**. Oportunitat d'impulsar la industrialització de l'economia catalana i la creació de productes i serveis innovadors, augmentant la competitivitat econòmica i els nivells d'ocupació.

- **Desenvolupament de les infraestructures de recàrrega del VE, tant públiques com privades**. La infraestructura de recàrrega ha de basar-se en la recàrrega vinculada domèstica i nocturna, així com el desenvolupament d'infraestructures de suport en llocs estratègics (centres de treball, intercanviadors modals).

- **Adaptació i posicionament internacional del sector de l'automoció**, del sector energètic, així com dels nous sectors emergents a l'entorn del VE. Suport tècnic i econòmic per a la consolidació del sector empresarial català involucrat en el VE, per resultar atractiu a inversions internacionals.

- **Establiment de sinèrgies entre els modes de transport eficients i el VE**. Entre d'altres, aquests modes poden ser ferroviaris, de transport col·lectiu per carretera o de car sharing. Desenvolupar mesures de planificació i gestió de la mobilitat, per a afavorir la intermodalitat del vehicle privat amb el transport públic.

- **Assegurar una millora del medi ambient i la salut de les persones**. Reduir les emissions locals de contaminants atmosfèrics, de CO2 del transport, i permeten augmentar l'ús d'energeies renovables el sector de l'automoció per a millorar la qualitat de l'aire en els entorns urbans.

- **Adaptar la legislació de transport**, per tal d'eliminar les barreres regulatòries al desenvolupament del vehicle elèctric, així com per garantir la seva seguretat i respecte al medi ambient.

Així doncs, per tal d'aconseguir una penetració efectiva del vehicle elèctric dins de l'horitzó temporal marcat, cal que tots els agents involucrats (des de la Generalitat i altres administracions, els centres de recerca fins a les empreses manufacturadores de VE), treballin conjuntament per a seguir aquests eixos estratègics. Aquests objectius marcats calen ser constantment revisats, així com efectuar un seguiment continu per a determinar si s'estan aconseguint els resultats esperats.

## 2.5. Penetració VE i previsions de futur

### 2.5.1. Previsions fins al 2015

#### ➢ Vehicles elèctrics

Les previsions de penetració del vehicle elèctric a Catalunya han resultat força complicades de precisar, degut a la gran quantitat d'incerteses al voltant d'aquest tipus de vehicle. Tot i la dificultat, és del tot indispensable per a un correcte dimensionament i disseny de la xarxa de subministrament el fixar uns objectius quantitatius de vehicles en circulació en un marc temporal. En aquest sentit, per a la determinació d'aquest objectiu és necessari elaborar i analitzar les previsions dels diferents graus de penetració de VE en el parc automobilístic de Catalunya en funció dels factors que hi intervenen (nivell de preu dels vehicles i de l'electricitat, millora de les prestacions de les bateries, polítiques desenvolupades a favor d'aquest tipus d'automoció, etc).

En el marc de previsions, tenim referències a les persectives d'implantació del VE des de l'any 2010, quan es van publicar dins del IVECAT. Tot i que aquestes previsions resultin insuficients a dia d'avui, ja que tenen com a horitzó el 2015, ens permeten adonar-nos de la similitud o no de les previsions en relació al parc mòbil real actualment.

Les previsions del PROENCAT-2030, en consonància amb la informació extreta del IVECAT, indicaven que en el 2015 Catalunya diposaria de 76000 vehicles elèctrics, representant el 1,2% del total del parc automobiístic. Cal recordar que sota el nom de vehicle elèctric trobem turismes, motocicletes i ciclomotors, furgonetes, autobusos i camions. De fet, resulta molt interessant veure com es creia que seria el creixement del nombre de vehicles elèctrics en el període 2010-2015. A continuació mostrem les dades esmentades, que van des dels 600 vehicles el 2010 fins al 76000 ja anunciat pel 2015.

**Taula 2-2 Previsió de penetració del VE segons IVECAT 2010**

| Any | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre acumulat de VE a Catalunya | 600 | 4100 | 13000 | 26000 | 44800 | 76000 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en IVECAT 2010***

Nombrosos estudis, alguns encarregats per organismes estatals i d'altres per organitzacions privades, van dictaminar aquest rang de valors com a previsible donades les característiques i perspectives de futur del VE. Entre d'altres estudis de l'època, també hi trobem el "Diagnosi i perspectives del vehicle elèctric a Catalunya" redactat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS) el 2010, o el document "Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España", publicat pel Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç el 2011. (MITC, 2011)

A la llum d'aquests valors, doncs, quedava palesa la necessitat d'elaborar un pla estratègic d'impuls del VE, per tal que aquest tipus de vehicle gaudís d'un creixement estable i de futur.

### ➢ Punts de càrrega

Addicionalment, tenint en compte les previsions de penetració fetes, calia determinar el nombre de punts de recàrrega necessaris per a donar abast als vehicles a la xarxa de subministrament d'energia elèctrica. Així, en el escenari descrit del 2010-2015, es va dictaminar que el nombre de punts de recàrrega hauria de ser:

**Taula 2-3 Estimació de punts de recàrrega 2010-2015 segons IVECAT**

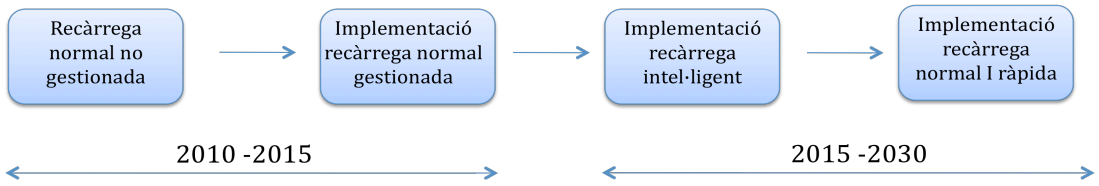
| Tipologia de punt de recàrrega | Nombre de punts |
|---|---|
| Privada vinculada | 76000 |
| Privada de reforç | 7600 |
| Accés públic aparcament | 6080 |
| Accés públic via pública | 1520 |
| **TOTAL** | 91200 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en IVECAT 2010***

En relació als punts privats vinculats, es va considerar que cada usuari necessitava un, és a dir, un desplegament privat del 100%. Això és degut a la voluntat de fer del accés privat el principal punt de recàrrega d'aquest tipus de vehicle.

Paral·lelament, cal remarcar que en la voluntat de difusió tecnològica dels sistemes de recàrrega, dintre del horitzó 2010-2015, es va donar prioritat als sitemes de recàrraga estàndard. Nogensmenys, durant el mateix període es van desenvolupar un conjunt de proves pilot de sitemes de càrrega intel·ligent, i també de càrrega ràpida i ultraràpida. El procés a seguir en relació a la tipologia de recàrrega es mostra a continuació. A més, es mostra el context temporal en el que s'hauria de realitzar cada un dels passos del procés.

**Figura 2-2 Estratègia del procés temporal per implementar punts de recàrrega**




***Font: Elaboració pròpia***

### 2.5.2. Dades actuals

#### ➢ Vehicles elèctrics

A dia d'avui, el conjunt de matriculacions de vehicles elèctrics a Catalunya dista molt de les previsions que es van fer al 2010. El parc mòbil de vehicles elèctrics a Catalunya a finals de 2015 gira en l'entorn de 4000 vehicles. Aquest nombre queda segregat entre turismes i motocicletes majoritàriament, que amb 700 matriculacions de cotxe i 250 de motocicletes en el any 2015 capitanegen la tipologia de vehicles elèctrics. Aquests 4000 vehicles suposen un 26% aproximadament del total de matriculacions de vehicles elèctrics en l'Estat Espanyol. (ICAEN, 2016)

Tanmateix, cal remancar que el vehicle elèctric a Catalunya tan sols representa el 0,1% del total del parc mòbil, ben lluny de les previsions, que estimaven una penetració del 1,2% en el conjunt del parc mòbil.

Dins del apartat de vehicles eficients, destaquem el nombre de matriculacions de vehicles híbrids, que el 2015 va assolir quotes de 1600 vehicles matriculats, així com les matriculacions de vehicles propulsats per Gas Liquat de Petroli i de Gas Natural Vehicular, que van arribar conjuntament a les 400 matriculacions.

#### ➢ Punts de càrrega

En relació als punts de recàrrega, actualment a Catalunya hi ha instal·lats 288 punts de recàrrega, amb una capacitat total de fins a 1059 endolls pera efecturar la càrrega. Aquests punts de recàrrega estan dsitribuïts en el territori, ja que es troben en més de 200 localitzacions.

A continuació mostrem una taula que recopila les dades referents al tipus de càrrega i el nombre d'endolls disponibles en el territori català:

**Taula 2-4 Endolls disponibles per a recàrrega segons tipologia**

| ENDOLLS DE VEHICLE ELÈCTRIC | | |
|---|---|---|
| **Tipus de Càrrega** | **Potència subministrada** | **Quantitat de punts** |
| Normal | <3,7kW | 956 |
| Semiràpida | 3,7kW – 22kW | 41 |
| Ràpida | 44kW – 50kW | 56 |
| Superràpida (Tesla) | 120kW | 6 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en Ajuts i Incentius LIVE, 2016***

Menció especial mereix el conjunt d'avantatges econòmics que actualment s'apliquen als vehicles elèctrics per tal de fomentar el seu ús. Entre d'altres, els que tenen més rellevància són els següents:

- L'impost de matriculació és gratuït, en comparació amb els 1500-2000€ que es paga per vechile convencional.
- L'impost de circuació IVTM queda reduït, en funció de les demandes del ajuntament, assolint reduccions de fins al 75%.

- Aparcament en zona blava i verda amb tarifes gratuïtes o reduïdes, amb la targeta LIVE Barcelona o amb sistemes similars d'altres municipis. (ÀREA VERDA, 2016)
- Descomptes de fins a 30% en autopistes i altres vies, com el servei EcoviaT.

Com es pot observar de les dades actuals, apart de ressaltar l'excés d'optimisme de les primeres previsions, queda clar que l'administració i demés institucions han de fer una aposta clara pel vehicle elèctric si volen que aquest triomfi. El major repte que li cal superar al VE no és el de les prestacions de bateries ni el del preu, sinó el d'aconseguir una xarxa de recàrrega competitiva.

### 2.5.3. Previsions per al 2020

#### ➢ Vehicles elèctrics

Arran del "Pla de l'Energia i Canvi Climàtic (2012)" en l'horitzó de 2020, podem extreure les previsions de penetració del vehicle elèctric (híbrid, híbrid endollable i elèctric pur) per al any 2020. Les dades, segregades per tipologia de vehicle, queden recopil·lades en la següent taula:

**Taula 2-5 Previsions de penetració pel 2020 del VE a Catalunya segons PECAC**

| Tipus de vehicle | Nº de vehicles | % respecte el parc total | % penetració híbrids | % penetració purs |
|---|---|---|---|---|
| Turismes | 360.000 | 10% | 7% | 3% |
| Motos i ciclomotors | 124.000 | 12% | 0% | 12% |
| Furgonetes | 54.500 | 7% | 4.5% | 2.5% |
| Camions | 50 | 0.1% | 0.1% | 0% |
| Autocars i altres | 540 | 5% | 4% | 1% |

***Font: Elaboració pròpia, basat en PECAC 2012-2020***

Les previsions estableixen que un 10 % del total de vehicles seran elèctrics en el 2020 a nivell estatal. Actualment el parc de vehicles a l'Estat és de 27 milions d'unitats, dels quals uns 5 milions corresponen a Catalunya. A nivell de matriculació i venda de vehicles, dada cabdal per a saber el possible abast de l'implentació del VE, constatem que a Catalunya li corresponen al voltant de 300000 unitats venudes al any. (ICAEN, 2012)

Partint d'aquestes dades de venta i d'unitats ja existents, i suposant que el parc mòbil no creixerà en nombre de vehicles (supòsit on les vendes corresponen només a reposicions del vehicles existents en el parc) es poden realitzar diverses estimacions de futur.

En el parc de vehicles català hi haurà aproximadament uns 515000 vehicles elèctrics l'any 2020 si es concreten les previsions. Aquesta dada mostra el inminent i vital canvi de paradigma en l'ús del vehcle elèctric si es volen assolir els resultats previstos d'implantació ja que, a mode de recordatori, tan sols es van realitzar unes 1000 matriculacions l'any 2015. En conseqüència, caldria que

l'any 2020, el 38% de les vendes anuals de vehicles es corresponguéssin a vehicles elèctrics.

Per a poder assolir aquestes xifres han de contribuir no només la venda directa de tursimes elèctrics, sinó també la implementació d'aquest tipus de vehicle en els serveis de transport i manteniment municipals. En aquest aspecte, cal destacar les diferents mesures adoptades per ajuntaments catalans d'incorporar el vehicle elèctric en els seus vehicles, com els de flotes de recollida d'escombraries o neteja de vies públiques.

En relació a l'adquisició de vehicles, el preu d'un turisme elèctric es situa actualment en els 30000 euros, xifra que posa de manifest el potencial del mercat del vehicle elèctric, ja que es un preu assequible per al consumidor mitjà. A més a més, es preveu una progressiva disminució en els preus de compra d'aquest tipus de vehicles a mesura que es vagin implantan, assolint els nivells de preus dels vehicles de gasolina de caracterísitiques similars.

- **Punts de recàrrega**

Si el VE vol ser viable, la xarxa de punts de recàrrega ha d'experimentar un creixement molt notable. En essència, es contempla que per a cada vehicle elèctric que estigui en circulació, hi ha d'haver almenys 1,2 punts de recàrrega. Tenint en compte que el desplegament de la xarxa de recàrrega s'ha d'efectuar a priori de la posada en circulació dels vehicles, resulta vital un correcte dimensionament del sistema.

La xarxa vinculada, que ha de ser la infraestructura més estesa, haurà de créixer de forma més ràpida ja que és vital per a la implantació adient del vehicle elèctric. Per tant, i comptant que cada vehicle tindrà almenys el seu punt de recàrrega particular, s'estima que cal aproximadament mig milió d'unitats. Amb tot això, ja es preveu que hi haurà més punts de connexió que vehicles elèctrics, i que possiblement el mercat de l'instal·lació d'aquests punts tindrà un ritme de creixement superior al propi vehicle.

El desenvolupament de les xarxes elèctrics servirà, doncs, per donar servei a la nova demanda provinent del VE, i la seva evolució tecnològica cap a xarxes intel·ligents contribuirà a l'activitat econòmica del sector. De fet, relacionat amb la mobilitat elèctrica poden néixer nous negocis, entre el lloguer de VE, la gestió del tràfic i carrers intel·ligents, o l'instal·alció d'equipametns com sistemes d'aparcament i de gestió d'enllumenat , etc.

# 3. MOBILITAT A BARCELONA

## 3.1. L'entorn metropolità i la mobilitat

Abans de procedir a disseccionar la mobilitat a la ciutat de Barcelona, cal comprendre el context de la mobilitat i el transport a Catalunya, així com els patrons que el regeixen.

Per començar, cal remarcar el fet que tan a nivell espanyol com català, les dades de mobilitat mostren un creixement espectacular en els darrers 30 anys, i de forma especial en els últims 10, promogut principalment pel vehicle privat. Aquest fenòmen és vital a l'hora de justificar la necessitat d'alternatives als sistemes de transport convencionals, ja que aquests contribueixen a un gran nombre d'externalitats ambientals i afecten, en ultima instància, a la salut de les persones.

En el cas de Catalunya, el parc de vehicles registrats a finals de 2014 és de 4.9 milions de vehicles, essent el 67% d'aquests (3,3 milions) turismes, 14,5% motocicletes (0,72 milions), 15,5 % camions i furgonetes(0,76 milions) i el 3% restant (0,17 milions) autobusos i d'altres vehicles.(IDESCAT, 2016)

La Regió Metropolitana de Barcelona (RMB), és l'àrea amb Barcelona com a ciutat central dominant, d'elevada densitat, i estructurada per un sistema de polaritats de ciutats mitjanes que diversifiquen l'estructura territorial. Compta amb 164 municipis, amb una població conjunta de 4.788.422 habitants. Actualment, segons el PMU 2013-2018 (DSM, 2014), la RMB distingeix tres àmbits territorials diferents:

- Barcelona: amb densitat de població elevada, alt grau d'activitat econòmica i bona accessibiitat.
- Primera corona: Inclou Barcelona i l'àmbit d'expansió de la ciutat compacta, amb nuclis descentralitzats amb funcions i usos específics.
- Resta de RMB o segona corona: Hi conviuen capitals comarcals, àrees de concentració industrial, etc. Mantenen una forta relació amb Barcelona tot i tenir mercats descentralitzats.

Barcelona cal ser considerada, doncs, com un fenòmen de conurbació, amb l'establiment d'una àrea metropolitana, conformada per diverses poblacions en un concepte de ciutat contínua en extensió. En aquest sentit, s'evidencia la necessitat de desenvolupar un model integrat de territori, amb estratègies comunes pel que fa a aspectes com la mobilitat.

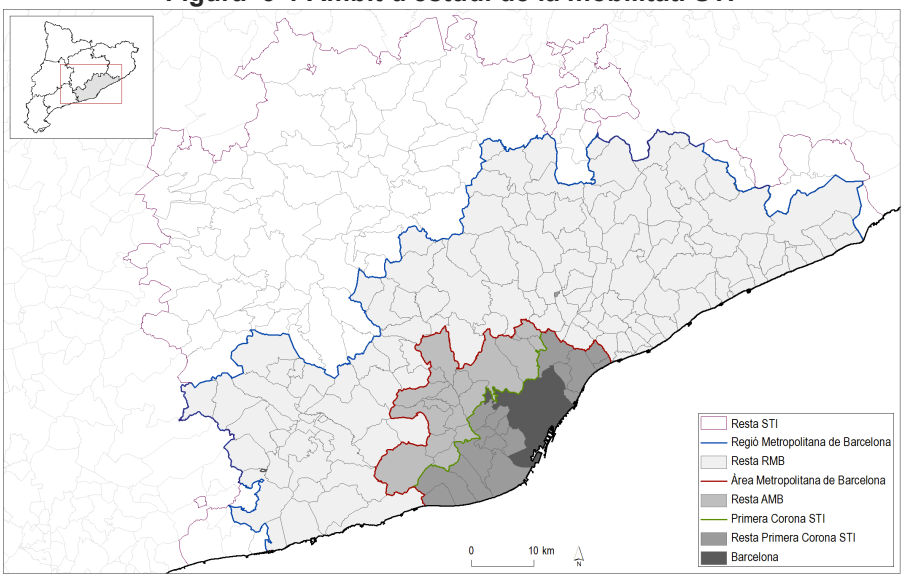
Per a determinar els patrons de mobilitat a la Regió Metropolitana de Barcelona, ens basem amb diferents anàlisis i enquestes de mobilitat obligada que es realitzen anualment. La més indicada per extreure dades és la Enquesta de Mobilitat de Dia Feiner (EMEF), de l'any 2014 (IERMB, 2014). No obstant, la consideració d'anys anteriors ens proporciona la base per interpretar tendències

de mobilitat en l'àrea de Barcelona. (IERMB, 2011-2012-2013).

Altres fonts que es poden consultar són la d'aforaments de les carreteres, que permeten conèixer el volum de trànsit, així com calcular el volum de mobilitat tan de persones com de mercaderies any rere any. A més, també podem utilitzar les dades del parc de vehicles, mitjançant les matriculacions i els vehicles ja en circulació. A mode d'incís, l'índex de renovació del parc de vehicles ha estat del 10% aproximadament durant els anys de prosperitat econòmica, i proper al 7% en anys de crisi.

A partir d'aquest punt ens basarem en les dades del EMEF 2014, que centra l'àmbit d'actuació en el Àmbit del Sistema Tarifari Integrat. Cal remarcar que el 2014 és el primer any en que la mobilitat, per part de l'administració catalana, és ampliada fins al STI, essent abans tan sols la RMB. L'ampliació es deu al augment de sinèrgies amb la focalitat de Barcelona i els voltants, expressat en els desplaçaments que es produeixen en la zona.

**Figura 3-1 Àmbit d'estudi de la mobilitat. STI**




***Font: PMU 2013-2018***

A la STI es produeixen 17.4 milions de desplaçaments en dia feiner, que engloben els de mobilitat ocupacional, la mobilitat personal i els trajectes de tornada a casa. En efecte, la mobilitat per motius personals representa el 38,3% dels desplçaments (6,6 milions), duplicant la mobilitat per motius de feina i estudis de 17,4% (3.1 milions). La resta de desplaçament són els de tornada, amb un 44,3% (7.7 milions).

Però no només interessen els valors absoluts de desplaçament diaris, sinó el mode de transport emprat per a fer aquest desplaçament. Així, el desglossament de la mobilitat en la RMB segons mode es mostra a continuació.

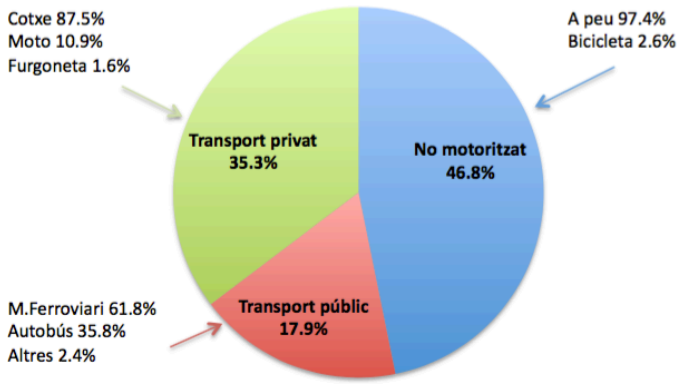
**Taula 3-1 Desplaçament en la STI segons el mode de transport emprat**

| Mode de transport | Desplaçaments(%) | Subgrup | Desplaçament(%) |
|---|---|---|---|
| No motoritzat | 8.141.651 (46.8%) | A peu | 97.4% |
| | | Bicicleta | 2,6% |
| Transport públic | 3.111.281 (17.9%) | M. ferroviaris | 61.8% |
| | | Autobús | 35.8% |
| | | Altres | 2.4% |
| Transport privat | 6.126.955 (35.3%) | Cotxe | 87.5% |
| | | Motocicleta | 10.9% |
| | | Furgoneta | 1.6% |

***Font: Elaboració pròpia, basat en EMEF 2014***

A partir d'aquest punt, és més senzill usar un gràfic sectorial, per a poder veure visualment el pes de cada un dels modes de transport i així fer una millor interpretació dels resultats.

**Figura 3-2 Quota sectorial de transport segons mode de transport emprat**




***Font: Elaboració pròpia***

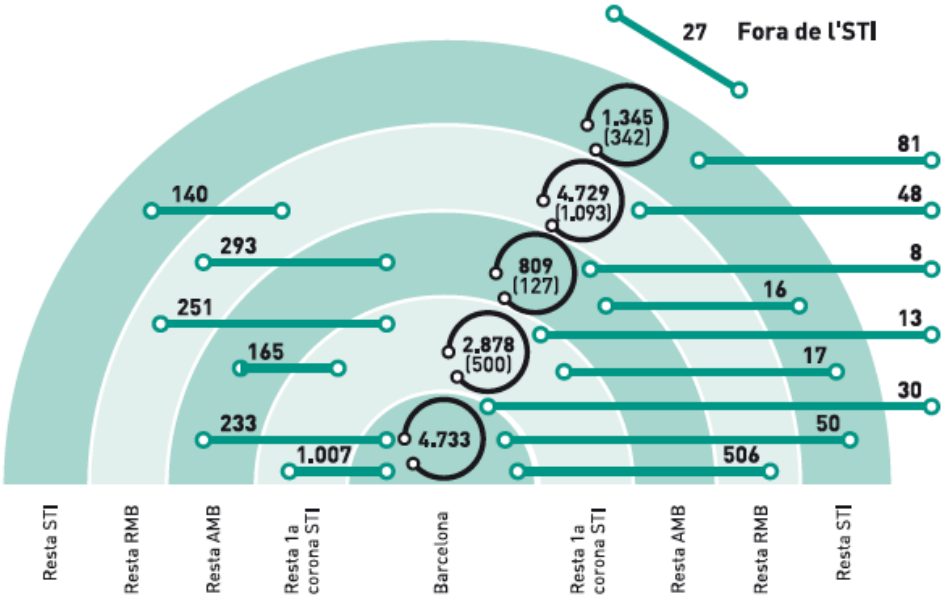
Pel que fa als modes de transport emprats, s'observa una tendència més alta en l'ús del vehicle privat (VP) als entorns no metropolitans, ocasionada per una ofera inferior de transport públic. En canvi, en la centralitat de ls RMB, el VP perd quota de mercat davant del transport públic, per l'existència d'una major infraestructura.

En relació als quilòmetres recorreguts en els desplaçaments, s'observa un elevat grau d'autocontenció comarcal, és a dir, els desplaçaments es mantenen dins la comarca en la que s'inicien. Dins de la RMB, el 96,9% són autocontinguts. Aquest fet de reduïdes distàncies és molt important, ja que viabilitza l'ús del vehicle elèctric quan el transport públic col·lectiu no resulta competitiu. Amb el tipus de desplaçaments i la distribució d'aquests en el territori, fan que la STI resulti

atractiva per a la implantació del vehicle elèctric

El gràfic següent, extret del EMEF 2014, mostra els fluxos interns i entre àmbits en la STI i es pot observar clarament el grau de autocontenció dels desplaçaments.

**Figura 3-3 Fluxos interns i entre àmbits en la STI**




***Font: EMEF 2014***

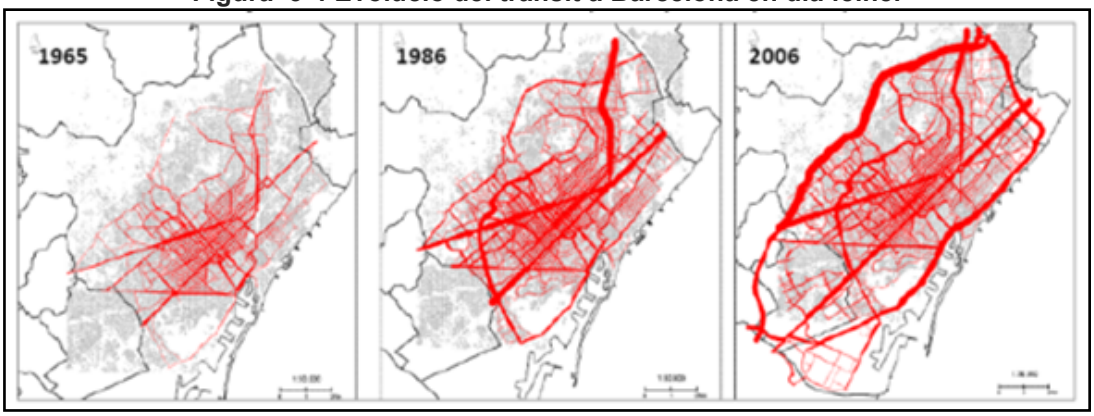
## 3.2. La mobilitat a Barcelona

Barcelona, com a capital econòmica i administrativa, atreu el major nombre de desplaçaments i té les majors infraestructures de mobilitat de l'entorn català. Abans de presentar les dades relatives a la demanda de mobilitat, amb el seu repartiment modal o els orígens-destinacions dels desplaçaments, cal comprendre el context migratori i el conseqüent augment de la mobilitat.

En els últims anys, la població de Barcelona ha vist disminuir el número d'habitants de la ciutat, segons dades del Idescat, degut a una migració al entorn perifèric més inmediat de la ciutat. Aquest entorn perifèric, que correspon a la zona fora del límit municipal, queda englobat dins de la denominada STI.

Aquest flux a les zones perifèriques més properes al nucli de Barcelona es deu a nombrosos aspectes socioecòmics, entre els que es troben la relocalització de l'activitat comercial i de serveis en les corones perifèriques, la millora en les vies de comunicació i la major oferta de transport públic, així com per l'encariment de l'habitatge en el centre ciutat. Com a consequència, s'ha produit una expansió de la població al llarg d'un territori més extens, fet que ha desembocat en un augment dels desplaçaments entre la ciutat i els municipis propers a aquesta.(AEB, 2010)

**Figura 3-4 Evolució del trànsit a Barcelona en dia feiner**




***Font: PECQ, 2010***

Un cop en context, procedim a l'exposició de les dades de mobilitat de Barcelona. Com a eines principals, ens basarem en el EMEF 2014 i el Dades Bàsiques de Mobilitat 2014 (DSM, 2014), ambdós referents a la ciutat de Barcelona. En relació al EMEF 2014, aquest es basa en enquestes realitzades per l'Institut d'Estudis Regionals i Metropolitants de Barcelona (IERMB). Pel que fa el Dades Bàsiques 2014, és elaborat pel Servei de Mobiitat de l'Ajuntament de Barcelona, dins el marc del PMU, a parti de fonts de l'administració i d'altres organismes prestadors de serveis (B:SM, Saba, etc). S'analitzaran les dades referents als últims anys, per observar tendències. (DSM, 2011-2012-2013)

### 3.2.1. Mobilitat a Barcelona segons tipus de desplaçament

Primerament, cal fer la distinció entre desplaçaments de connexió i desplaçaments interns. Els desplaçaments de connexió, on Barcelona tan sols és el punt d'inici o final, en un dia feiner sumen 1.83 milions de desplaçaments. Aquest valor que representa el 27.9% dels deplaçaments que es produeixen a Barcelona. Els desplaçaments interns, és a dir, amb inici i final dins de la ciutat de Barcelona, sumen 4.73 milions de desplaçaments, representant el 72.1% del total de desplaçaments. En definitiva, a Barcelona es produeixen aproximadament 6.5 milions de desplaçaments en dia feiner.

Aquests valors, de gran importància alhora de determinar quin tipus d'infraestructures són les més adients o quines estratègies cal adoptar, són de major ajuda si estan contextualitzats en el temps. Per aquesta raó, hem compilat la següent taula, en la que es mostren les relacions entre desplaçaments interns i de connexió en els últims anys.

**Taula 3-2 Tipus de desplaçament a Barcelona en dia feiner**

| Tipus de deplaçament | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|
| Connexió | 1.75M (26.3%) | 1.73M (25.8%) | 1.76M (26.3%) | 1.83M (27.9%) |
| Intern | 4.90M (73.7%) | 4.97M (74.2%) | 4.93M (73.7%) | 4.73M (72.1%) |
| **TOTAL** | 6.65M | 6.7M | 6.69M | 6..56M |

***Font: Elaboració pròpia***

De les dades compilades, podem extreure diversos detalls. A grans trets, podem observar en els últims anys poca variació en relació al nombre de trajectes o en la proporció entre desplaçaments interns i de connexió. Tanmateix, cal notar que en el 2014 es van produir gairebé 130000 desplaçaments diaris menys, que suposa una disminució del 2% respecte l'any anterior. Per altra banda, el 2014 observem un repunt de 2% dels desplaçaments de connexió respecte els anys anteriors.

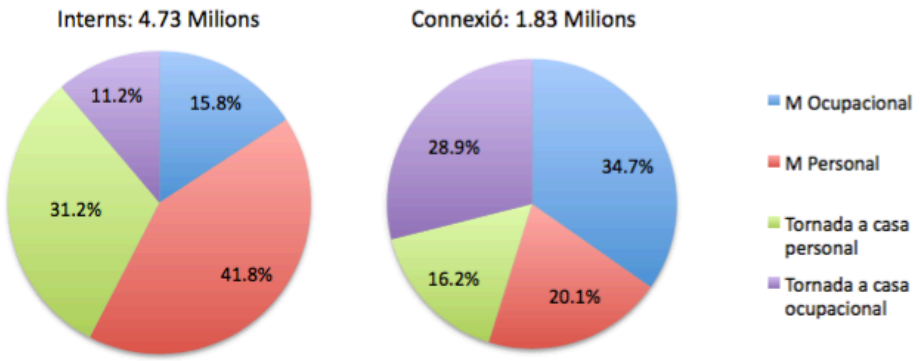
Tot i les petites variacions experimentades, degudes també al possibles errors en el mostreig, mostren que els hàbits de desplaçament són força estables i poden ser, conseqüentment, predits per anys vinents.

### 3.2.2. Mobilitat a Barcelona segons el motiu del desplaçament

Tal com ja s'ha realitzat amb el conjunt de l'entorn metropolità, podem segmentar els desplaçaments dins de la ciutat de Barcelona segons el seu motiu. D'aquesta manera, podem determinar amb major precisió els hàbits de transport dels residents de Barcelona i municipis del voltant. De fet, un major coneixement de les pautes de mobilitat conduirà a proposar iniciatives més òptimes per als ciutadans, conseqüents amb els motius que regeixen el seu desplaçament.

Les dades referents al motiu del desplaçament, i segregades entre desplaçaments interns i de connexió, es mostren en el gràfic següent:

**Figura 3-5 Motiu del desplaçament, segregat entre tipologia de desplaçament**




***Font: Elaboració pròpia***

Observem que en els desplaçaments de connexió la motivació predominant és la de mobilitat ocupacional, relacionada amb el treball, que representa gairebé el 35% dels desplaçaments. En canvi la mobilitat personal només representa un de cada cinc desplaçaments.

Contràriament, la mobilitat personal és el motiu predominant en els trajectes interns, que doblen el rati fins al 40% dels desplaçaments. Per altra banda, la

mobilitat ocupacional baixa dràsticament la seva quota en els desplaçaments interns, representant el 16% dels trajectes.

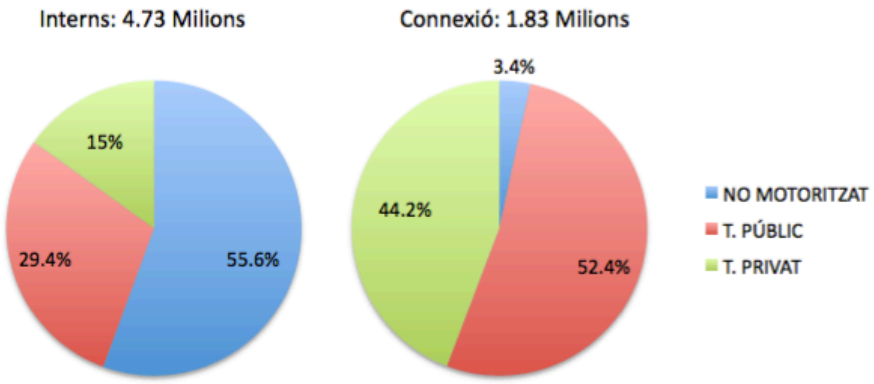
### 3.2.3. Mobilitat a Barcelona segons el mode de transport

A continuació, ens dediquem a desglossar els desplaçaments amb focus Barcelona, segons el mode de transport emprat en el desplaçament. En aquest sentit, cal determinar si el desplaçament es realitza amb mitjà no motoritzat, si bé és amb transport públic o bé en vehicle privat.

La raó de la segmentació és per posteriorment poder determinar quin és el mercat potencial d'usuaris de vehicles elèctrics. Per exemple, si coneixem el número de vehicles privats que es desplacen diàriament a Barcelona i rodalies, podem estimar el número de vehicles elèctrics que es podrien implantar en el parc de vehicles, si es mantinguéssin els altres valors de transport públic i de transport no motoritzat.

A continuació disposem de les dades referents al mode de transport emprat segons si són desplaçaments interns o de connexió:

**Figura 3-6 Mode de transport emprat, segregat per tipologia de desplaçament**




***Font: Elaboració pròpia***

Complementàriament, ens interessa veure les tendències associades a la tria de mode de transport pels desplaçaments. En aquest sentit, realitzem la comparativa amb els resultats de l'any anterior (2013). L'objectiu és veure la progressió, així com poder entreveure possibles tendències.

La comparativa del repartiment modal és la següent:

**Taula 3-3 Comparativa 2014 2013 de quota dels modes de transport a Barcelona**

| | Intern | | De connexió | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Repartiment modal** | **2014** | **2013** | **2014** | **2013** | **2014** | **2013** |
| No motoritzat | 55.6% | 57.4% | 3.4% | 3.9% | 41.1% | 43.3% |
| Transport públic | 29.3% | 27.6% | 52.4% | 53.9% | 35.7% | 34.5% |
| Transport privat | 15.0% | 15.0% | 44.2% | 42.2% | 23.2% | 22.2% |

***Font: Elaboració pròpia***

S'observa que en els desplaçaments interns el mode predominant és el no motoritzat, que engloba el 55% dels desplaçaments. De fet, ha anat guanyant terreny en els últims anys, especialment la bicicleta amb un 148% d'augment en respecte a la seva quota el 2006. Tot i la progressió del mode no motoritzat, quan ens fixem en els desplaçaments interns constatem un canvi, tot i poc acusat, de pas de mode no motoritzat a transport públic en el temps. Aquest fet, tot i lluny encara de ser tendència, pot ser produït per una constant millora de la xarxa de transport públic, amb l'augment de freqüències i estacions. Paral·lelament, el vehicle privat queda relegat a un 15% de quota, enmig d'una plausible tendència a baixar de forma acusada en els propers anys.

Aprofundint una mica més, les distàncies mitjanes de desplaçament dins del municipi de Barcelona en un dia feiner són de 6 km en vehicle privat, mentre que pel transport públic són significativament inferiors, de 3.3 km en el cas del autobús i de 5.2 km pel cas del metro.

En relació als desplaçaments de connexió, denotem la escassa importància dels modes no motoritzats, ja que les distàncies augmenten i l'impossibiliten en molts casos. Si ens fixem en els altres modes de transport, observem un repartiment força igual entre vehicle privat i transport públic, essent el segon més important en nombre de desplaçaments. Tanmateix, cal notar que el tranport privat ha vist augmentar la seva quota en l'últim any en detriment del transport públic. Això pot ser degut a la manca d'infraestructures òptimes en les corones de de la RMB, que fan optar als usuaris al ús del vehicle privat.

## 3.3. Parc mòbil de Barcelona

El parc mòbil d'una ciutat és vital a l'hora de poder elaborar mesures relacionades amb la mobilitat. Per a poder fer un inventari del parc mòbil de Barcelona, segmentat per tipologia de vehicle, hem utilitzat les fonts del Departament d'Estadística del Ajuntament de Barcelona. (DEAB, 2016)

Com a aspecte a destacar, la metodologia que es va seguir per a compilar l'inventari de vehicles va canviar l'any 2013, fet que provoca uns canvis substancials en els valors obtinguts.

**Taula 3-4 Inventari del parc mòbil a la ciutat de Barcelona**

| VEHICLES | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 |
|---|---|---|---|---|
| Total | 916522 | 914511 | 968332 | 976345 |
| Turismes | 564700 | 564194 | 584848 | 591733 |
| Motos | 207573 | 203414 | 213875 | 210328 |
| Ciclomotors | 60758 | 63275 | 82743 | 85405 |
| Furgonetes | 42869 | 41875 | 29810 | 31831 |
| Camions | 21171 | 22044 | 25094 | 26111 |
| Altres vehicles | 19451 | 19709 | 31962 | 30937 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en informació extreta Departament d'Estadística del Ajuntament de Barcelona***

Donat el canvi de metodologia a l'hora de realitzar els estudis, les dades històriques han de ser utilitzades amb cura si volem extreure conclusions. No obstant, queda palesa una disminució del parc mòbil a la ciutat de Bacelona. Aquesta disminució, d'apoximadament un 7% en el total dels vehicles, afecta a tots els segments del parc mòbil.

Percentualment, el col·lectiu que ha patit la disminució més significativa ha estat l'anomenat "Altres vehicles". Dins dels "Altres vehicles", hi trobem els vehicles articulats, els autobusos, autocars, remolcs i tractors.

Aquesta disminució en els últims anys contrasta amb el històric d'anys anteriors, en època pre-crisi econòmica, on es van assolir les majors quotes de vehicles matriculats a Barcelona, especialment de motos.

## 3.4. Barcelona i el vehicle elèctric

L'Ajuntament de Barcelona, seguint les iniciatives marcades per la Generalitat de Catalunya en plans com el IVECAT o el PECAC, ha apostat per fomentar l'implantació del vehicle elèctric a nivell empresarial i particular.

Per a fomentar l'ús, l'ajuntament ha impulsat diferents proves pilot, com la incorporació a la seva flota de vehicles d'alguns de tipus elèctric. En efecte, l'ajuntament té una flota de més de 300 vehicles elèctrics, per donar resposta a serveis com el de la neteja o el del manteniment del enllumenat. (STAC, 2016)

En relació als autobusos i taxis, tot i que el consistori ha intentat convertir-los tots en elèctrics, la implantació no és senzilla. S'està fent una prova pilot, amb resultats prometedors, en busos elèctrics actualment a Barcelona. Pel que fa els taxis, ja hi ha nombrosos professionals que han optat per vehicles híbrids, com el Toyota Prius.

Juntament a les mesures ja esmentades, en els últims anys s'han instal·lat per tota la ciutat diferents punts de recàrrega. Per a poder veure l'històric d'instal·lacions de punts de càrrega, així com el número de punts actuals, hem compilat la següent taula, que resumeix la quantitat de punts segons si són soterranis o en superfície.

**Taula 3-5 Punts de recàrrega a Barcelona, segregats per localització**

| Punts de càrrega | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 |
|---|---|---|---|---|
| Soterranis | 203 | 131 | 127 | 121 |
| Superfície | 128 | 132 | 121 | 63 |
| **TOTALS** | 331 | 263 | 248 | 184 |

***Font: Elaboració pròpia, basat en Dades Bàsiques de mobilitat 2011-2014***

Com podem observar, l'any 2014 Barcelona gaudia de 331 punts de càrrega. D'aquests, la gran majoria (313) són de recàrrega convencional, mentre que la recàrrega semiràpida i la ràpida segueixen tenint un grau molt baix d'implantació (10 i 8 respectivament).

El clar augment en les instal·lacions de punts de càrrega respon a la estratègia política de foment del vehicle elèctric en el àmbit particular. Segons fonts pròpies del Ajuntament de Barcelona, inicialment es van instal·lar els punts de recàrrega sense un clar estudi de planificació, sinó responent a les necessitats d'alguns particulars. Es creu que la mala disposició dels primers punts de càrrega pot haver influit en la poca implantació del VE.

En el àmbit particular, la poca acceptació inicial pot haver estat deguda a l'elevada inversió inicial, a la inseguretat laboral i econòmica de la època actual, o bé a un simple desconeixement, per part dels usuaris, de les tecnologies darrere aquest tipus de vehicles.

**Figura 3-7 Punt de recàrrega per a motos. Vehicle elèctric de flota pública**

***Fonts: http://forococheselectricos.com/2015/10/madrid-limitara-motos-contaminacion.html***
***http://www.stac.cat/barcelona-sendolla-al-vehicle-electric/***

En relació a l'autoria de la instal·lació de punts de càrrega, cal destacar la labor de finançament per part del Projecte Movele (Projecte gestionat i coordinat pel IDAE), que cerca la introducció del vehicle elèctric en entorns urbans, així com la instal·lació de punts de recàrrega per a demostrar la viabilitat del mode de transport i impulsar el seu ús.(MOVELE, 2015)

La xarxa de punts de càrrega de Barcelona respon a un model obert, on diferents proveïdors implanten les seves tecnologies. Un centre de control municipal garanteix la interoperabilitat dels diferents sistemes, habilitant als usuaris a usar

qualsevol punt. Companyies com Endesa i Iberdrola estan apostant per crear noves formes de càrrega i ampliar així l'oferta actual. Al seu torn, nombroses empreses especialitzades en gestió d'estacions de càrrega, com Mobecpoint, Atomelic o Betterplace, competeixen per a establir nous estàndards per a la recàrrega.

En un futur, la majoria de les recàrregues a Barcelona s'efectuaran en els domicilis dels usuaris durant la nit. Complementàriament, l'estratègia municipal a llarg termini ha de ser la desplegar una xarxa pública focalitzada en els aparcaments soterrats públics o de concessió, reservant els punts al carrer per a casos d'emergència i reforç. Així, companyies com Betterplace indiquen que per a cada vehicle elèctric caldrà 2,5 punts de càrrega, molt superior al 1,2 que recomanava el PECAC. Aquests 2,5 resultarien d'un en el domicili, un a la oficina o on el cotxe descansa la majoria del dia, més un parc extra de punts repartits en llocs estratègics de la ciutat.

## 3.5. Situació mediambiental

En consideracions ambientals, es distingeixen dos categories d'impactes atmosfèrics generats per les emissions de vehicles, uns d'influència global (on queden inclosos els gasos d'efecte hivernacle), i els gasos d'efecte local. En aquest cas ens centrarem en els gasos d'efecte local, ja que influeixen més a l'estat i qualitat de l'aire a Barcelona. Entre els gasos locals, trobem:

- Òxids de nitrogen ($NO_X$)
- Monòxid de Carboni (CO)
- Ozó ($O_3$)
- Material Volàtil (PM)

A continuació, mostrem els valors mitjans de contaminació dels diferents compostos citats, en dades històriques que permeten desentrellar tendències en relació a la qualitat de l'aire a Barcelona.

**Taula 3-6 Valors mitjans de contaminació a Barcelona en els últims anys**

| Contaminació | Valor Límit | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 |
|---|---|---|---|---|---|
| PM 10 ($\mu g/m^3$) | 40 | 25 | 25 | 32 | 34 |
| $NO_2$ ($\mu g/m^3$) | 40 | 39 | 40 | 44.1 | 48 |
| $O_3$ ($\mu g/m^3$) | - | 46 | 47 | 44.1 | 40 |
| CO ($\mu g/m^3$) | - | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 |

***Font: Elaboració pròpia, extret de Dades Bàsiques de Mobilitat 2011-2014***

En el cas de Barcelona, la presència de PM10 i $NO_2$ ha anat disminuint amb els anys, essent la reducció de més del 20% respecte el 2011. Aquest fet es deu a la menor presència de vehicles pesants en l'interior de la ciutat. Contràriament, les quantitats de ozó han augmentat en més d'un 10%, afavorides per les condicions

atmosfèriques inherents a la ciutat i l'activitat industrial.

Però no només cal saber els valors mitjans de la ciutat, sinó també cal fixar-nos en els episodis en els que s'ha registrat un valor de contaminació per sobre del llindar estipulat en la normativa. En aquest sentit, i centrant-nos en el 2014, en 27 ocasions es va enregistrar valors superiors al 50$\mu g/m^3$ de PM10, 5 cops es va superar la fita de 200 $\mu g/m^3$ de $NO_2$ i en 13 ocasions es va superar el llindar de 120 $\mu g/m^3$ de $O_3$. Seguint les tendències vistes abans, els episodis per sobre de la normativa han disminuit en els casos de PM10 i $NO_2$, mentre que l'ozó ha augmentat en episodis.(AEB, 2010)(DTS, 2015)

## 3.6. Projeccions

Per últim, realitzem un resum de les perspectives en relació a la mobilitat de Barcelona, i especialment en l'àmbit del vehicle elècrtic i la seva implantació.

Degut al poc èxit inicial, s'ha constatat que a curt termini la ciutat ha de planificar d'una forma més racional i estratègica la instal·lació de punts de recàrrega, així com seguir potenciant l'ús de vehicles elèctrics en les flotes de vehicles municipals. A més, com s'explica en el PECAC (amb horitzó el 2020), s'ha d'enfocar la mobilitat elèctrica en la seva totalitat, intentant reduir en tots els segments del transport l'ús del gasoil, mitjançant polítiques d'introducció de noves tecnologies, com la moto elèctrica o híbrida endollable, flotes de bicicletes elèctriques, etc.

Un projecte destacat a Barcelona per a afavorir l'apropament i el coneixement del VE és l'iniciativa impulsada per Live Barcelona. En aquesta iniciativa, l'objectiu es posicionar la ciutat com un HUB d'innovació, foment i desenvolupament de la mobilitat elèctrica.

A nivell municipal, s'estan desenvolupant mesures per fomentar l'ús, com la reducció de l'impost de circulació per a VE, l'oferiment de gratuïtat d'aparcament en certes zones de la ciutat, o instal·lant punts de càrrega en aparcaments públics de la ciutat.

Per últim, cal comentar el concepte de Smart-Grid, que possiblement revolucionarà la forma en que entenem les xarxes de serveis urbans. La Smart-Grid, tal com el seu nom indica, és el concepte de xarxes de gestió intel·ligents, encarregades de la distribució d'electricitat de forma més òptima. Aquests sistemes, que els experts creuen que seran implantats en les ciutats en els propers anys, permeten mitjançant tecnologia informàtica optimitzar la producció i la distribució d'energia a fi d'equilibrar millor la oferta i la demanda entre productors i consumidors. Aquest tipus de xarxes tindran especial importància en les recàrregues a nivell particular, ja que permetran al usuari fer major o menor captació d'energia depenent de la franja horària, així com anticipar millor les necessitats futures, etc.

Paral·lelament, caldrà tenir implantats els sistemes de Vehicle-to-Grid (V2G) per a permetre que el vehicle aboqui l'energia sobrant al sistema en els moments de més demanda. Aquest tipus de sistemes ja han estat provats amb èxit a paisos nòrdics, en els que l'estat compra al usuari de VE l'energia que no consumeix en determinades franges horàries.(KEMPTON, 2008)

# 4. Anàlisis Cost-Benefici de l'implantació del VE a Barcelona

## 4.1. Introducció al ACB

En el context actual, les inversions en infraestructures i serveis de transport s'han vist reduïdes, especialment degut a la disminució dels recursos disponibles per a posar-les en marxa. En aquest sentit, cal dotar-nos d'una eina que ens permeti fer una utilització eficient dels recursos, tenint en compte els costos d'oportunitat i alternatives al projecte i el benefici social que l'actuació pot aportar.(CENIT, 2015)

De la necessitat d'una eina que englobi alternatives i optimitzi la presa de decisions, apareix l'anàlisi cost-benefici (ACB). Clau en la planificació i gestió d'infraestructures, garanteix un correcte ús dels recursos, prioritza i aporta solucions socialment beneficioses, alhora que permet valorar possibles modificacions i obtenir feedback per futurs projectes.

Un aspecte vital per al ACB, és que no només planteja l'eficiència econòmica del projecte, sinó que també hi inclou les externalitats derivades d'aquest en els diferents agents implicats. En efecte, el ACB pot quantificar quines mesures compensatòries caldrà establir per a viabilitzar alguna de les propostes, així com esmorteïr possibles impactes negatius.

A mode d'incís, un ha de distingir entre el paper del ACB davant d'un altre estudi conegut, l'anàlisi financer. Al contrari que el financer, l'ACB té per objectiu determinar la contribució d'un projecte al benestar de la societat que es veurà afectada per l'aparició del projecte. Resulta necessari aplicar factors de valoració dels costos i beneficis, per tal de poder reflectir el seu cost d'oportunitat social, apart d'integrar les externalitats en el còmput global.

Un cop explicat a grans trets el que significa un anàlisi ACB, podem particularitzar-lo en el projecte que ens hem proposat: l'implantació del vehicle elèctric a la mobilitat de Barcelona. En el nostre cas, l'ACB serà una eina bàsica per a pendre decisions respecte a la viabilitat d'implementar mesures per al VE, així com ajustar alguns dels criteris per aportar el màxim benestar al conjunt de Barcelona.

En definitiva, el nostre anàlisi cost-benefici constarà de les següents fases:

- **Definició del projecte**: on es realitza una breu explicació de les necessitats actuals de VE, es detecten les alternatives d'implementació rellevants i l'escenari sobre el que es valorarà els beneficis de cada una d'elles.

- **Definció dels agents implicats**: es determina qui pot quedar afectat per les actuacions derivades del projecte d'implementació.

- **Avaluació d'impactes**: es quantifiquen els costos i beneficis que aporten els diferents escenaris, i es segreguen entre els agents implicats.

- **Interpretació:** a partir dels resultats obtinguts, es prenen les decisions corresponents a la viabilitat i a la possible execució del projecte.

## 4.2. Definició del projecte

El nostre projecte és el de l'implementació del vehicle elèctric a la mobilitat de Barcelona. Per aquest motiu, entenem que l'actuació es basa en la modificació de la situació actual de desplaçaments i parc mòbil, encaminant el mode de transport cap a un model energèticament més sostenible. Aquest canvi comportarà uns nous costos i beneficis, que afectaran en graus diferents als agents implicats.

Actualment, ens trobem en una cojuntura d'augment de les emissions i empitjorament de la qualitat de vida arran del agreujament del medi ambient. No només això, la excessiva dependència dels recursos no renovables, i la manca d'incentius per a revertir aquesta situació, condueixen a la societat cap a una obsolescència de model energètic i un empitjorament del benestar.

Davant d'aquesta situació, es valora la possibilitat de canviar el sistema de transport, per a fer-lo no només més eficient sinó també més beneficiós pel medi ambient. En aquest sentit, una intervenció en el mode de transport emprat pot esdevenir una clara millora del benestar social respecte el que la societat està actualment experimentant.

Així doncs, existeix una necessitat d'implementar mesures com el vehicle elèctric al territori català. Seguidament, tot ACB necessita d'uns objectius clars a seguir per poder determinar l'impacte final en el benestar social. Tots els objectius ja han estat desenvolupats anteriorment, en el apartat d'estratègies d'impuls del vehicle elèctric a Catalunya i en la mobilitat a Barcelona. Tanmateix, poden quedar resumits en: millora del sistema de transport actual de Barcelona, renovant el parc de vehicles per vehicles elèctrics, reducció de les emissions de gasos contaminants, així com de contaminació acústica i residus i augment del benestar del ciutadà de l'entorn metropolità de Barcelona.

Com a apunt, és vital que els objectius que es marquin en un ACB segueixin el concepte SMART, és a dir, que siguin objectius específics, mesurables, abastables, rellevants i delimitats en el temps.

Com s'ha vist, en el procés de millora del sistema de transport, s'ha optat per l'alternativa del vehicle elèctric com a la més viable. Nogensmenys, en un àmbit més ampli, ens podríem plantejar altres mesures (relacionades amb d'altres modes de propulsió o d'altres tecnologies), per abordar la necessitat de canvi de model energètic, així com de la crisi ambiental. Per exemple, en aquest cas s'ha decidit potenciar especialment el segment del vehicle privat. En canvi, una altra

alternativa hauria estat el potenciament solsament del transport públic, fet que comportaria un seguit diferent de restriccions i consideracions.

Per últim, cal que fixem diferents escenaris que es poden produir davant de l'implementació del vehicles elèctric. En el nostre cas, s'ha decidit estudiar per separat els següents escenaris:

- **No fer res**: S'assumeix que no es realitza cap actuació, i conseqüentment el parc de vehicles actuals es manté en el temps. En aquest cas, la presència de vehicle elèctric és gairebé nul·la.

- **Previsions del PECAC**: Aquest escenari es basa en les condicions expressades pels estudis realitzats, que auguren que un 10% del parc mòbil serà elèctric.

- **Canvi de mode de transport**: Escenari en el que el 100% del parc mòbil que es desplaça per la ciutat de Barcelona és elèctric.

Amb aquests tres escenaris diferenciats, el ACB ens permetrà veure les repercussions que poden tenir les mesures per implantar el VE a la regió metropolitina. A més, ens ajudaran a donar resposta a quin ha de ser el repartiment òptim de quota de vehicles, entre elèctrics i convencionals, per a millorar la qualitat del aire, sense comprometre l'inversió tant dels usuaris com de l'administració.

## 4.3. Identificació d'agents implicats

Tot projecte representa una modificació dels costos i beneficis que experimenten els agents implicats en el sistema. Aquests agents poden ser l'administració, companyies privades, usuaris, etc.

A més, els objectius dels agents poden ser diferents. L'administració pública pot buscar maximitzar el benefici social, mentre que l'usuari es pot centrar en minimitzar els costos que se li imputen. En aquest sentit, determinar correctament els agents implicats resulta vital a l'hora de quantificar i prioritzar els costos i els beneficis derivats de l'implementació d'un projecte.

En el cas de la implantació del vehicle elèctric a Barcelona, els tres agents implicats són:

- **Administració pública**: propietària dels aparcaments i encarregada de gestionar la mobilitat a la ciutat de Barcelona. Finança parcialment el projecte, a través del pagament de les infraestructures de recàrrega i la cessió de terrenys, així com pels incentius i subvencions al ús d'aquest tipus de vehicle.

- **Usuaris**: propietaris dels vehicles elèctrics, són els principals implicats davant de l'implementació d'aquest tipus de vehicle. A més, podem distingir

entre els que ja posseeixen VE dels que seria el seu primer vehicle si el projecte es duu a terme. En aquest sentit, es poden definir tants subgrups dins dels usuaris com sigui rellevant per la presa de desicions.

- **Societat**: és el conjunt de la població que es veurà afectada per les externalitats resultat de l'implementació el vehicle elèctric. En general queden implicats en aspectes com la contaminació, l'agument del benestar, etc.

Com a incís, els agents implicats no tenen perquè ser excloents, és a dir, que estan possibilitats a participar de diferents formes dins el projecte, i els costos i beneficis que se'n deriven es poden especificar per cadascun d'ells. Apart d'això, cada grup es pot segmentar en més detall, i la conveniència dels nivells d'estudi dependrà de les seves necessitats específiques.

## 4.4. Identificació costos-beneficis i mètodes de quantificació

En aquest apartat es realitza una classificació dels costos i beneficis que cal incloure en el ACB. A més, s'explica la metodoloiga per quantificar el cost-benefici de cada un d'ells, destacant-ne els trets principals i les consideracions oportunes. Posteriorment, es generarà una matriu d'agents-impactes, en la que poder correspondre a cada agent implicat els seus costos-beneficis associats.

Val a dir que els elements estudiats fan referència als mateixos aspectes, tant des de la vessant del vehicle convencional de combustió interna com pel vehicle elèctric. Els elements en qüestió són:

- Relacionats amb el vehicle
- Relacionats amb l'aparcament
- Relacionat amb les infraestructures per al ús
- Relacionats amb la demanda energètica

Més endavant, es realitza un estudi de les externalitats generades per cada un dels modes de transport, per a poder quantificar aspectes com la contaminació atmosfèrica, o l'excedència de residus.

Entre els aspectes que s'analitzen, la tipologia dels costos varia. Alguns es basen en costos d'inversió, que inclouen la construcció d'infraestructures, l'adquisició d'equips i materials per a la prestació del servei de recàrrega, etc. D'altres són costos operatius, és a dir, que es deriven de l'utilització i generalment tenen una component variable en relació a la demanda o el temps d'operació. Per últim, també ens trobem amb costos de manteniment, que es determinen segons la vida útil entre d'altres elements.

### 4.4.1. Relacionats amb el vehicle

- **Compra**

La compra del vehicle representa un dels aspectes més definitoris dins dels costos que se li imputen al usuari. En aquest sentit, el preu que tingui el vehicle serà de cabdal importància, i podrà requerir d'ajudes per part de la administració, si s'escau.

Pel que fa el vehicle convencional, el cost d'un vehicle utilitari mitjà de combustió interna comparable en prestacions al que pot oferir un vehicle elèctric, és força inferior.(XATAKA, 2016) Per a poder determinar un preu a la compra del vehicle, ens basem en les dades de matriculació de vehicles utilitaris del 2015 i en els seus preus.

Així, l'any 2015 van tenir principal dominància del mercat de vehicles urbans el Seat Ibiza, el Volkswagen Polo, el Opel Corsa i el Renault Clio. Aquests vehicles, amb diferents configuracions i preus, tenen com a valor de compra entre 10000-15000 euros. Si utilitzem una ponderació amb les matriculacions, obtenim que el preu mig d'un utilitari és de 12500€. A aquest valor cal sumar-li el impost de matriculació, que farà que el preu total del vechicle sigui de 13500€. Aquest serà el preu que utilitzarem en el nostre estudi.

Pel que fa el vehicle elèctric, el preu de compra és força més elevat. Models com el Nissan Leaf, per exemple, costa 35950€, o un Renault Ampera/Volt supera els 42000€. Tot i així, hi ha models més econòmics en el mercat, fet que disminueix el cost mig d'adquisició. Com ja hem vist en l'apartat d'estratègies i impuls del vehicle elèctric a Catalunya, les institucions públiques han marcat com a preu objectiu els 30000€ per VE en els seus estudis. (BORDAS, 2011)

Tanmateix, tot i el preu més elevat, el VE rep nombroses ajudes a la compra. Les persones que optin per cotxe elèctric podran beneficiar-se de fins a 8000€ en ajudes per l'automòbil. El Pla Movele i el PIMA-Aire aporten la major part de les ajudes, essent aquestes de mitjana gairebé el 85% de les ajudes totals. A més, a Barcelona l'impost de circulació per VE és gratuït, ja que aquest es basa en els valors de contaminació per emissions, fet que suposa un estalvi afegit als usuaris de VE d'apoximadament 1000€. Plans com el PIVE no han estat utilitzats en el càlcul ja que actuen tant en en VE com vehicles eficients no elèctrics.

Els costos de la compra del vehicle cal annualitzar-los. En aquest sentit, i donat que l'index de renovació del parc de Barcelona és del 10%, es considera que un vehicle tipus té una vida útil de 10 anys. Així, el cost anual serà el resultat del cost total de compra entre la vida útil del vehicle.

A mode d'incís, a mesura que les bateries disminueixin de preu i siguin més eficients, el preu total de compra del vehicle elèctric disminuirà dràsticament. Aquest fet ens fa augurar que la diferència entre preus de VCI i VE anirà disminuint en el temps, esdevenint paulatinament més competitiu el vehicle èlectric.

### ➢ Fuel vs electricitat

El consum d'energia, tant elèctrica com de combustible fòssil, és un dels costos operatius del nostre vehicle. En aquest sentit, és depenent del ús, expressat en els quilòmetres recorreguts, en el entorn (urbà o no) i en el nostre estil de conducció. (ENDESA, 2016)

En general, el consum promig d'un vehicle elèctric, segons Endesa, es situa entre el 14 i 19 kWh/100 km en situacions d'ús normal, així com un consum de 20 a 25 kWh/100 km en condicions més enèrgiques. Per als nostres càlculs, utilitzarem un punt mig en els consums, i el situarem en 20kWh/100km.

Utilitzant el consum anteriorment calculat, i sabent que el preu mig d'electricitat en hora vall es situa en els 0,06€/kWh, determinem un cost d'electricitat de 1.2€/100km. El cost d'electricitat per quilòmetre és de 0.012€/km.

Pel que fa el consum d'un vehicle convencional, i considerant un vehicle de 100CV i consum eficient de 5.5l/100km, el cost de gasolina seria de 7,4€/100km. En un consum urbà, menys eficient (7l/100km), el cost per gasolina seria de 9,45€/100km. En consequència, i fent mitjana entre consums, el cost per quilòmetre de gasolina es situa en 0.085€/km. Com es pot observar, el cost del vehicle convencional en energia és d'aproximadament 7 cops superior al elèctric.

Alhora de calcular el cost anual referent al consum de combustible, caldrà calcular el nombre de desplaçaments a Barcelona, tant si son de connexió com interns, i aplicar una distància promig a cada tipus de desplaçament. En relació als desplaçaments interns amb vehicle privat, que són 710480 en dia feiner, s'estima que la seva distància mitjana és de 6km. Complementàriament, els 807005 desplaçaments de connexió tenen un recorregut mig de 26 km.

Per obtenir el resultat de desplaçament intern, hem utilitzat la informació del Pla de Mobilitat Urbana 2013-2018, que estipula quina és la distància mitjana d'un desplaçament amb vehicle privat a la ciutat de Barcelona. Al seu torn, per calcular la distància de connexió, ens hem basat en els viatges més freqüents de connexió que es produeixen entre Barcelona i rodalies. Donat l'elevat grau d'autocontenció, els principals focus de desplaçaments de connexió són les comarques del Baix Llobregat, el Vallès Occidental i el Maresme. En aquest sentit, s'han ponderat les distàncies entre el centre de Barcelona i les capitals de comarca de les comarques esmentades. Així, s'obté el valor de 26 km. A mode d'exemple, Mataró es situa a 31km del centre de Barcelona.

### ➢ Manteniment

Els costos de manteniment són molt diferents entre el vehicle de combustió interna i el vehicle elèctric. Com a conseqüència, el manteniment també serà un factor determinant en el nostre anàlisi.

En general, el manteniment del vehicle elèctric és molt menys costós que el del vehicle convencional. Segons el RACC, aquesta disparitat de cost vé donada

perquè en el vehicle convenicional hi ha moltes més peces involucrades en el funcionament del vehicle que en el del VE.

Segons un estudi del Institut d'Estalvi i Diversificació Energètica (IDAE) del Ministeri d'Indústria, el manteniment d'un vehicle convencional inclou tant la reparació de possibles averies mecàniques, com el canvi de peces a causa del desgast i les revisions necessàries. En conjunt, el manteniment comporta 1825€ cada tres anys. Si annualitzem aquesta dada, tenim un cost de manteniment de 608€/any. (CONSUMER, 2016)

Pel que fa el VE, segons el PECAC i d'altres estudis d'institucions catalanes, el cost per manteniment es situarà en un 40% del cost d'un vehicle convencional. Si utilitzem aquesta dada, fruit de la reducció dràstica de peces involucrades, suposa un cost per manteniment d'aproximadament 240€/any.

- **Bateries**

Un aspecte de gran rellevància en el cost de manteniment del vehicle elèctric és el del cost de les bateries. Aquestes, no només comporten la pèrdua de prestacions, sinó que també suposen una elevada font dels costos.

En relació a les bateries i la seva adquisició, ens podem trobar amb dos casos: que l'usuari compri el vehicle complet, és a dir, inclosa la bateria, o que compri el vehicle parcialment, i llogui la bateria al fabricant mitjançant una quota mensual. En general, és més comuna la pràctica d'adquisició del vehicle elèctric al complet i, de fet, és la que hem seguit per extreure els costos d'adquisició. (ZEBLOG, 2016)(HIPERTEXTUAL, 2016)

Realment, la decisió entre comprar la bateria o llogar-la no és senzilla. En el cas de compra, tot i ser una inversió inicial més elevada, posteriorment ja no caldrà pagar una quota mensual fins que calgui la reposició. Contrariament, el preu de compra disminueix sense la bateria i, a més, la bateria sempre estarà en garantia ja que el fabricant s'hi compromet. Com a conseqüència, qualsevol deteriorament i reposició d'aquesta correrà a càrrec del fabricant.

Així doncs i per a recapitular, el cost que detallem a continuació es basa en l'assupció que els vehicles opten per adquirir la bateria, i tenen posteriorment la necessitat de resposició de la bateria durant la vida útil del vehicle. Aquesta substitució es produeix ja que la bateria perd capacitat de recàrrega, és a dir, perd part de les seves prestacions.

En general, les bateries actuals d'ió liti són molt resistens al envelliment però, indefectiblement, perden les seves propietats amb el pas del temps. La pèrdua vé condicionada pel tipus d'ús del vehicle, de la temperatura ambient, del ús de recàrregues ràpides (aquestes poden provocar una disminució dràstica de la vida útil de les bateries).

Sense perdre generalitat, les actuals bateries tenen una vida útil aproximada de 160000 km, i els fabricants solen donar garanties d'entre 5 a 7 anys. Un cop es superen aquestes fites, cal renovar la bateria, amb el cost que això suposa. A

mode d'exemple i servint com a cost de referència, el cost de substitució de la bateria del Nissan Leaf és de 5000€ (impostos inclosos), i amb la clàsula d'entregar la bateria antiga al fabricant. Un cop retornada al fabricant, aquest la podrà reciclar, o bé usar-la com a sistema d'acumulació d'electricitat per a d'altres finalitats.

Particularitzant aquest cost pel nostre cas, donats els valors de vida útil, i havent suposat que els vehicles elèctrics adquirits tindran una vida útil de 10 anys, queda pal·lès que la majoria de vehicles necessitaran canviar la bateria al llarg del seu període de funcionament. En els casos de vehicles emmarcats en els desplaçaments de connexió, les distàncies a recórrer són suficients per a necessitar un canvi de bateries. En el cas dels desplaçaments interns, pot haver alguns que no necessitin canviar la seva bateria durant la vida útil del seu vehicle ja que no arriben a fites dels 160000km. Tanmateix, el tràfic urbà o les càrregues ràpides en punts de recàrrega en via pública, entre d'altres, propiciaran el canvi de bateries en la majoria de vehicles.

Per aquesta sèrie de motius, es calcula que la totalitat de vehicles encarregats de desplaçaments de connexió necessitaran substituir la bateria, i que un 60% dels de desplaçaments interns també ho necessitaran. D'aquesta forma, el conjunt dels vehicles afectats pel cost de reposició serà de 32292 vehicles.

### 4.4.2. Relacionats amb l'aparcament

- **Preus**

Un aspecte molt important per a la mobilitat és la capactitat de proporcionar aparcament, i que aquest tingui un preu suficientment atractiu com per a estacionar, però suficientment restrictiu com per a promocionar el transport públic.

El fet d'introduir el preu del aparcament és degut a les nombroses ajudes que té el vehicle elèctric en aquest aspecte. En aquest sentit, el vehicle elèctric gaudeix de les següents ajudes a Barcelona:

- Aparcament a tarifa 0€ en tota l'Àrea Blava
- Aparcament a tarifa 0€ en tota l'Àrea Verda

Aquest aparcament gratuït és segons criteris de regulació establerts, però en cap cas permet estacionar a les places identificades per a residents amb senyalització vertical. Per a gaudir del aparcament gratuït, tan sols cal tenir la targeta acreditant vehicle elèctric i treure el tiquet en els parquímetres.(CCMA, 2016)

En canvi, per a un vehicle convencional, aparcar en una zona blava li costa 2.30€/h, amb estacionament màxim de 2 hores. En el cas de la zona verda, en dia feiner els residents paguen 0.2€/dia, i un no-resident 2€/h amb un temps màxim de 2h. Aquests valors han estat extrets de l'organisme Àrea Verda, que forma part del Ajuntament de Barcelona, i és l'encarregat de la gestió d'aparcaments en superfície a Barcelona.

Tanmateix, cal remarcar que fora de la calçada, a Barcelona hi ha comptabilitzades 562826 places d'aparcament, entre aparcaments en domicilis i públics.

Actualment, l'aparcament a la via pública està distribuït de la següent forma:

**Taula 4-1 Distribució d'aparcament en via pública**

| Zona d'aparcament | A. Blava | A.Verda | No regulat | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Nombre de places | 8850 | 39039 | 74224 | 122113 |

***Font: Dades Bàsiques de Mobilitat 2014***

Per a poder quantificar l'impacte dels aparcaments a Barcelona, cal fer un seguit d'hipòtesis i estimacions, i així obtenir un cost:

- Les places en zona blava estan ocupades en un 80% durant les hores de pagament. A més, tenen una rotació de vehicle cada parell d'hores durant aquest període.

- Les places en zona verda tenen totes propietari. A més, es produeixen 2 rotacions cada dia de no residents, que s'estacionen durant les 2 hores que els hi són permeses.

- El percentatge d'utilització dels aparcaments en funció del tipus de vehicle vé donat pel percentatge del tipus de vehicle en el conjunt del parc mòbil. En altres paraules, si el VE suposa un 10% del parc mòbil, els aparcaments efectuats per VE suposarien el 10% dels aparcaments totals.

### ➢ Equipaments

En relació als equipaments, ens referim a les infraestructures necessàries per poder estacionar els vehicles, majoritàriament aparcaments. En general, els vehicles són aparcats en els domicilis, però alguns vehicles s'estacionen per la nit al carrer (tant en zona verda com en espais no regulats).(SANCHEZ, 2012)

Com ja hem vist, l'Ajuntament preveu donar a tots aquells usuaris de vehicle elèctric que no tinguin aparcament, un aparcament vinculat per a poder estacionar el vehicle. En aquest sentit, l'Ajuntament paga un cost d'oportunitat, ja que podria destinar els fons en d'altres infraestructures.

Per a poder comptabilitzar el cost d'aquestes places, s'utilitzarà el preu mig anual del lloguer d'una plaça d'aparcament cobert a Barcelona. El preu mig varia segons el barri i segons els serveis que presta el pàrking, però es situa al voltant dels 90€/mes.

Apart de determinar el cost d'oportunitat que pateix l'administració, cal calcular el nombre d'usuaris que es beneficiaran del aparcament vinculat. Cal, doncs, fer

una estimació del nombre de vehicles que necessitaran d'aquest servei d'aparcament. Considerant que l'aparcament fora de calçada (no regulat i zona verda) suposa un 20% del total aproximadament, resulta lògic suposar que un de cada cinc vehicles elèctrics requeriran del servei d'aparcament vinculat, i l'altre 80% tindrà placa d'aparcament en domicili.

### 4.4.3. Relacionats amb els punts de recàrega

En aquest apartat, es posa de relleu tant el que li suposaria a l'administració instal·lar el conjunt de punts de recàrrega necessaris al carrer, com al usuari en el seu domicili.

Primer, ens centrem en el cas del punt de càrrega en domicili. Cal tenir present que amb un endoll convencional de 16 A ja es pot recarregar un vehicle elèctric. De totes formes, per a poder realitzar recàrregues més efectives i a major velocitat, cal instal·lar una base mural de recàrrega (wallbox en anglès), que compta amb un conector específic per a la recàrrega. A més, aquest tipus de connexió permet la comunicació i integració a una smart-grid.

En qualsevol cas, en els punts de recàrrega privada poden succeeïr dues situacions: que l'usuari tingui aparcament individual, o que tingui una plaça de pàrking en un garatge col·lectiu.

Si es tracta de vivenda unifamiliar la inversió és molt baixa, a partir de 700€, constant de la instal·lació d'una base mural. Depenent de la base mural instal·lada, el cost variarà.

Si es tracta d'una plaça en garatge col·lectiu, el més raonable és realitzar una derivació de la nostra instal·lació elèctrica individual fins la plaça de garatge, aprofitant el mateix contracte de subministrament que el de la vivenda. Probablement caldrà augmentar la potència contractada, ja que suposa una ampliació a la instal·lació existent. El cost d'instal·lació es situarà en 1300€ aproximadament.

Si la plaça no està en el mateix edifici que el domicili, l'usuari haurà d'efectuar una derivació del contador elèctric del propi garatge, i li suposarà un preu similar al d'instal·lació esmentat.

Donat que no som capaços de dictaminar a Barcelona la distribució d'aparcaments privats i col·lectius, estimem que tenen la mateixa influència al còmput global. Així, en el nostre càlcul usarem com a cost d'aparcament per al usuari la mitjana dels costos d'instal·lació, 1000€.

Pel que fa els punts de recàrrega en via pública, aquests seran instal·lats i pagats per la administració. La implantació d'aquests punts té un cost elevat, oscil·lant des dels 5000€ per a recàrregues normals en via pública, fins a 24000€ per a recàrregues ultra-ràpides.

Per a poder quantificar la inversió de l'administració, utilitzarem el valor de 1.2 punts de recàrrega per VE, estimat pel PECAC 2020. Degut a que cada vehicle ja tindrà un punt de recàrrega particular, al sector públic li correspon la inversió de

0.2 punts de recàrrega per vehicle, és a dir, un punt per a cada cinc vehicles. Fent una poderació als punts de recàrrega amb els seus preus, obtenim que el preu mig d'un punt de recàrega li suposarà a la administració pública un cost de 5200€ per punt instal·lat.

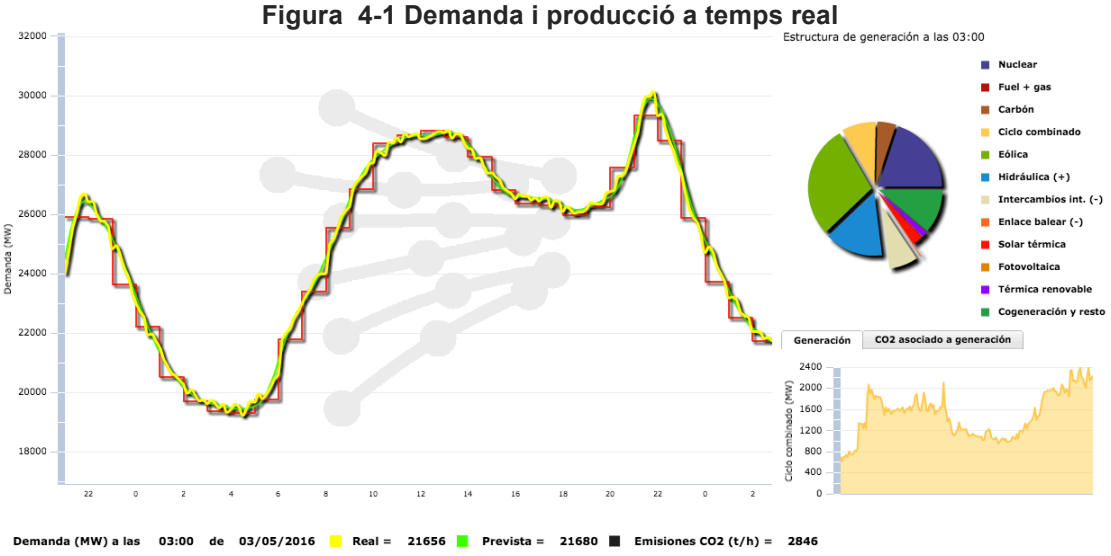
Per poder annualitzar el seu cost, s'ha considerat la mateixa vida útil que el vehicle elèctric, és a dir, 10 anys.

### 4.4.4. Demanda energètica

Una de les grans preguntes respecte la viabilitat de la implantació del vehicle elèctric a Catalunya és si la xarxa elèctrica catalana està preparada per subministrar l'energia necessària als vehicles. En aquest sentit, cal preguntar-se si el sistema pot acomodar la nova demanda, o si suposarà un sobrecost.

Per a poder analitzar la nova demanda, primer cal comprendre la demanda actual d'electricitat a Espanya. Aquesta informació pot ser extreta de Red Eléctrica, que proporciona demandes i producció a temps real. (REE, 2016)

**Figura 4-1 Demanda i producció a temps real**



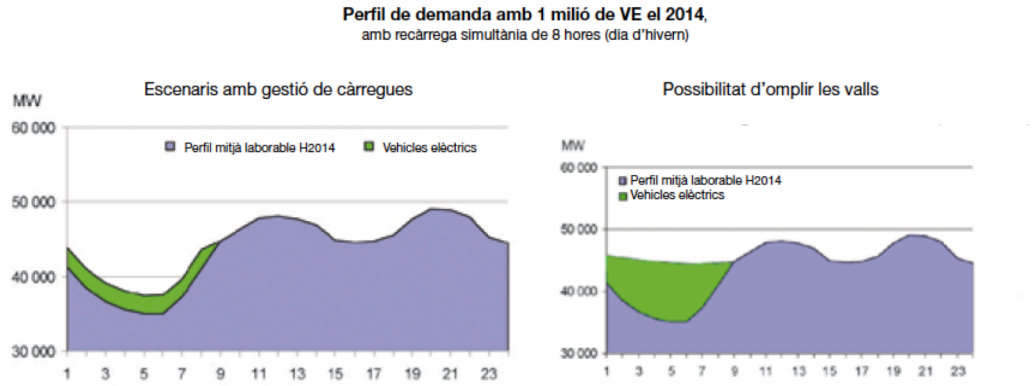

***Font: Red Eléctrica***

Com es pot observar, al llarg del dia es produeixen el que s'anomenen hores vall, és a dir, períodes on la demanda és menor, així com hores punta, en les que es produeixen períodes de major demanda. Aquest fet és de vital importància, ja que una utilització òptima dels recursos elèctrics permetrà viabilitzar el vehicle elèctric.

La recàrrega de VE en hores punta provocaria un augment de demanda en les hores de màxim consum, repercutint en una necessitat d'incrementar la potència instal·lada en generació d'energia i en el major dimensionament de la xarxa. De fet, probablement involucraria canvis en la xarxa elèctrica, creant la necessitat de més infraestructures generadores d'energia.

En canvi, si la recàrrega de VE es produeix en hores vall, i a més es realitza de forma lenta i progressiva (mitjançant una recàrrega a baixa potència), pot significar un ús més racional i intel·ligent de la energia. El control de la potència i el temps de recàrrega resulta en un perfil de demanda més aplanat. En efecte, l'augment del consum elèctric seria en les hores vall, sense modificar significativament el consum en les hores punta. Es disminuirien les diferències que es produeixen entre major i menor demanda, cosa que afavoriria l'eficiència del sistema elèctric i en facilitaria la gestió. A més, el preu de l'electricitat és menor durant les hores vall (com per exemple les hores nocturnes).

**Figura 4-2 Gràfics explicatius de l'utilització d'hores vall per recàrregar VE**




***Font: CADS 2010***

En aquesta línia, la integració del VE pot reduir l'impacte sobre la necessitat d'adaptació de les infraestructures de producció i transport d'energia elèctrica. Tot i així, caldran nous sistemes de distribució, que permetin recàrregues intel·ligents en hores vall, incloent sistemes de control de la potència disponible en el punt de recàrrega en funció del estat de la xarxa elèctrica en aquell moment.(BENVENISTE, 2014)

Segons Red Eléctrica, la xarxa elèctrica espanyola està preparada per assumir fins a 6.5 milions de vehicles elèctrics a tot Espanya sense necessitat d'inversions addicionals ni en infraestructures energètiques ni en la xarxa de distribució. Traslladat a Catalunya, això suposaria que la xarxa pot acomodar fins a un milió de VE. Per tant, i donades les perspectives de penetració del VE a Catalunya, podem concloure que la xarxa elèctrica podrà suportar l'implantació d'aquests vehicles. Més endavant, i si el nombre de vehicles augmentés de forma accentuada, s'haurien de fer modificacions i millores a la xarxa elèctrica.

Per últim, és interessant fer una reflexió sobre la possibilitat que el vehicle elèctric jugui un paper important integrant les energies renovables en el sistema elèctric. En aquest punt, cal citar l'estudi "Energia eòlica i vehicle elètric: sinergia de futur", de M. Bordas, ja que resulta un exercici molt clar de com podrien interactuar aquests dos elements, i les repercussions que aquest canvi de model energètic i de mobilitat comportaria. (BORDAS, 2011)

Darrerament, s'ha argumentat sobre la possibilitat d'utilitzar el potencial eòlic ja existent per a la recàrrega de vehicles. En efecte, la producció eòlica presenta una gran variabilitat, amb ocasions on la oferta és més gran que la demanda i no existeix la possibilitat d'emmagatzemar l'energia. En aquest escenari, els vehicles carregant per la nit podrien ajudar a aprofitar aquesta energia excedent.

No obstant, l'energia eòlica presenta certs problemes, que abarquen des de la excessiva variabilitat de la producció, la necessitat de creació d'una xarxa per evacuar l'energia generada, o la manca de capacitat d'emmagatzematge.

Com a valoració, es constata que la producció eòlica pot resultar de gran importància per l'aportació d'energia al vehicle elèctric, però encara és dificil garantir que podrà subministrar la totalitat de l'energia, i més difícil que sigui de forma eficient.

## 4.5. Impactes i externalitats

Com a conseqüència de la implementació del projecte es poden generar efectes positius o negatius sobre agents no necessariament relacionats amb el projecte. Aquests efectes s'anomenen externalitats, ja que no recauen directament en aquells que prenen les decisions del projecte.

El càlcul de les externalitats és complex, ja que cal monetitzar els efectes, i aquests depenen fortament de múltiples variables de caràcter local. En efecte, molts cops s'utilitza el "valor contingent", entès com la disponibilitat a pagar per part dels afectats per tal d'evitar/acceptar patir el dany que li ocasionarà la externalitat.

En el nostre cas, les externalitats afectaran al conjunt de la societat de l'àrea metropolitana, que patirà els efectes indirectes de la implantació del vehicle elèctric en els desplaçaments de la zona. Les externalitats estudiades, degut a la seva importància, són els impactes en contaminació atmosfèrica, en contaminació acústica, etc.(FARRAN, 2016)

### 4.5.1. Impactes en contaminació atmosfèrica

En relació a les emissions que generen contaminació atmosfèrica, anteriorment hem distingit entre les que són causants de canvi climàtic i les que són de caràcter local.

Les emissions locals d'un vehicle elèctric són nul·les durant el seu funcionament, és a dir, que no emet cap mena de fums o gasos contaminants mentre s'utilitza el vehicle. Aquest fet representa un gran avantatge, ja que pot ser una clara solució a ciutats amb elevats graus de contaminació atmosfèrica. (DTS, 2015)

Tanmateix, cal considerar la forma d'obtenció d'aquesta electricitat, ja que depenent de quina sigui la font d'energia d'on s'obtingui l'electricitat, el VE serà més o menys contaminant. En aquest sentit, hi ha dos escenaris diferenciats:

- Electricitat obtinguda per font no renovable. Segons el ICAEN, cada kWh d'electricitat produïda per carbó produeix 0.6kg de $CO_2$, 1.33g de $SO_2$ i 1.67g de $NO_x$, entre d'altres. Considerant el consum mig d'un VE, es poden extreure les quantitats emeses per km de desplaçament. Així, s'emeten 120g $CO_2$ /km, 0,27g $SO_2$/km i 0,33g $NO_x$/km.

- Electricitat obtinguda per font renovable. Amb aquestes tecnologies, no es generaria cap emissió d'aquests contaminants.

En el supòsit d'un repartiment en la generació energètica de 40% renovable i 60% no renovable, els gasos emesos per km recorregut per VE són de 72g$CO_2$/km, 0.16g $SO_2$/km i 0.20g $NO_x$/km.

Per la seva banda, la generació de gasos contaminants en la combustió interna dels vehicles convencionals és molt més elevada. En cicle urbà, un VCI emet 308.5g $CO_2$/km, 0.08g $SO_2$/km, 0.11g $NO_x$/km.

Com es pot observar, la millora en la qualitat del aire és molt més accentuada quan l'energia és obtinguda per mitjà d'una generació de font renovable. En aquest sentit, l'objectiu és que el vehicle s'alimenti d'energies renovables no contaminants, com la solar o la eòlica. Si la font és renovable, la contaminació atmosfèrica produïda a causa del VE seria totalment nul·la.

A més, si es desenvolupen xarxes de gestió intel·ligents que permeten el control i emmagatzematge eficient de l'energia, no solament no produiríem cap tipus d'emissió, sinó que l'energia sobrant es podria utilitzar sense necessitat d'altres emissions.

Amb l'ajuda de les normatives europees com "Handbook on External Costs of Transport", podem monetitzar les emissions de gasos contaminants. Els resultats estan recollits en la següent taula, expressats en euros entre tona emesa.(DG, 2014)

**Taula 4-2 Costos d'externalitat segons normativa europea**

| **Cost per externalitat** | |
|---|---|
| $CO_2$ | 101 €/tn |
| $SO_2$ | 7052 €/tn |
| $NO_x$ | 4964 €/tn |

***Font: Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014***

### 4.5.2. Impactes en contaminació acústica

Una altra externalitat a tenir en compte és la que representen els sorolls i vibracions degudes a la circulació dels vehicles. Aquests efectes, on el VE pot ser una clara millora respecte el mode convencional, tenen una importància vital en els nuclis de població, sobretot en els centres de ciutat.

El soroll, segons el volum, intensitat i duració, comporta un dany físic o psicològic als afectats, que es tradueix en pèrdues econòmiques derivades de l'alteració d'activitats, d'empitjorament de la salut, o de la pèrdua de valor de les propietats adjacents a la font emissora. (DGQA, 2013)

La contaminació sonora constitueix un dels focus de conflictivitat social i d'afectació a la salut de les persones. Cal, doncs, comprendre els canvis que la reducció del impacte comportaran a la societat en relació als nivells de soroll.

Els VE poden permetre disminuir la contaminació acústica ja que redueixen els típics sorolls inherents al motor, al canvi o a la transmissió. La reducció general provocarà una pacificació del trànsit en relació al soroll, rebaixant sobretot els llindars més elevats (>70dB).

La valoració del impacte derivat del soroll és complicada, ja que hi intervenen les condicions de circulació, les característiques de la via i de la urbanització en la que s'inscriu, el tipus de vehicles que hi circulen, etc. Així, s'han determinat dos mètodes per al càlcul:

- A parti del nivell d'exposició de soroll equivalent a un dia (Lden>55dB), es determina la proporció de persones que es veurien afectades pel soroll. A aquest conjunt se li aplicaria un cost/persona-any per fixar el cost relacionat amb la contaminació acústica.

- A partir del cost marginal de soroll, i en funció dels vehicles-quilòmetre esperats en els desplaçaments, s'estima el cost total relacionat amb el soroll. Aquesta opció és la adient quan no es disposa de suficient informació sobre les variables que intervenen en el soroll.

En el nostre cas, optem per la segona alternativa, ja que tenim els vehicles que es desplacen tant en la vessant interna com en la de connexió, així com els km mitjans de cada desplaçament.

En la següent taula, es pot observar el cost marginal del soroll, expressat en unitats de €/1000vkm:

**Taula 4-3 Cost Marginal de contaminació acústica**

| **Cost marginal del soroll** | | | |
|---|---|---|---|
| Turisme privat | Dia | Dens | 8.8€ |
| | | Lleuger | 21.4€ |
| | Nit | Dens | 16.1€ |
| | | Lleuger | 38.9€ |
| Motocicleta | Dia | Dens | 17.7€ |
| | | Lleuger | 42.7€ |
| | Nit | Dens | 32.1€ |
| | | Lleuger | 77.9€ |

***Font: SAIT***

Apart de la informació extreta del quadre de cost marginal, cal fer un seguit de precisions per a estimar eficientment el impacte econòmic derivat del soroll.

- Dels desplaçaments interns, el 56% es realitzen en cotxe, mentre que en moto són el 43%.

- Dels desplaçaments de connexió, el 82% es realitzen en cotxe, mentre que el 16% són en moto.

- En relació a dia i nit, el 90% dels desplaçaments es realitzen durant el dia, mentre que el 10% restant de nit.

- El cost per soroll en un VE és un 25% del que suposa el cost per VCI. No és absència total de soroll ja que també comptabilitzem el soroll de rodament.

### 4.5.3. Altres impactes

En aquest apartat repassem altres impactes que suposen un cost per la societat, i es distingeix entre el cost si es tracta d'un VE o d'un VCI. Les principals fonts per recopilar aquests costos són l'estudi "*A critical evaluation of Electric Vehicle Benefit*" (LITMAN, 1999), així com "*Update of the Handbook on External Costs of Transport*" (DG, 2014).

#### ➢ Cost per accident

Els VE presenten riscos diferents als vehicles convencionals en relació a la seguretat. Alhora, redueixen els riscos relacionats amb l'ús del petroli (com poden ser incendis o cremades), mentre que augmenten els riscos relacionats amb les bateries, els electrocutaments, o els atropellaments deguts a la manca de soroll del vehicle.

En general, el total de risc en VE és similar al VCI, i es pot constatar que ambdós tipus de vehicle tenen el mateix cost d'externalitat.

#### ➢ Cost per efecte barrera

L'efecte barrera es basa en que la implantació d'una infraestructura pot concedir prioritat de pas a certs modes, generant un cost a altres , com pot ser el transport no motoritzat. La degradació de les prioritats i espais reservats a vianants i ciclistes pel trànsit motoritzat, pot desencadenar en un canvi de mode per part del mode no prioritari al prioritari.

Es calcula que el VE, degut a la major pacificació amb la resta de modes (moltes vegades gràcies a les velocitats més reduides), representa un 20% menys d'efecte barrera que el VCI. El cost per efecte barrera amb VCI és de 0.0055€/vkm, mentre que amb VE és de 0.0044€/vkm.

### ➢ Cost per generació de residus

La generació de residus és un aspecte de gran importància en el càlcul d'externalitats, i afecta de forma diferent segons el tipus de vehicle que s'analitza.

En el cas del vehicle de combustió interna, aquest genera al llarg de la seva vida útil residus derivats del líquids refrigerants, olis minerals i d'altres lubricants, que han de ser canviats periòdicament i contribueixen en gran mesura a la contaminació per residus.

En canvi, el VE té com a font de residus les bateries, i en especial en els metalls pesants i compostos químics que les componen. Tot i els esforços per a minimitzar el seu impacte, promocionant el seu reciclatge o tractant-les en centres especials, segueixen essent un focus de contaminació. Val a dir que les bateries d'ió liti, que s'estan imposant com a tipus de bateria principal pel vehicle, són les que contaminen menys i tenen un percentatge de reciclatge superior.

En definitiva, el cost associat a aquesta externalitat és de 0.0055€/vkm en el cas dels VCI, i de 0.0028€/vkm en el cas dels VE.

## 4.6. Resum de costos

En aquest apartat es presenta un quadre recopil·latori de tots els costos associats als diferents impactes. Cal fer l'incís que els costos són globals, és a dir, que són la suma dels costos parcials en cada un dels agents pel mateix impacte. A més de la comparativa entre vehicle convencional i vehicle elèctric, es mostra les unitats en els que s'expressa cada cost, essent aquestes en la seva majoria annualitzades o basades en vehicle-quilòmetre.

**Taula 4-4 Quadre resum de costos, segregats entre VCI i VE**

| Tipus de Cost | VCI | VE | Unitats |
|---|---|---|---|
| Compra | 1350 | 3000 | €/any |
| Combustible | 0.085 | 0.012 | €/km |
| Manteniment | 608 | 120 | €/any |
| Bateries | 0 | 500 | €/any |
| Aparcament (Preu) | Z. Blava: 2.30<br>Z. Verda (no resi): 2<br>Z. Verda (resi): 0.2 | 0<br>0<br>0 | €/h<br>€/h<br>€/dia |
| Aparcament (Equipaments) | 0 | 216 | €/any |
| Punts de càrrega | 0 | Domicili: 100<br>Via pública: 520 | €/any<br>€/any |
| Cont. Atmosfèrica | 0.032 | 0.0094 | €/km |
| Cont. Acústica | Desp. Intern: 23.2<br>Desp. Connexió: 18.6 | Desp. Intern: 5.8<br>Desp. Connexió: 4.7 | €/1000km<br>€/1000km |
| Efecte Barrera | 0.0055 | 0.0044 | €/km |
| Residus | 0.0055 | 0.0028 | €/km |

***Font: Elaboració pròpia***

Fixant-nos en els costos de caràcter anual, l'únic valor no annualitzat és el cost de manteniment, que se suposa constant en el temps. Els altres costos, com el de compra o el de les bateries, són annualitzats, ja que en realitat tan sols s'efectuen un cop en la vida útil del vehicle. Tenir constància del caràcter temporal de cada un d'ells serà vital per a l'hora de determinar rendibilitats a la inversió.

## 4.7. Matriu d'agents-impactes

Un cop analitzats els costos i externalitats associades amb la implementació del nostre projecte, cal integrar els efectes sobre cada un dels agents que hem comentat anteriorment: els usuaris dels vehicles, l'administració pública i el conjunt de la societat.

Per poder realitzar la integració dels impactes al agent implicat, cal generar la matriu d'agents-impactes, on cada agent es detalla en diferents columnes i cada impacte que intervé apareix en files. D'aquesta forma es pot visualitzar de forma senzilla i ràpida la distribució dels impactes, així com veure la gradació d'un mateix efecte en relació a diferents agents. Per exemple, es pot especificar si l'impacte és monetari o no, o si aquest és amb forma d'ajuda o cost directe.

A continuació, es mostra la matriu d'agents-impactes per al projecte d'implantació del vehicle elèctric als desplaçaments a Barcelona. Com es pot observar, es realitza la distinció entre cost monetitzat directe i ajuda econòmica.

**Taula 4-5 Matriu d'agents-impactes**

| | | AGENTS | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Usuaris | Societat | Admin. Pública | |
| IMPACTES | Compra | M | | A | Σ Fila |
| | Combustible | M | | | … |
| | Manteniment | M | | | … |
| | Bateries | M | | | … |
| | Aparcament (Preu) | M | | A | … |
| | Aparcament (Equip) | | | M | … |
| | Punts de càrrega | M | | M | … |
| | Cont. Atmosfèrica | | M | | … |
| | Cont. Acústica | | M | | … |
| | Efecte barrera | | M | | … |
| | Cont. Residus | | M | | … |
| | | Σ Columna | | | Benestar |

***M= Impacte monetitzat, A= Ajuda, Font: Elaboració pròpia***

L'anàlisi clàssic d'aquesta matriu es realiza llegint els impactes per files. Un valor positiu en una de les cel·les significa que l'impacte és positiu per l'agent a qui recau, incrementant el seu valor respecte l'alternativa de referència. Contràriament, si el valor obtingut en una de les cel·les és negatiu, significa que l'alternativa representa un retrocés en relació al escenari de referència.

Si es sumen els valors obtinguts en un mateix efecte en els diferents agents, obtenim el valor del impacte en el conjunt del projecte. Aquest tipus de sumatori ens resulta de gran valor ja que podem observar quina és la rellevància del impacte en el total, mitjançant un càlcul percentual del impacte.

Paral·lelament, la suma dels impactes en columnes ens aporta informació sobre el conjunt de costos que s'imputen per agent. Com en el cas de les files, un estudi dels valors totals obtinguts per agents ens proporcionarà informació sobre la distribució dels costos entre els agents. Aquest fet és de cabdal importància, ja que pot desencadenar actuacions entre els agents, com la prestació o la revocació d'ajudes, la creació de nova normativa, etc. En aquest sentit, ens permet valorar possibles mesures compensatòries en cada cas, transferint beneficis dels guanyadors cap als que més en surten perjudicats.

## 4.8. Valoració del benestar

El objectiu del anàlisi cost-benefici és proporcionar un valor social al projecte d'implantació del vehicle elèctric, per poder comprovar si resulta una millora o no respecte al escenari de referència.

En aquest sentit, es considera que la suma dels impactes en els diferents agents implicats és el benestar que generarà l'aplicació del nou escenari. En cas que el resultat del benestar sigui positiu, el projecte té viabilitat econòmica i social, i es pot posar en marxa.

Contrariament, si el resultat final fós negatiu, significaria que la implantació del vehicle elèctric no resulta en un augment del nivell de benestar del conjunt. Conseqüentment, el projecte no seria viable en la forma que s'ha decidit i caldria o bé reformular-lo o, possiblement, rebutjar-lo.

Més enllà del valor absolut del benestar, aquest anàlisi es pot veure modificat per a maximitzar el seu resultat. Com s'ha descrit en el apartat anterior, es poden realitzar transferències dels impactes per a afavorir certs agents. En aquest sentit, ens trobarem davant d'escenaris polítics, on es decideixen les estratègies amb les que procedir davant dels seus costos d'oportunitat.

A mode d'exemple, si el benestar general no és positiu però si que ho són el còmput per usuari i per la societat, resulta lògic que l'administració pública tiri endavant el projecte. Tot i que el sector públic entri en dèficit, òbviament tan sols si aquest dèficit és assumible, el conjunt de la societat veurà millorar la seva qualitat de vida.

En definitiva, el valor del benestar representa una estimació del que suposaria la implementació del projecte. En cap cas és un valor final, sinó que és una eina consultiva a utilitzar en el conjunt del projecte.

# 5. **Cas Barcelona. Escenaris d'implantació**

Tal com ja ha estat anunciat, la nostra voluntat és la de traslladar el anàlisi cost-benefici als desplaçaments realitzats a la ciutat de Barcelona en dia feiner. Amb el ACB, doncs, constatarem quin seria l'impacte real de la implantació del vehicle elèctric, permetent-nos valorar la implementació del projecte.

Cal recordar els següents valors de desplaçaments en relació a la mobilitat a la ciutat de Barcelona:

- Desplaçaments interns: 4.73 milions. D'aquests desplaçament, tan sols el 15% es realitzen en vehicle privat, essent en total 709500 desplaçaments.

- Desplaçaments de connexió: 1.83 milions. D'aquests, el 44.2% es realitzen amb vehicle privat, essent un conjunt de 808860 desplaçaments.

- En la regió de Barcelona, es realitzen 3.7 desplaçaments per vehicle al llarg d'un dia feiner.

Amb aquestes apreciacions, ja ens trobem en capacitat d'analitzar al detall la mobilitat a Barcelona i els impactes que genera.

## 5.1. Possibles escenaris

### 5.1.1. Escenari de 0% VE

Aquest escenari correspon a l'actual situació de mobilitat a Barcelona. Actualment, tot i que sí existeixen alguns vehicles elèctrics en circulació, el seu número són resulta gairebé insignificant davant del total del parc mòbil de combustió interna.

Aquest escenari ens serveix com a referència, ja que és el anomenat "no fer res". Els valors de contaminació, compra de vehicle, etc, són la base amb la que compararem la implantació de vehicle elèctric.

En aquest sentit, no aporta massa informació nova, tan sols una radiografia de la situació actual. Així, resulta adient per a la quantificació de la variació dels impactes un cop s'implementi el nostre projecte.

### 5.1.2. Escenari de 10% VE. Previsió del PECAC

Aquest és el escenari més important en el nostre anàlisi. Amb els resultats que s'obtenen en aquest apartat, posteriorment es podran prendre decisions respecte la viabilitat o no del projecte.

A més, ens serveix per a decidir la distribució de recursos i ajudes entre els diferents agents, i així aquestes actuin com mesures encoratjadores o compensatòries per dotar de major oportunitat de prosperar al projecte.

L'elecció del 10% prové dels estudis catalans que parlen del procés d'implantació del vehicle elèctric a Catalunya. Segons la seva voluntat d'impuls i les estratègies engegades, es suposa que pel 2020 el 10% del parc mòbil serà de tipus elèctric.

En el nostre estudi, doncs, es monetitza que és el que significaria aquest canvi en el parc mòbil, dotant al conjunt d'estratègies d'un recolzament econòmic i social.

Per altra banda, cal explicar com funciona l'anàlisi. Com s'ha explicat, els valors que obtenim són la diferència entre el que suposaria l'escenari 0% VE en relació al 10%. En aquest sentit, les variacions en el benestar recollides són fruit de la comparació d'agafar el 10% dels desplaçaments interns, així com el 10% també dels desplaçaments de connexió, i convertir-los en elèctrics.

Tanmateix, el resultats són aplicables a tota la societat, ja que és ella la que es beneficiarà de les variacions en els impactes estudiats.

Per a que quedi més clar quin és el funcionament del model, a continuació mostrem la fórmula per obtenir els resultats:

**Equació 1 Càlcul d'impactes**

$$\Delta \text{ impacte} = \left(\text{Cost per VCI} - \text{Cost per VE}\right) \cdot \%VE$$

***Font: Elaboració pròpia***

En aquesta fórmula, la variació en un impacte és igual a la diferència de cost entre el vehicle de combustió interna en relació al vehicle elèctric, i es multiplica per l'aportació al impacte de vehicles elèctric. En ocasions, si el cost és relacionat amb els desplaçaments, el percentatge serà de desplaçaments en vehicle elèctric. Mentrestant, si el cost està expressat en vehicles, com pot ser el cost relacionat amb la compra, el percentatge serà del nombre de vehicles elèctrics.

Si el valor de al variació d'impacte és positiu, significarà que la implantació del 10% elèctric resulta beneficiós per l'agent a qui li recau l'impacte. Ans al contrari, si el resultat de la variació és negatiu, significa que l'impacte repercuteix negativament en el còmput del impacte per aquell agent.

A continuació, mostrem els resultats del nostre anàlisi cost-benefici pel cas de Barcelona. Els valors es mostren en M€. En l'Annex de Càlculs es recullen els càlculs per a arribar als resultats en cada cas.

El primer a ressaltar és que el projecte d'impantació del vehicle elèctric a Barcelona, seguint les directrius que hem dissenyat, no té viabilitat econòmica. Aquest fet queda pal·lès degut als saldo negatiu de 9.8 milions d'euros, que comporta una disminució del benestar arran de la implantació del 10% de vehicles elèctrics al total de desplaçaments.

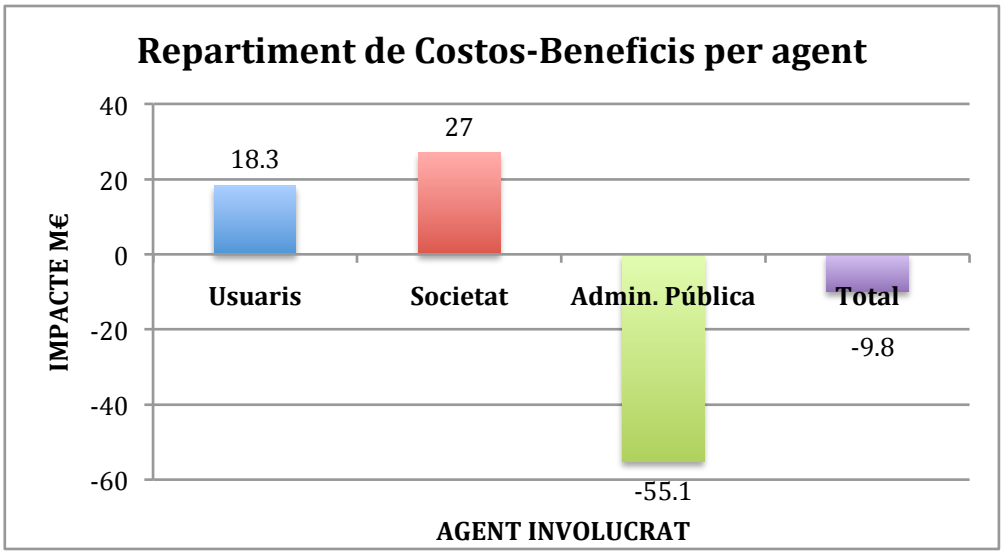
**Taula 5-1 Resultats del ACB pel 10% desplaçaments en VE. Valors en M€**

| | | AGENTS | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Usuaris | Societat | Admin. Pública | |
| IMPACTES | Compra | -34,9 | 0 | -32,8 | -67,7 |
| | Combustible | 48,1 | 0 | 0 | 48,1 |
| | Manteniment | 15,1 | 0 | 0 | 15,1 |
| | Bateries | -16,1 | 0 | 0 | -16,1 |
| | Aparcament (Preu) | 9,4 | 0 | -9,4 | 0 |
| | Aparcament (Equipament) | 0 | 0 | -7,9 | -7,9 |
| | Punts de càrrega | -3,3 | 0 | -5,1 | -8,4 |
| | Cont. Atmosfèrica | 0 | 14,9 | 0 | 14,9 |
| | Cont. Acústica | 0 | 9,6 | 0 | 9,6 |
| | Efecte barrera | 0 | 0,7 | 0 | 0,7 |
| | Cont. Residus | 0 | 1,8 | 0 | 1,8 |
| | | 18,3 | 27 | -55,1 | -9,8 |

***Font: Elaboració pròpia***

Per anar més al detall, cal fixar-nos en el repartiment dels costos entre els diferents agents. Com podem observar, tant els usuaris de vehicle elèctric com la societat en general es veuran beneficiats si el projecte s'engega, ja que tenen resultats positius. En canvi, l'administració pública veurà uns elevats costos, de 55,1 M€, si vol dur a la pràctica el projecte. Per poder visualitzar de forma més clara les contribucions de cost entre els agents, tenim el següent gràfic.

**Figura 5-1 Repartiment dels impactes del ACB segons el agent. Valors en M€**




***Font: Elaboració pròpia***

Amb l'ajuda d'aquest gràfic es veu clarament quina és la distribució de costos i beneficis entre els agents. De fet, resulta molt important notar que malgrat que el resultat global és negatiu, el beneficis per la societat i pel conjunt d'usuaris són positius. Així, tot i el resultat desfavorable, arran de la enorme despesa que esperimenta l'administració pública, es pot argumentar que el projecte queda legitimat donat els beneficis que comporta.

En aquest sentit, podem parlar de decisions polítiques, ja que l'administració entra en dèficit, havent d'aportar una inversió anual de 55.1M€. Alhora, repercuteix molt positivament en el els altres agents implicats en la mobilitat de la ciutat.

Si ens fixem en els valors obtinguts per cada agent, les disparitats de contribució al saldo final són molt significatives. En el cas dels usuaris de vehicle elèctric, el major dels costos és el d'adquisició del vehicle, seguit pel cost derivat de la substitució de les bateries. Paral·lelament, cal notar que el impacte més positiu apareix en referència al combustible emprat, fent el pas del combustible fòssil a la electricitat. Com ja vam observar, l'electricitat resulta fins a 7 cops més barata que el petroli, fet que comporta aquest gran benefici final.

En relació a la societat, els beneficis obtinguts provenen de la disminució dels impactes d'externalitats, sobretot en el camp de la contaminació. La contaminació atmosfèrica és l'impacte que rep una variació més acusada quan es passa al mode elèctric, i representa més de la meitat dels beneficis socials totals. De ben a prop la segueix la contaminació acústica, representant el 35%. La resta d'impactes, tot i no tenir tanta rellevància en el còmput total, ajuden a que el benefici final sigui més elevat, arribant a una estimació de 27 M€.

En el cas de l'administració pública, el conjunt d'ajudes al impuls del vehicle elèctric, així com la necessitat de creació de punts de càrrega, li representen una elevada inversió. La major part d'aquest cost vé donat per les ajudes al vehicle elèctric impulsades en plans com el PIVE o el Movele, que arriben gairebé als 33M€. La resta de costos provenen de la creació d'infraestructures, tant les d'aparcament vinculat per aquells que no tenen aparcament en el domicili, com les de punts de recàrrega. Resulta rellevant el cost que resulta de la revocació del pagament en zona blava i verda si s'estaciona un vehicle elèctric. Aquesta mesura fa deixar d'ingressar a l'administració 9,4M€, beneficiant en enorme mesura la viabilitat del vehicle elèctric per part dels usuaris.

Més endavant, durem a terme un procés d'optimització del projecte, introduint algunes mesures per veure quin efecte tenen en el benefici final, així com el recol·locament de mesures compensatòries per observar la reacció en els agents implicats.

### 5.1.3. Escenari de 100% VE

Aquest escenari seria el de canvi total de mode de transport en els desplaçaments a Barcelona, passant de transport de vehicle convencional a ús del vehicle elèctric.

En realitat, aquest escenari és molt poc factible a dia d'avui, ja que implicaria que tot el parc mòbil es renovés, i ho fés en favor del vehicle elèctric. Donat que l'índex de renovació a Barcelona és del 10%, almenys caldria que passés una dècada per a veure el projecte d'implementació finalitzat.

Apart d'això, el nostre anàlisi no té en compte la variació dels impactes en el temps, sinó que aquests són directament proporcionals als vehicles elèctrics existents en el parc. Aquest fet comporta que si volem trobar el valor del benestar per a un determinat % de VE, aquest serà múltiple del obtingut en el escenari del 10%. Per solucionar aquest problema, necessitaríem tenir les dades del canvi en el cost dels impactes en funció del nombre de vehicles als que afecta. Per exemple, la possible disminució del valor dels vehicles elèctrics a mesura que es facin més populars i n'existeixi una major oferta. En estudis posteriors sobre aquest tema, és vital dotar de la noció variable dels impactes si es vol model·litzar el comportament del benestar a Barcelona.

Un altre aspecte a tenir en compte quan augmenta la penetració del vehicle elèctric és l'existència de mesures compensatòries i ajudes al vehicle per part de l'administració pública. El conjunt d'ajudes, ideades per impulsar l'adquisició de vehicles elèctrics, perdrien el seu sentit incial si tot el parc fós elèctric. A més, si amb un 10% del parc l'administració ja entra en un dèficit notable, el cost en el escenari del 100% seria massa gran per poder ser sufragat. Aquesta hauria de o bé suprimir l'ajuda o aplicar un impost al conjunt de la societat per a sufragar els costos deguts a les ajudes.

## 5.2. Optimització del projecte. Possibles variacions

El model generat possibilita realitzar variacions en els impactes que hi intervenen, amb la finalitat de veure les possibles reaccions que comportarien aquests canvis en el projecte.

En aquest sentit, podem aplicar diferents sub-escenaris per observar el resultat del ACB. Aquesta eina ens pot ajudar a determinar quines mesures representen un augment més clar del benestar derivat del projecte.

A continuació, fem un seguit de variacions al escenari del 10% del vehicle elèctric, i veiem la contribució de les mesures a la variació de benestar.

### 5.2.1. Impost sobre els vehicles contaminants

A prinicipis del 2016, el govern català ha aprovat l'avantprojecte de llei de canvi climàtic, en el que figura una mesura regulatòria en forma d'impost a tot aquell vehicle que circuli per Barcelona i superi un llindar de contaminació atmosfèrica establert.(BTV, 2016)

Aquest impost, que es començarà a aplicar el 2018, imputarà a la gran majoria de vehicles entre 1 i 5€. A més, tot aquell vehicle matriculat a Catalunya que superi

el llindar de 160g $CO_2$/km en condicions no urbanes haurà de pagar un impost de matriculació de 25€.

A aquestes mesures se li sumarà la restricció per part de l'Autoritat Metropolitana de Barcelona (AMB) de circulació dels vehicles més contaminants pel centre de la ciutat a partir del 2018. Tot vehicle amb data de matriculació anterior al 1996 tindrà prohibida la circulació.

Aquest conjunt d'impostos es poden agregar i introduir en el model ja mostrat, per a veure quin efecte tenen en el benestar del projecte d'implementació del vehicle elèctric.

El impost suposaria un cost als usuaris de no vehicle elèctric, fet que comporta un benefici si l'usuari es canvia de mode de transport. El benefici pels usuaris de vehicle elèctric, en conjunt és de 1.1M€. En canvi, l'adminstració pateix un cost d'oportunitat per aquest impost, deixant d'ingressar el 1.1M€ als comptes municipals. El repartiment és el següent:

**Taula 5-2 Resultats del ACB degut a l'implementació del Impost CO2**

| **ACB incloent el Impost CO2** | | | |
|---|---|---|---|
| **Usuaris** | **Societat** | **Admin. Pública** | **Total** |
| 19.4 M€ | 27 M€ | -56.2 M€ | -9.8 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Com es pot observar, l'implementació del impost no suposa cap variació en el benefici del projecte, ja que segueix en -9.8 M€.

### 5.2.2. Electricitat generada mitjançant fonts d'energia renovables

Un dels punts més importants en el correcte impuls del vehicle elèctric a Catalunya, són les fonts d'obtenció de la electricitat per al funcionament dels vehicles. En aquest estudi s'ha utilitzat l'escenari actual d'ambivalència de fonts d'energia no renovable (60%) i renovables (40%).

Actualment, tot i que el vehicle elèctric en el seu funcionament no emet gasos, sí que ho fan les fonts de les que s'extreu l'electricitat. Per aques motiu és tant important el canvi de model energètic a Catalunya, promocionant l'ús de fonts renovables.

La millora significativa en el benestar i benefici global del projecte vindria donada, doncs, per una utilització al 100% de les fonts d'energia renovable per a subministrar l'electricitat necessària pel vehicle elèctric. D'aquesta forma, es podrien reduir dràsticament les emissions de gasos contaminants a l'atmosfera.

Si apliquem aquest canvi en el nostre anàlisi, els beneficis són molt majors, tot i seguir en negatiu. En efecte, el benestar general passa a tenir un valor de -3.6M€, suposant un augment del 63% de benestar.

**Taula 5-3 Resultats del ACB degut a l'implementació del ús de fonts renovables**

| ACB incloent el ús de fonts renovables | | | |
|---|---|---|---|
| **Usuaris** | **Societat** | **Admin. Pública** | **Total** |
| 18.3 M€ | 33.2 M€ | -55.1 M€ | -3.6 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

### 5.2.3. Reducció del preu del vehicle elèctric

En el anàlisi realitzat, s'ha considerat que el vehicle elèctric té un preu d'adquisició al voltant dels 30000€, així com una vida útil de 10 anys. Tanmateix, hi ha nombrosos estudis, el PECAC 2020 entre d'altres, que situen el preu del vehicle elèctric més baix, fins a 25000€.

En aquest apartat, per tant, es vol observar quina seria la resposta del sistema, en forma de variació del benefici total, si mantenint constants tots els altres impactes, es reduís el preu del vehicle. Cal destacar que el cost per adquisició és el que contribueix en major mesura als usuaris.

En el nostre cas, utilitzarem el un valor entre els dos comentats, 27000€, amb una vida útil de 10 anys, fet que suposa una reducció del 10% en els costos d'adqusició del vehicle. Arran d'aquest canvi, a continuació mostrem els nous resultats del anàlisi cost-benefici.

**Taula 5-4 Resultats del ACB degut a la reducció d'un 10% del cost d'adquisició del VE**

| ACB incloent el ús de fonts renovables | | | |
|---|---|---|---|
| **Usuaris** | **Societat** | **Admin. Pública** | **Total** |
| 30.6 M€ | 27 M€ | -55.1 M€ | 2.5 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

El benefici final passa a ser positu, és a dir, econòmicament viable i suposa un augment del benestar. Finalment, aquesta mesura demostra el potencial de benestar del vehicle elèctric si aquest aconsegueix veure reduïts els seus costos de fabricació i conseqüentment experimenta una reducció en el preu.

A més, tot l'augment de benefici vé donat per l'augment del benestar en els usuaris, ja que el sobrecost d'adquisició del VE en relació al VCI disminueix. En efecte, els usuaris experimenten un augment del 67% dels seus beneficis, arribant als gairebé 31M€.

### 5.2.4. Valoració del temps d'accés al aparcament

Una de les preocupacions davant la viabilitat del projecte és les dificultats de recàrrega quan l'usuari no té aparcament en el seu domicili. Tal com s'ha explicat, l'Ajuntament ha decidit donar places a tots aquells usuaris que ho demanin, en els aparcaments públics de la ciutat.

En aquest apartat es realitza una estimació del temps d'accés que això suposaria als usuaris de vehicle elèctric que no tenen aparcament, i fins ara aparquen en el carrer. Val a dir que els valors són estimats i tan sols representen una eina per comprendre la importància del temps d'accés. A més, ens centrem en tan sols el temps relacionat amb l'estacionament per la nit i el desplaçament al domicili, ja que és molt complex analitzar els patrons d'aparcament durant el dia.

En relació al VCI, el temps mitjà de temps emprat en buscar aparcament a Barcelona es situa entre els 8 i 20 min. Aquest temps difereix al llarg del dia i de la zona on s'intenta efectuar l'aparcament. En aquest cas, hem optat per utilitzar com a valor de referència els 14 min., incloent el temps emprat per aparcar. A més el temps estimat entre el punt d'aparcament i domicili és de 4 min.

En relació al VE, el càlcul es força més complex. Segons el grup municipal B:SM (Barcelona Serveis Municipals), l'Ajuntament gestiona 40 aparcaments públics, distribuïts per Barcelona ens punts estratègics de la ciutat. (B:SM, 2016) Considerant que aquests serien els aparcaments en els que un usuari de VE tindria el punt vinculat, ens cal determinar quin seria el temps mig d'accés des del seu domicili. Per fer una estimació, utilitzarem la hipòtesi que els aparcaments estan uniformement distribuits en l'àrea de Barcelona.

L'àrea de Barcelona és de 101km$^2$, fet que comporta que els aparcaments abarcarien cadascun una àrea aproximada de 2.5 km$^2$, i es situen en el centre del àrea que tenen assignada. Al seu torn, i emulant la figura rectangular de la superfície de Barcelona, decidim que cada àrea de 2.5 km$^2$, es dimensiona com 2 km en la horitzontal i 1.25 km en la vertical.

**Equació 2 Recorregut mig fins a aparcament públic**

$$\text{Area assignada per cada aparcament} = 2.5km^2$$

$$\text{Dimensions en rectangular} \rightarrow x = 2km \text{ ; y} = 1.25\text{km}$$

$$\text{Recorregut mig } = \frac{1}{4}x + \frac{1}{4}y \rightarrow 0.5 + 0.31 = 0.81km$$

***Font: Elaboració pròpia***

Així, podem calcular el recorregut estimat mig que haurà de recórrer un usuari (tan sols considerats desplaçaments en vertical i horitzontal), obtenint un valor promig de 0.81 km. A partir del valor de 4 km/h de velocitat a peu, la distància mitja al aparcament públic més proper es situa en els 12 min. A aquest valor caldrà sumar-li el temps emprat en aparcar dins del aparcament, ja que no només cal entrar en el aparcament cobert sinó que també cal connectar el vehicle a la xarxa elèctrica.

A la següent taula mostrem els valors aproximats del que suposa tant per VCI com per VE l'aparcament durant la nit. Es considera que el valor del temps, segons l'estàndard UNITE, és de 12.79€/h. (AECR, 2003)(ROCA, 2004)

**Taula 5-5 Conjunt de costos relacionats amb el temps d'accés al aparcament**

| Etapa del desplaçament | VCI | VE |
|---|---|---|
| Trajecte fins al punt d'aparcament | 4 min | 12 min |
| Desaparcar | 0 min | 2 min |
| Buscar aparcament al tornar | 14 min | 0 min |
| Aparcar | 0 min | 2 min |
| Trajecte cap al domicili | 4 min | 12 min |
| **Temps total** | 22 min | 28 min |
| **Cost total** | 4.69€ | 5.97€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Aplicarem aquest cost a un de cada cinc VE, ja que són els que hem estimat que necessitarien aparcament vinculat per falta d'aparcament en el seu domicili. Introduint aquest impacte en el nostre anàlisi, recalculem els beneficis per agent, així com el benestar total relacionat amb el projecte. Els resultats es mostren a continuació:

**Taula 5-6 Resultats del ACB considerant el temps d'accés al aparcament**

| ACB incloent el ús de fonts renovables | | | |
|---|---|---|---|
| **Usuaris** | **Societat** | **Admin. Pública** | **Total** |
| 15.6 M€ | 27 M€ | -55.1 M€ | -12.5 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Amb l'inclusió del temps d'accés al aparcament, el benestar del projecte ha disminuit considerablement, passant de -9.8M€ a -12.5M€. Aquesta reducció del 28% del benefici total, ens revel·la l'importància del valor del temps d'accés. Com a conseqüència, cal que l'Ajuntament tingui en gran consideració el fet de proporcionar a cada usuari de punt de recàrrega vinculada en la millor de les localitzacions segons el seu domicili.

A més, cal comentar que els temps d'accés considerats segueixen un criteri de mínims. En aquest sentit, existeixen nombrosos estudis de valoració del temps en la mobilitat, entre els que destaquem els d'Anna Matas, on es presenten majors valors del temps quan aquest és recorregut a peu que en el vehicle. Com a conseqüència, el resultat final seria encara menys favorable, donada la gran inversió en temps per accedir al punt de recàrrega vinculada en aparcament públic.

### 5.2.5. Anàlisi comparatiu de les variacions

Un cop presentades diferents mesures per a modificar el benefici final del projecte d'implantació, resulta interessant realitzar un anàlisi comparatiu d'aquestes. L'objectiu és constatar quin tipus de mesures són les que representen un augment més clar en el benefici final, i alhora preguntar-se si són factibles d'acomplir.

En aquest sentit, presentem els resultats obtinguts conjuntament, adjuntant el valor de la variació del benefici en relació al escenari base, és a dir, al escenari analitzat en el ACB.

**Taula 5-7 Recopil·lació de mesures a adoptar i sensibilitat del ACB**

| | Usuaris | Societat | Admin. Pública | Total | Variació |
|---|---|---|---|---|---|
| **Escenari base** | 18,3 | 27 | -55,1 | -9,8 | - |
| **Impost CO2** | 19,4 | 27 | -56,2 | -9,8 | 0% |
| **Ús renovables** | 18,3 | 33,2 | -55,1 | -3,6 | 63% |
| **Reducció preu 10%** | 30,6 | 27 | -55,1 | 2,5 | 126% |
| **Temps d'accés** | 15,6 | 27 | -55,1 | -12,5 | -28% |

***Font: Elaboració pròpia***

El primer que es pot observar és que tot i la disparitat de beneficis finals obtinguts en els escenaris estudiats, el benefici en gairebé tots ells segueix essent negatiu, fet que dóna poca viabilitat al projecte en qualsevol cas.

Tot i així, les repercussions arran de les diferents mesures proposades són molt diferents. En primera instància, es constata que una disminució del 10% en el preu del vehicle elèctric faria viable el projecte. Això es deu a que la reducció s'aplica directament en els usuaris, que veuen incrementat enormement els seus beneficis si es passen al transport amb vehicle elèctric.

Tanmateix, una reducció en el preu del vehicle, tot i que ja ha estat vaticinada per nombrosos estudis donat els intents de millora de les bateries, és un impacte difícil de predir. En aquest sentit, no resulta lògic assegurar que el preu baixarà i el projecte esdevindrà viable en un futur pròxim. En canvi, sí que és desitjable que des de les institucions s'inverteixi en recerca i investigació sobre aquest tipus de tecnologies, amb la finalitat de proporcionar tecnologies més eficients i econòmiques. Aquestes millores, que poden ser impulsades des de Catalunya si aquesta esdevé un punt neuràlgic de promoció del vehicle elèctric, tal com s'apunta entre les estratègies d'impuls del IVECAT 2010, poden desencadenar la disminució dels preus.

En relació a la contaminació atmosfèrica i a les fonts d'energia utilitzades en l'obtenció de l'electricitat, queda pal·lès que apostar per fonts d'energia netes dotarà al nostre projecte de major viabilitat i benefici. En aquest sentit, si des de la Generalitat es potencia l'ús d'energies renovables, no només es reduiran els valors de contaminació atmosfèrica a la ciutat de Barcelona, sinó que es magnificaran els beneficis del projecte en el conjunt de la societat.

En canvi, impostos com l'impulsat en l'avantprojecte de Llei contra el Canvi Climàtic del 2018, no suposen una millora clara en el sistema, ja que com es pot observar en els resultats, no aporta variació al benefici incial del projecte.

Per contrapartida amb la resta de mesures, la valoració del temps d'accés comporta una disminució del benestar en el projecte d'implantació del vehicle

elèctric. En efecte, la necessitat de punt vinculat i el conseqüent desplaçament des del domicili, frenen la viabilitat del projecte. El que caldria, doncs, és una major extensió de la xarxa d'aparcaments públics a Barcelona, per poder donar espai als vehicles de tots els usuaris que ho necessitin. Malhauradament, aquest fet implicaria una gran inversió, comportant uns majors costos i, en definitiva, una pèrdua de benefici pel projecte.

Finalment, cal fer un incís en que les mesures mencionades tan sols comporten majors beneficis per a la societat o per al conjunt d'usuaris. Mentrestant, l'administració pública segueix tenint despeses molt elevades, inalterables en la majoria dels casos amb les mesures que s'han proposat. De fet, donat el benefici actual pels usuaris, l'administració pot retirar part de les mesures compensatòries als usuaris, i aquests últims seguir tenint beneficis. Amb aquest acte, el sector públic podria disminuir el seu dèficit, donant més possibilitats al projecte per a que sigui implementat.

## 5.3. Repercussions del anàlisi. Model elèctric

Un cop hem realitzat l'anàlisi cost benefici relacionat amb el nostre projecte d'implantació del vehicle elèctric a Barcelona, constatem que aquest no resulta viable sota les característiques actuals. No obstant, si l'Administració el volgués impulsar igualment, caldria especificar com es pot fer efectiu. En altres paraules, cal determinar en què es materialitzaria el projecte d'implantació, i les repercussions que això comportaria.

En aquest sentit, cal fixar una sèrie d'objectius a seguir, així com determinar les noves infraestructures que s'han d'habilitar per a fer viable el projecte. En els següents apartats procedirem a aquesta determinació.

### 5.3.1. Obejctius a assolir

Els objectius per la implementació del projecte han d'abarcar tots els aspectes ressaltats en el nostre ACB. En essència, els objectius resulten un full de ruta per a fer possible el projecte d'implantació del vehicle elèctric a Barcelona.

Els objectius més rellevants de la implementació del projecte, en matèria de l'adquisició i ús del vehicle elèctric, són:

- Assoliment d'una quota de desplaçaments del 10% efectuats amb vehicle elèctric, tant els desplaçaments de connexió com en els desplaçaments interns. El 10% correspon, aproximadament, a uns 71000 desplaçaments interns en dia feiner, amb distància de 6 km aproximadament, més 81000 desplaçaments de connexió, amb una distància mitjana de 26 km.

- Matriculació a Catalunya de 41000 vehicles elèctrics, que es reparteixin entre ambdós tipus de desplaçament. L'administració pública hauria d'invertir 32.9 M€ anuals per ajudar als costos d'adquisició dels vehicles elèctrics esmentats.

- Potenciament de les energies renovables per al subministrament d'energia al vehicle elèctric. Reducció des del 60% al mínim possible de la contribució de fonts no renovables en la generació de l'electricitat pels vehicles. Foment de la recompra de l'energia sobrant dels vehicles per part de les companyies, per a poder repartir-la posteriorment.

- Foment de la investigació i el desenvolupament de tecnologies del vehicle elèctric, amb la finalitat de dissenyar components més eficients i econòmics. Estudi de les bateries, font principal de les limitacions d'explotació d'aquest vehicle.

- Foment d'una indústria del VE puntera a Catalunya, amb la voluntat de crear un sector industrial que participi en el vehicle elèctric i desenvolupi un entorn competitiu, generador de valor afegit pel territori. Reducció de costos relacionats amb el vehicle amb l'aparició d'un mercat amb major oferta i competitivitat, tant en l'adquisició com en el manteniment.

- Continuació i promoció de campanyes a favor del ús del vehicle elèctric. Recolzament a iniciatives com LIVE, ajudant al ciutadà a decidir-se a la compra i ús del vehicle elèctric. Creació de conscienciació en temes ambientals i de canvi climàtic via programes d'educació ciutadana.

- Augment de la presència del VE en les flotes de les institucions públiques, no només per a millorar la qualitat del aire sinó per mostrar exemplaritat.

- Creació de noves infraestructures per acomodar el nou model de transport a Barcelona. Inversió en aparcament per a tot vehicle elèctric que ho reclami, així com en punts de recàrrega en superfície.

### 5.3.2. Noves infraestructures

Com s'ha comentat en els objectius del projecte, cal una inversió en infraestructures per a fer possible l'implantació del vehicle elèctric a la ciutat de Barcelona. Aquestes infraestructures, en major mesura, són derivades de la necessitat d'aparcament i de recàrrega a la via pública.

#### ➢ Parking

Al llarg del nostre estudi, hem decretat la necessitat d'aparcament cobert per a tot vehicle elèctric. El aparcament cobert és indispensable ja que és on el vehicle efectuarà les seves recàrregues principals, aprofitant les hores vall de la nit.

Ara bé, no tothom té aparcament en el seu domicili, i cal doncs proporcionar un espai on estacionar el vehicle si s'ha de recarregar. Segons el nostre estudi, s'ha determinat que un de cada cinc vehicles a Barcelona s'aparca al carrer per falta d'aparcament cobert.

Si com s'ha suposat en el ACB, la distribució dels usuaris de vehicle elèctric segueix els mateixos patrons que els de vehicles convencionals, cal esperar que el 20% dels vehicles elèctrics necessitaran d'espais d'aparcament. Aquest 20% es materialitza en aproximadament 8000 vehicles.

En aquest sentit, l'Ajuntament haurà de proporcionar aparcament a aquests 8000 usuaris si ells ho reclamen. La cessió de les places d'aparcament prové de la mesura adoptada per l'Ajuntament de Barcelona de proveïr a cada usuari de vehicle elèctric de plaça si no en disposen.

Aquesta mesura, té una difícil materialització. La dificultat radica en la gran quantitat de places que han de ser reservades a usos del vehicle elèctric. Basant-nos en els valors aportats l'empresa B:SM (Barcelona Serveis Municipals), actualment hi ha a Barcelona uns 40 aparcaments públics distribuits per la ciutat, i compten amb un total de 13000 places. En aquest sentit, si amb aquests aparcaments s'hagués de fer front a la necessitat de places nascuda de l'implantació del VE, el 60% de les places quedarien ocupades per aquest tipus de vehicle. Suposant una distribució equitativa del nombre de places per aparcament, cada un d'aquests parkings hauria de posar a disposició del VE unes 200 places.

Tot i habilitant la rotació en les places, ja que es considera que moltes de les places quedarien buides durant el dia i podrien ser utilitzades per tot tipus de vehicles, la implicació dels aparcaments en aquest tipus de vehicle seria massa acusada. Com a conseqüència, l'Ajuntament hauria de buscar altres opcions d'aparcament per a encabir els nous vehicles elèctrics, o relegar l'ús dels aparcaments citats només a aquest col·lectiu. De fet, si s'inclou el nombre d'aparcaments bàsicament per a residents, el còmput global d'aparcaments disponibles augmenta fins a 70, amb el conseqüent disminució de la aportació que cada aparcament a de fer a places per VE.

Basant-nos en els resultats del ACB, la inversió en aparcament es situaria en 7.9M€ anuals, per poder proporcionar les places necessàries. Tanmateix, aquest valor pot augmentar dràsticament si no existissin places suficients en aparcaments públics. En aquest cas, l'administració hauria o bé de construir nous equipaments, amb un elevadíssim cost marginal per plaça, o adquirir els drets per utilitzar places en aparcaments de titularitat privada.

En definitiva, aquest és un problema que caldrà ser solucionat en un futur si el projecte finalment s'implementa. Amb tota probabilitat, ajudes com aquesta seran revocades, o significativament replantajades, amb la finalitat de no incórrer en un major dèficit per part de l'administració.

- **Punts de recàrrega**

En aquest projecte, s'ha distingit entre els punts de recàrrega situats en domicili, en aparcament públic, i en la via pública. Aquesta distinció es deu a les diferents característiques dels punts de recàrrega, i a les necessitats dels usuaris en cada circumstància.

Primer, ens centrem en els punts situats en el domicili dels usuaris de vehicle elèctric. Com s'ha comentat, la llei espanyola permet la incorporació dels elements de recàrrega i control en les places d'aparcament, amb lleis de propietat horitzontal o lleis relaiconades amb el règim elèctric a vivendes. Nogensmenys, depenent de si la plaça és en vivenda unifamiliar o en aparcament col·lectiu, tindrà diferents costos d'instal·lació.

Segons els resultats obtinguts en el ACB, a Barcelona caldrà instal·lar unes 35000 bases murals per a particulars amb aparcament propi, amb un cost aproximat de 1000€ per base, i una vida útil de 10 anys. Així, els costos en punts de recàrrega imputats als usuaris es situaria en uns 3.3 M€.

Ara bé, com s'acaba d'explicar en el apartat anterior, el 20% dels usuaris de vehicle elèctric s'acolliran a la mesura d'aparcament públic vinculat per efectuar les seves recàrregues. En aquest sentit, l'administració haurà de pagar per l'instal·lació d'aquests punts de recàrrega, que suposen uns 8000, repartits pels aparcaments públics de Barcelona. Aquesta inversió tindrà un valor estimat de 0.8M€ anuals.

L'administració pública, apart de la inversió en aparcaments públics, haurà d'invertir en la creació de 8000 punts de recàrrega en la via pública. Aquest valor apareix de la voluntat del projecte de tenir 1.2 punts de recàrrega per vehicle elèctric en circulació a Catalunya. Com a valor de la inversió, aquesta es situarà en 4.3M€.

La localització dels punts de recàrrega, lluny de la situació actual d'escassa planificació, necessita un estudi profund dels patrons de mobilitat de la ciutat de Barcelona. Una planificació acurada comportarà grans millores en el sistema de transport de la ciutat, i esdevindrà clau per a la correcta implementació del projecte. Com a base, es poden utilitzar experiències com la del Bicing per desentrellar quins són els millors punts del viari de Barcelona per a col·locar els punts de recàrrega en superfície. A més, cal intentar prioritzar en la planificació els enclavaments estratègics per a la mobilitat de Barcelona, com les principals estacions de tren, el port, les zones comercials o d'estudis, etc.

### 5.3.3. Repercussions ambientals

Una de les raons per impulsar el vehicle elèctric a la ciutat de Barcelona és la d'intentar reduir la contaminació, tant atmosfèrica com acústica, que actualment pateix la ciutat. En efecte, una reducció dels índex d'emissió comportaria una millora en la qualitat de vida i benestar dels ciutadans.

Amb l'aplicació del porjecte d'implantació del vehicle elèctric, els canvis en emissions de gasos contaminants són molt positius en general. Considerant que la generació de l'electricitat encara es realitza 60% amb energies no renovables i 40% fonts renovables, les variacions són les següents:

- Emissió de $CO_2$: Aquest tipus d'emissió és la més contaminant per la quantitat de gasos que s'emeten a l'atmosfera. Sense l'aplicació del projecte, les

emissions per VCI són de 2.03M tones $CO_2$. En canvi, passem a uns 1.87M de tones, suposant una reducció del 8% en les emissions.

- Emissió de $SO_2$: Aquesta emissió és molt més reduïda que la de $CO_2$, però també cal tenir-la en compte. Amb la irrupció del vehicle elèctric, es produiria un augment del 9% d'aquest gas, passant de 527 tones/any a 576 tones/any. Aquest augment es deu al gasos emesos en la generació de l'electricitat pels vehicles.

- Esmissió de $NO_x$: Arran de la implantació del vehicle elèctric, es produiria un augment del 8% d'aquest element, passant de 725 tones/any a 783tones/any.

Recollim la informació obtinguda en la següent taula, per a una visualització més àgil de la situació:

**Taula 5-8 Situació actual i projectada per l'implementació del projecte. Gasos emesos**

| Gas emès | Situació actual | Projectat | Variació |
|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 2.03 M tones/any | 1.87 M tones/any | -8% |
| $SO_2$ | 527 tones/any | 576 tones/any | +9% |
| $NO_X$ | 725 tones/any | 783 tones/any | +8% |

***Font: Elaboració pròpia***

Cal ressaltar que la millora és significativa, ja que tot i augmentar en els gasos $SO_2$ i $NO_x$, aquests són molt inferiors en emissions que el $CO_2$, i aquest últim es veu clarament reduït. Tot i així, els nivells de tant el $SO_2$ com $NO_x$ són preocupants, ja que són més nocius per la salut de les persones. Cal promoure eines per a reduir aquestes emissions i, en conseqüència, millorar el benestar de les persones.

Aquesta reducció d'emissions arran de la implantació del vehicle elèctric, i conseqüent millora de la qualitat del aire, és raó suficient per promoure el projecte. Tanmateix, la reducció seria molt més accentuada si s'aconseguís generar l'energia necessària pel vehicle elèctric amb fonts d'energia renovables. D'aquesta forma, la contaminació atmosfèrica deguda al VE seria nul·la.

En relació a la contaminació acústica, el vehicle elèctric representa una disminució de la contaminació en un 40% respecte el VCI. Com a consequència, en el conjunt del parc mòbil i desplaçaments de Barcelona, es produiria una rebaixa del 6% en els nivells de contaminació acústica.

Aquesta reducció suposaria una major pacificació del trànsit a la ciutat, provocant una major sensació de benestar en el conjunt de la societat.

# 6. Rendibilitat financera pels usuaris de vehicle elèctric

## 6.1. Rendibilitat financera. Cas Barcelona

En aquesta secció, ens centrem a estudiar la rendibilitat financera del projecte, des del punt de vista dels usuaris. En aquest sentit, es vol esbrinar si la elecció de canvi a vehicle elèctric representa una inversió favorable per al usuari.

Per a poder calcular la rendibilitat, ens caldrà presentar un conjunt d'hipòtesis, així com explicar un parell de conceptes econòmics: el VAN i el TIR, i la corresponent taxa de descompte.

### 6.1.1. Principis i hipòtesis utilitzades

Amb el concepte de rendibilitat financera ens referim a la ràtio o taxa entre el retorn que genera una inversió i la quantitat invertida, referenciada a un horitzó temporal. Així, la rendibilitat s'expressa com un indicador que permet comparar diversos projectes d'inversió, mostrant el rendiment que generen al cap d'un període determinat.

En altres paraules, ens mostra la eficiència d'un projecte en relació a la inversió. En el nostre cas, ens centrem en determinar si la elecció de vehicle elèctric resulta beneficiosa des del punt de vista d'inversió pels usuaris.

Per a ser precisos en el nostre estudi, estudiarem la rendibilitat financera tant per un usuari concret com pel conjunt dels usuaris involucrats en el projecte. En el primer cas, realitzarem la distinció entre usuaris enmarcats en desplaçaments de connexió i usuaris de desplaçaments interns. Per altra banda, el conjunt dels usuaris ens és vital per poder determinar el nivell d'ajudes globals que l'administració haurà d'aportar per a fer viable el projecte des del punt de vista de rendiment financer.

En el marc de les hipòtesis utilitzades, cal remarcar que aquestes són imprescindibles, ja que aporten generalitat als nostres càlculs. Sense elles, hauríem de calcular el cas per a cada usuari, ja que cada un d'ells tindrà les seves necesitats de desplaçament i aparcament úniques.

Les principals hipòtesis amb les que es treballen són:

- La compra del vehicle es realitza en el primer any, en la seva totalitat.
- Els usuaris que necessiten substituir la bateria, la substitueixen en el cinquè any, coincidint amb el final de garantia.
- Tots els usuaris tenen aparcament en el seu domicili.
- No hi ha inflació en el període determinat pel projecte.

### 6.1.2. Conceptes de VAN i TIR

Com hem comentat, abans de realitzar l'anàlisi de rendibilitat financera, cal que introduim els conceptes de VAN i TIR.

El Valor Actual Net (VAN), també conegut com Valor Actualitzat Net, és un indicador que ens permet determinar el valor present d'una sèrie de fluxos de caixa futurs, originats per una inversió. El procediment es basa en descomptar al moment actual tots els fluxos de caixa dels següents anys, i comparar el resultat obtingut amb el de la inversió inicial. Per realitzar les actualitzacions al temps present, s'utilitza la taxa de decompte, en la que aprofundirem en el següent apartat.

El VAN resulta molt útil per a la valoració d'inversions, ja que ajuda a prendre decisions en relació a la viabilitat d'un projecte. En general, els valors del VAN i la presa de decisió segueixen el següent patró:

- Si el VAN>0, el projecte genera valor per sobre del rendiment exigit. En aquest escenari, el projecte es pot acceptar.
- Si el VAN=0, el projecte no genera valor per sobre de la rendibilitat exigida. En conseqüènica, la decisió s'ha de basar en altres criteris, com la millora del medi ambient, el posicionament de futur, etc.
- Si el VAN<0, el projecte destrueix valor, és a dir, la inversió produiria pèrdues en la rendibilitat. En aquest sentit, el projecte hauria de ser rebutjat.

En els projectes, es solen comparar les alternatives utilitzant el VAN per a comprovar quina d'elles resulta més beneficiosa. Normalment, la alternativa amb el VAN més alt acostuma a ser la millor pel projecte.

La Taxa Interna de Rendibilitat (TIR), és una mesura del rendiment al venciment d'una inversió, en forma de taxa anual. Permet comparar diferents projectes ja que mostra la rendibilitat final al venciment del projecte.

En aquest sentit, podem parlar de la TIR com la taxa d'interès "r" que fa que el valor actualitzat net (VAN) d'un projecte d'inversió sigui igual a 0. En altres paraules, és la taxa d'interès que iguala el preu d'un projecte d'inversió amb els seus fluxos de caixa.

A l'hora de l'elecció de la viabilitat d'un projecte segons la TIR, i comparant amb el cost d'oportunitat "i", distingim:

- Si TIR > i, el projecte és rendible, i s'hauria de procedir a la seva realització.
- Si TIR = i, el projecte no genera valor, resulta indiferent a nivell de rendibilitat financera.
- Si TIR < i, no resulta beneficiós realitzar el projecte.

En conclusió, quan ens referim a la TIR, primer cal que aquesta sigui superior a la taxa de cost d'oportunitat. Després, entre les alternatives que superin aquest requisit, s'escollirà la que ofereixi una TIR major.

### 6.1.3. Taxa de descompte

En el moment d'agregar costos i beneficis que es generen dins d'un horitzó temporal comú però en moments diferents, cal aplicar un factor correctiu que permeti actualitzar-los. Un cop els costos futurs són duts al present, es poden comparar.

En definitiva, es necessita un factor, anomenat d'ara en endavant taxa de descompte, per reflectir el cost d'oportunitat dels recursos emprats, i poder realitzar una valoració relativa dels beneficis i costos en diferents moments del horitzó d'avaluació del projecte.

A la taxa de descompte també se l'anomena rati social de preferències temporals (segons el SAIT), amb el acrònim de STPR. Així, s'expressa la idea de que la societat prefereix els beneficis actuals als futurs, basant-se en la concepció pura de consumir en el present i no en temps futur. Aquesta preferència temporal pura es situa entre 0 i 3%.

En general, existeix força discrepàncies sobre quina taxa de descompte cal emprar, però en la majoria de casos es decideix optar per la del STPR. Cal destacar que en ocasions s'utilitzen taxes de descompte diferents en els costos i beneficis segons el caràcter ambiental que tinguin. Això es deu al supòsit que, a mesura que els recursos naturals siguin més escassos, aquests es valoraran en major mesura.

A Catalunya, el SAIT recomana emprar una taxa de descompte social del 3% en termes reals, en cas que no es disposi d'un altre valor proporcionat per un agent involucrat. Aquesta taxa no es veurà afectada per la inflació, i pot resultar molt efectiva com a primera aproximació a la determinació de la rendibilitat del projecte.

## 6.2. Anàlisi de rendibilitat financera

A continuació ens dediquem a particularitzar l'estudi de rendibilitat financera al cas d'implantació del 10% de vehicles elèctrics a la mobilitat de Barcelona. Amb aquest apartat, pretenem dotar al nostre estudi d'una base sòlida per a determinar la viabilitat del projecte segons al rendiment financer esperat.

En aquest sentit i amb consonància amb el que ja s'ha fet amb l'estudi de sensibilitats del ACB, mostrarem diferents escenaris possibles en el projecte. Amb ells, es podrà constatar quines mesures aporten una major rendibilitat i, en definitiva, mostren una millor perspectiva de triomf del projecte.

### 6.2.1. Usuaris sense cap ajuda

En primera instància, es vol comprovar el rendiment esperat del canvi de tipus de vehicle, passant de VCI a VE. Si l'usuari directament surt reforçat

financerament del canvi de tipus de vehicle, és a dir, que la seva inversió li proporciona rendiments positius i superiors al cost d'oportunitat, serà un clar impuls del VE. En canvi, si l'usuari surt perjudicat pel canvi, caldrà engegar, per part de l'administració, mesures compensatòries per a afavorir la elecció de vehicle elèctric per part dels usuaris.

Com s'ha comentat en les hipòtesis, l'usuari tipus tindrà aparcament, cosa que ajudarà al càlcul i no pedrem gaire generalitat. Apart d'això, cal remarcar que l'estudi es realitza primer segregant per tipus de desplaçaments , és a dir interns i de connexió, i després es calcula pel total d'usuaris.

La distinció segons el tipus de desplaçament es deu principalment a dos factors: el consum d'electricitat i estalvi respecte el consum de combustible fòssil, i la necessitat o no de substituir la bateria.

Com a afegit, realitzem també l'estudi per al conjunt, per a que aquest càlcul resulti una radiografia de referència per a les posteriors variacions. El càlcul general ajuda a poder determinar l'abast de les mesures compensatòries necessàries per a la implementació del projecte de forma viable.

A continuació mostrem els resultats obtinguts. Com es pot observar, està distribuït per fluxos anuals, segregats al seu torn entre les diferents fonts de costos i beneficis. Tot valor en positiu és un benefici, i en negatiu resulta un cost.

A més, cada anàlisi de fluxos té associat el seus indicadors de VAN i TIR, per a poder visualitzar l'impacte en el rendiment dels fluxos.

- **Usuaris sense ajuda. Desplaçaments de connexió**

**Taula 6-1Rendibilitat financera per usuari de connexió sense ajudes**

| Rendibilitat financera per usuaris de connexió | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -16500 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible - Electricitat | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 |
| Manteniment | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Flux** | -15301 | 2199 | 2199 | 2199 | -2801 | 2199 | 2199 | 2199 | 2199 | 2199 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | -1% |
| **VAN** | -2.546€ |

***Font: Elaboració pròpia***

El primer que cal ressaltar és que tant la TIR com el VAN són negatius, és a dir, desaconsellen el projecte ja que destrueix valor a la inversió. En aquest sentit,

podem constatar que l'adquisició d'un vehicle elèctric, si aquest no està subjecte a ajudes econòmiques, no és una bona inversió des del punt de vista financer.

Tanmateix, la gran ajuda que aporta l'estalvi de diners en relació al ús de electricitat i no de carburant demostra el potencial del vehicle elèctric. Per contrapartida, la necessitat de comprar una nova bateria en el any cinc, amb l'elevat cost que això suposa, fa virar la rendibilitat cap al terreny negatiu.

- **Usuaris sense ajuda. Desplaçaments interns**

**Taula 6-2 Rendibilitat financera per usuari interns sense ajudes**

| Rendibilitat financera per usuaris interns | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -16500 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible – Electricitat | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 | 422 |
| Manteniment | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 | 368 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -3000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Flux** | -16709 | 790 | 790 | 790 | -2209 | 790 | 790 | 790 | 790 | 790 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | -19% |
| **VAN** | -12.834,9€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Resulta molt interessant notar que la rendibilitat per a un usuari enmarcat en desplaçaments interns per Barcelona és molt negativa. En efecte, aquest -19% mostra que per a un usuari que tan sols necessita desplaçaments en l'interior de Barcelona, la opció de vehicle elèctric no és gens rentable des del punt de vista econòmic.

La disparitat de rendibilitats es deu al consum d'electricitat, fent que per un usuari de connexió, amb major distàncies de desplaçaments, el seu estalvi sigui molt superior.

En definitiva observem que, per ambdós tipus d'usuaris, el vehicle elèctric no resulta la millor opció si no tenen ajudes, i que la negativa és accentuada en aquells que s'enmarquen en els desplaçaments interns.

- **Usuaris sense ajuda. Conjunt**

**Taula 6-3 Rendibilitat financera per conjunt d'usuaris sense ajudes. Valors en M€**

| Rendibilitat financera per usuaris | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -677,1 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible - Electricitat | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 |
| Manteniment | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -161,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Flux** | -654,9 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | -98,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | -8% |
| **VAN** | -297 M € |

***Font: Elaboració pròpia***

Quan s'analitza el conjunt dels usuaris i la seva rendibilitat, s'observa que la inversió no té rendibilitat positiva en l'escenari d'absència d'ajudes. En altres paraules, si no hi ha ajudes al vehicle elèctric, els usuaris no veuran la seva inversió en el canvi de tipus de vehicle recompensada econòmicament. En efecte, la rendibilitat interna del projecte pels usuaris és de -8%, i el VAN gairebé arriba als -300 M€.

Aquest és un fet molt important, ja que mostra que hi ha un llarg camí per recórrer per aconseguir rendiments positius a la inversió de vehicle elèctric. Doncs, queda pal·lesa la necessitat d'implementar ajudes per assegurar la viabilitat del projecte, que encoratgin als usuaris a adquirir els nous vehicles.

Cal recordar que tan sols quan un projecte té un TIR superior al cost d'oportunitat, serà viable financerament tirar-lo endavant. En conseqüència, sota les condicions de cap ajuda, s'ha de rebutjar el procés d'implantació.

### 6.2.2. Usuaris amb ajuda a la compra

Degut a la falta de rendibilitat pels usuaris sense cap tipus d'ajuda, cal introduir mesures compensatòries per a viabilitzar el procés d'adquisició de vehicles elèctrics. En altres paraules, cal comprovar si la inversió augmenta de rendibilitat amb la incursió de mesures d'ajuda.

Per a començar, ens centrem en les mesures impulsades per l'administració central, amb els Plans PIVE i Movele, que poden sufragar fins a 8000€ del preu de compra d'un vehicle elèctric tipus. Aquestes mesures, pressumiblement, faran

augmentar tant la TIR com el VAN, donant raons per a invertir en el vehicle elèctric.

Nogensmenys, cal determinar quin nivell de rendibilitat mostren, ja que potser no arriben a superar el llindar del cost d'oportunitat, i conseqüentment el projecte hauria de ser rebutjat.

A continuació, mostrem els resultats obtinguts a nivell global, així podem constatar la magnitut del projecte, així com els resultats totals de rendibilitat de la inversió.

**Taula 6-4 Rendibilitat financera per usuaris amb ajuda a la compra. Valors en M€**

| **Rendibilitat financera per usuaris amb ajuda a la compra** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -348,8 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible - Electricitat | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 |
| Manteniment | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -161,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Flux** | -326,6 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | -98,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | 4% |
| **VAN** | 21.6 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Amb l'ajuda a la compra, la rendibilitat de la inversió es dispara, passant del -8% al 4%. En efecte, aquest tipus de mesura ajuda enormement a donar viabilitat al projecte.

En cert sentit, cal promocionar plans com el PIVE o el Movele, ja que augmenten la rendibilitat que ocórre del canvi de VCI a VE. Tanmateix, suposa una inversió per part de l'administració molt important, ja que en el nostre estudi s'ha hipotetitzat que l'ajuda es realitza en la seva totalitat en el primer any.

De totes maneres, cal emfatitzar que un rendiment del 4% no és massa atractiu. Aquesta falta de rendiment pot desencadenar en pocs usuaris materialitzant el canvi, ja que no promet grans millores a la situació financera del possible propietari del vehicle elèctric.

Cal, doncs, observar si hi ha algun tipus de mesura extra que pot dinamitzar una mica més el projecte d'implantació del vehicle elèctric des del punt de vista de l'inversió.

### 6.2.3. Situació actual d'ajudes

Ara, cal comprovar quina seria la rendibilitat financera dels usuaris que optessin pel cotxe elèctric en el context actual d'ajudes. Actualment, apart de l'ajuda a l'adquisició de vehicles, hi ha una altra gran mesura: l'aparcament gratuït a Barcelona, tant en zona verda com blava.

Com s'ha calculat, aquesta mesura comporta un augment del benefici del conjunt d'usuaris de 9.4M€ anuals, que són no-percebuts per l'administració. Doncs bé, a continuació es mostren les dades referent als fluxos finals introduint l'aparcament gratuït.

Així, es pot observar la taxa de rendibilitat del projecte, i el seu valor actual net.

**Taula 6-5 Rendibilitat financera per usuaris amb sistema actual d'ajudes. Valors en M€**

| Rendibilitat financera per usuaris amb sistema actual d'ajudes | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -348,8 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible - Electricitat | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 |
| Manteniment | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -161,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aparcament (preu) | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 |
| **Flux** | -317,2 | 72,6 | 72,6 | 72,6 | -88,9 | 72,6 | 72,6 | 72,6 | 72,6 | 72,6 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | 9% |
| **VAN** | 101,5 M € |

***Font: Elaboració pròpia***

Amb la informació extreta del anàlisi de rendibilitat financera, veiem que l'ajuda de 9,4 M€ anuals té un gran efecte en l'augment de la rendibilitat, arribant a una cota considerable de 9%.

En aquesta línia, mesures com la d'aparcament suposen una gran millora en la perspectiva d'adquisició de vehicle elèctric per part dels ciutadans, ja que veuen augmentar qualitativament el rendiment de la seva inversió en aquest tipus de vehicle.

Aquest és un fet que cal ressaltar ja que posa de relleu la importància d'aquest tipus de mesures. Tot i que suposen un elevat cost per a l'administració, potser sí que queden legitimades degut al augment de rendibilitat que generen pels usuaris, i el conseqüent augment del atractiu per optar pel vehicle elèctric.

## 6.3. Optimització de les ajudes

En els apartats anteriors, s'han jutjat algunes de les mesures aplicades en el camp del vehicle elèctric actualment, tant a nivell nacional com municipal. Tot i així, tan sols representen una part del complex terreny de la rendibilitat financera.

Com s'ha pogut constatar, les variacions en la rendibilitat i en el valor de la inversió són molt grans, i depenen fortament de les ajudes que se'ls hi imputen. En aquest sentit, aquest últim apartat referent a la rendibilitat suposa una reflexió en la naturalesa de les ajudes, i en com aquestes influeixen en el el rendiment de la inversió final.

En altres paraules, es vol generar un càlcul que relacioni les ajudes aportades pel sector públic i el rendiment que els usuaris treurien de la seva inversió pel vehicle elèctric. Els resultats que s'obtinguin podran servir per elaborar decisions polítiques, ja que aquestes es veuen profundament afectades pel rendiment que poden generar.

Per exemple, una administració pot dictaminar que el seu llindar d'actuació són tot aquells projectes que tinguin com a TIR un valor entre 3%-6%. Doncs bé, es pot optimitzar el valor de les ajudes, així com la forma de repartir-les dins l'horitzó temporal del projecte, per assolir aquests nivells de TIR.

En el nostre cas, hem optat per mostrar quins haurien de ser les ajudes per part de l'administració pública per assolir TIRs de 3%, 5% i 9%. Els resultats es troben a continuació. Cal remarcar que pels resultats s'utilitza com a base l'escenari de referència de cap ajuda, i se li introdueix artificialment una quantitat d'ajuda de forma anual.

**Taula 6-6 Rendibilitat financera per usuaris. Optimització d'ajudes per a rendiment 3%**

| **Rendibilitat financera per usuaris. Optimitzat al 3%** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Any 1 | Any 2 | Any 3 | Any 4 | Any 5 | Any 6 | Any 7 | Any 8 | Any 9 | Any 10 |
| Compra | -677,1 | 0 | 0 | | | | | | | |
| Combustible - Electricitat | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 |
| Manteniment | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 |
| Bateries | 0 | 0 | 0 | 0 | -161,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Punt de càrrega | -41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ajuda | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| **Flux** | -619,9 | 98,2 | 98,2 | 98,2 | -63,2 | 98,2 | 98,2 | 98,2 | 98,2 | 98,2 |

| | |
|---|---|
| **TIR** | 3% |
| **VAN** | 1,4 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

**Taula 6-7 Recull d'ajudes amb TIR i VAN corresponent**

| Ajuda | TIR | VAN |
|---|---|---|
| 35M€/ANUALS | 3% | 1.4 M€ |
| 42M€/ANUALS | 5% | 61.1 M€ |
| 55M/€ANUALS | 9% | 172 M€ |

***Font: Elaboració pròpia***

Per a cada TIR, obtenim l'ajuda necessària per assolir-lo. Com es pot observar, aquesta ajuda va augmentant ràpidament alhora que augmenta la rendibilitat. Com a punt de referència, veiem que els 55M€ que vam decretar en el ACB que hauria d'invertir l'administració anualment, comporten una rendibilitat del 9%, així com un VAN de 172M€.

Resulta molt interessant observar com són més efectius per a la rendibilitat els tipus d'ajudes focalitzades en un punt (en el nostre cas es situen en el primer any), que els tipus d'ajuda fraccionades en el temps. Alhora, també tenen uns VAN superiors aquelles inversions que centren els esforços puntualment i no pas equidistribuidament.

A partir de les dades recollides, es poden prendre accions polítiques. En aquest sentit, cal que l'administració decreti quins són els llindars d'actuació en relació al VAN i el TIR, i estableixi un tradeoff entre les ajudes que pot aportar pel projecte, i la rendibilitat que s'en vol treure.

# 7. Implementació del model

## 7.1. Viabilitat del canvi de mobilitat

A continuació, presentem una reflexió sobre la viabilitat del projecte d'implantació del 10% de vehicles elèctrics en els desplaçaments de Barcelona. Aquesta reflexió s'estructura ente els diferents agents implicats, particulartizant en ells els avantatges i les problemàtiques que els hi poden sorgir.

### 7.1.1. Des del punt de vista dels usuaris

Els conjunt d'usuaris són el principal agent involucrat en el projecte, ja que ells són els que es veuen més clarament afectats pel canvi de mobilitat i per les implicacions que el canvi comporta. En aquest sentit, cal proporcionar idees sobre la factibilitat del projecte, centrarnt-nos en la visió dels usuaris.

Primerament, cal remarcar que al llarg del nostre estudi s'ha demostrat el reduït rendiment de l'inversió per VE. En la majoria d'escenaris estudiats, tant el rendiment com el benefici final són negatius, demostrant la poca factibilitat del projecte. En efecte, escenaris amb VAN i TIR negatius, o lleugerament positius, no resulten atractius per als usuaris.

De totes maneres, hem comprovat com el benefici augmenta i esdevé positiu quan existeixen un conjunt de mesures que el recolzen. Tot i augmentar la factibilitat del projecte, presenten noves problemàtiques. Entre elles, la forta dependència dels usuaris a les ajudes, que pot provocar greus problemes a la mobilitat si es revoquen revocades un cop ja ha estat engegat el projecte.

El flagrant desconeixement per part de la ciutadania de les prestacions reals dels vehicles elèctrics, així com dels positius impactes en la reducció d'emissions i millora del medi ambient que aquests vehicles comporten, poden ser una font de problemes per a la correcta implantació del projecte. En aquest sentit, cal que els possibles usuaris estiguin millor informats, mitjançant campanyes de conscienciació i educació sobre el vehicle elèctric i el medi ambient.

En el camp del vehicle elèctric pròpiament dit, existeix la pressumpció que es produiran disminucions en el preu en un futur pròxim, especialment accentuades per la reducció del cost de les bateries. Aquest fet, tal com s'ha estudiat, pot comportar una revitalització enorme del procés d'adquisició de vehicles.

Per últim, cal fer l'incís en que l'actual mercat del vehicle elèctric és molt poc competitiu a Catalunya. Malgrat els esforços des del sector públic per impulsar aquest tipus de tecnologies, el mercat segueix en la seva fase més inicial. Cal, doncs, impulsar veritablement el mercat del VE, així com els mercats complementaris a aquest com el de productes de valor afegit. Una indústria forta en aquest sector pot dinamitzar el procés d'implantació a Catalunya.

### 7.1.2. Des del punt de vista de la societat

Un dels millors arguments per impulsar el vehicle elèctric prové de la reducció d'emissions de $CO_2$, un dels responsables del escalfament global i del canvi climàtic, així com de la reducció de la contaminació acústica. Amb la implementació del projecte, la societat veurà àmpliament millorat el seu benestar i nivell de qualitat de vida.

Tanmateix, el canvi de model de mobilitat comporta efectes negatius. L'incursió del VE pot comportar l'augment de gasos nocius per la salut de les persones, com són el $SO_2$ i el $NO_X$. Aquests, tot i que apareguin en una quantitat molt més reduïda que el diòxid de carboni, poden resultar fatals per a la societat, ja que afecten a les mucoses, als pulmons, etc. Cal fer un seguiment d'aquest tipus d'emissions i la seva correlació amb malalties, amb la voluntat de crear polítiques per a la seva reducció.

Aprofundint una mica més, la viabilitat del projecte depèn enormement del canvi de model energètic. En altres paraules, tan sols quan l'electricitat per als vehicles es generi amb fonts d'energia renovables, com la eòlica, el projecte tindrà viabilitat econòmica i benefici social. Aquest fet mostra la complexitat darrere del projecte, ja que involucra el canvi de model energètic a Catalunya. En conseqüència, els projectes relacionats amb l'impuls del vehicle elèctric sempre han de ser recolzats per projectes de majors proporcions, com els de qualitat del aire, o de lluita contra el canvi climàtic.

Per a finalitzar els aspectes relacionats amb la societat, ens volem fixar en el benefici que el conjunt dels ciutadans experimentaran si el projecte es tira endavant. En efecte, segons el nostre ACB, la societat tindrà un benefici de 27M€ degut a la reducció d'externalitats negatives amb l'aparició del VE. Tanmateix, també extret del nostre ACB, per assolir aquest nivell de benefici per a la societat, l'administració haurà necessitat invertir del ordre de 55M€.

La reflexió neix de la comparació dels beneficis obtinguts per la societat en relació a la quantitat invertida dels impostos. Probablement, la societat no acceptarà un projecte que generi menys beneficis en externalitats que el que s'ha de destinar per a fer possible la reducció. En aquest sentit, el cost d'oportunitat és més elevat que el benefici obtingut. Per aquest motiu, des del nostre estudi no encoratgem despeses de l'administració que es situin per sobre del benefici d'externalitats per la societat.

### 7.1.3. Des del punt de vista de l'administració

Abans de començar, cal ressaltar el fet que en aquest estudi s'ha decidit anomenar a les institucions del sector públic com administració. En cap moment s'ha determinat a qui recauen les competències del vehicle elèctric, si a institucions a nivell nacional o a nivell municipal. Aquesta omissió d'autoria de les competències es deu al conjunt de discrepàncies que ocorren entre els diferents nivells de l'administració. A mode d'exemple, les mesures d'adquisició de vehicles poden ser imputades al govern central, mentre que la normativa d'aparcament recau en els ajuntaments de l'àrea de Barcelona.

En aquest sentit, els costos per administració haurien de ser segmentats pel tipus d'institució que se'n fa càrrec. Així, probablement reduiríem els nivells de dèficit que hem imputat a la administració de Barcelona, fet que donaria al projecte una major viabilitat.

No obstant, per al estudi s'ha calculat que la inversió per part del sector públic pel desplegament del projecte ha de ser de 55M€ anuals. Així, la inversió per tenir un 10% dels desplaçaments en vehicle elèctric representa entre el 2-3% del pressupost total del Ajuntament de Barcelona. L'elevada inversió, per a un reduït nombre d'usuaris i amb uns beneficis d'externalitat social inferiors a la pròpia inversió, no propicien massa la seva viabilitat.

En el camp dels aparcaments, amb l'estudi realitzat ha quedat pal·lès que cal prendre decisions, que s'estudiaran posteriorment en el marc de les ajudes i subvencions. Ara, tan sols determinem que per a fer viable aquest projecte, cal reformular les ajudes, evitant així un dèficit excessiu per part de les institucions públiques.

En relació a les infraestructures i punts de càrrega, la decisió de construcció sempre és arriscada. En realitat, el procés en que s'inclou la contrucció de punts de càrrega resulta, en certs sentits, massa tendenciós. Per a crear les infraestructures, l'administració ha de tenir la seguretat de que existeix la demanda d'usuaris suficient i, al seu torn, la demanda d'usuaris és dificilment augmentable si els usuaris no veuen que existeixin les infraestructures per a ells. Com a conseqüència, la construcció d'infraestructures ha de significar una aposta cap endavant del projecte, i no anar subjugada a la demanda inicial d'usuaris.

Per últim, l'administració ha de ser conscient de la temporalitat del projecte. En aquesta línia, cal que es fixin les estratègies tant a llarg plaç com a curt plaç. Ente d'altres, resulta indispensable tenir estudis de com pot variar la mobilitat amb la incursió de no només el 10% del vehicles elèctrics, sinó en quotes superiors. Només amb una vocació de llarg plaç, el projecte serà viable i tindrà continuïtat.

## 7.2. Limitacions del model

### 7.2.1. Aspectes limitants del model

En l'estudi que hem realitzat, hi ha una sèrie de limitacions que cal ressaltar, per a poder determinar a posteriori millores en futurs estudis en relació a aquest tema.

En el context de l'adquisició dels vehicles, cada usuari actualment té la seva forma de realitzar el pagament del vehicle, ja sigui directament o fraccionadament. En canvi, en el nostre càlcul de rendiments s'ha decidit hipotetitzar que la compra es realitza sempre en la seva totalitat en el primer any. Si aquesta és fraccionada, involucrant una inversió més distribuida en el temps, generaria unes diferents tases de rendiments i valors nets de la inversió.

Centrant-nos en el segment d'usuaris, s'ha determinat que els usuaris de vehicle elèctric serien aquells usuaris actualment de vehicle privat. En canvi, el model queda limitat a integrar nous usuaris que provinguin d'altres sectors de la mobilitat, com podria ser el sector de transport públic. En aquesta línia, es poden produir traspassos induits per l'atractiu del VE.

En relació a les emissions, ha estat necessari generalitzar l'emissió d'un vehicle tipus en un ambient urbà determinat. Nogensmenys, els rangs de contaminació atmosfèrica poden variar molt segons el tipus de desplaçaments, els nivells de congestió de la ciutat, el tipus de vehicle utilitzat, etc. En conseqüència, el model resulta un estudi general, però caldria particularitzar en una major mesura.

Com s'ha observat, les bateries juguen un paper cabdal en el model, repercutint molt negativament en els beneficis i rendiments d'aquest. Per aquest motiu cal tenir especial constància de les diferències que poden aconteixer amb la variació de prestacions de les bateries, així com el canvi en el seu preu o en la seva vida útil.

En general, la gran limitació del model és la falta de dinamisme d'aquest, que comporta una manca de flexibilitat. En altres paraules, el model no aplica variacions en els impactes degut al augment del %VE, sinó que els impactes són directament proporcionals al %VE. En futurs estudis sobre aquest tema, resulta vital trobar les relacions entre els impactes i el nombre de vehicles en circulació, per a poder optimitzar el parc mòbil.

### 7.2.2. Possibles millores

Fruit del caràcter estàtic del model, la principal millora és dotar al model de la capacitat d'introduir canvis dins l'horitzó temporal del projecte. En essència, cal desenvolupar metodologies que habilitin canvis al llarg dels anys d'avaluació del projecte, per poder millorar la veracitat dels resultats obtinguts.

Paral·lelament, com tot projecte de recerca, s'ha de buscar nous impactes que actualment no estiguin contemplats en l'anàlisi. Contra major sigui el nombre d'impactes, més real serà el nostre model a l'hora de dictaminar els beneficis i els rendiments.

En la mateixa línia que l'augment dels impactes estudiats, cal ampliar l'abast del projecte introduint d'altres agents implicats. Les empreses del sector de l'automoció o les empreses elèctriques, tot i que de diferent forma, també intervenen en l'implantació del vehicle elèctric a Barcelona. En un futur, és indispensable tenir-les en consideració, ja que juguen un important rol en la viabilitat final del projecte.

Finalment, remarcar que mesures com la de la taxa de descompte dependent del estat del medi ambient sembla força adient per aquest tipus d'estudis. En un model de caràcter més dinàmic, aquest tipus de taxes resultarien rellevants per obtenir resultats fiables.

## 7.3. Mesures fiscals. Ajudes i subvencions

### 7.3.1. Criteris d'acceptació de les ajudes

La funció principal de les ajudes és la de fer viable el procés d'implantació del vehicle elèctric, servint com eines per encoratjar als usuaris a passar al nou tipus de vehicle. Això ho fan mitjançant les rebaixes en els costos associats a la mobilitat, així com mitjançant incentius com els d'aparcament.

Doncs bé, tot i la bondat de les mesures, cal que aquestes siguin econòmicament viables i es destinin a la millor de les alternatives. En aquest sentit, ens referim al cost d'oportunitat del recursos que destina l'administració pública, i en la voluntat d'aquesta de vetllar per la distribució més òptima de recursos alhora que maximitzar els beneficis obtinguts.

En aquest estudi, hem basat els nostres criteris d'acceptació de les mesures de diferents formes. Un d'ells, que ja s'ha posat en relleu en relació al medi ambient, és el que els beneficis per externalitats han de superar o igualar els costos destinats per l'administració. En altres paraules, no resulta lògic que l'administració dediqui 55M€ a un projecte si només hi treu rendiment en beneficis per a la població de 27M€. Com a conseqüència, mesures que tan sols ajudin als usuaris han de ser detalladament revisades, ja que poden suposar uns dèficits molt elevats per a la administració i poca rendibilitat per a la societat.

El clar exemple de mesura només centrades en usuaris és la de l'aparcament en aparcaments públics per aquells que tingui vehicle elèctric. Suposa un enorme cost per l'ajuntament de Barcelona si s'imposa el vehicle elèctric a la ciutat, i en canvi el conjunt de la societat no es veu beneficiat.

Un altre gran criteri per l'acceptació de mesures és arran dels resultats del TIR i VAN per a cada escenari, amb absència o no d'ajudes. Amb les eines de rendibilitat financera, es pot determinar quines mesures suposen un major rèdit econòmic, i així poden ser seleccionades i prioritzades.

Altrament, cal que l'administració fixi els seus estàndards de rendiment desitjat per a aquest tipus de projectes. Com s'ha comentat en nombroses ocasions, al final aquesta decisió és política.

### 7.3.2. Suggeriments d'incorporació i revocament

A continuació, i arran dels resultats obtinguts en el anàlisi cost benefici, en l'anàlisi de sensibilitats i el de rendibilitat financera, s'extreuen aguns suggeriments en relació a les mesures que actualment existeixen en l'àmbit del vehicle elèctric.

La llista és la següent:

- Ajuda a la compra: Com ha quedat pal·lès en l'estudi, aquesta mesura és imprescindible per al correcte impuls del vehicle elèctric, ja que passa d'una rendibilitat de -8% a 4% de TIR. A més suposa un alicient força atractiu al

canvi de tipus de vehicle. Tot i així, suposa una enorme inversió per part de l'administració, que hauria de destinar fins a 340M€ pel 10% de vehicles. Apart de la quantitat, la disposició temporal de l'ajuda és cabdal per maximitzar-ne la rendibilitat. En efecte, aquesta ajuda és especialment prometedora si s'efectua el primer any en la seva totalitat.

- Preus d'aparcament: Amb un cost aproximat de 9.4M€ anuals, serveix com una bona mesura per a tot aquells que volen aparcar a Barcelona. A més, augmenta la rendibilitat financera pels usuaris del 4% al 9%. Tanmateix, el seu elevat cost, no és fàcilment legitimable davant la societat, ja que només ajuda als usuaris. Com a recomanació, tot i que aquest tipus de mesura ajuda molt en l'impuls del vehicle elèctric, caldrà que sigui revocada quan el percentatge de vehicles elèctrics augmenti. Entre d'altres, perquè el cost d'oportunitat serà molt elevat, i s'hauria de destinar a altes mesures.

- Equipaments per aparcament: Aquesta mesura, des de la perspectiva que està dissenyada, no té massa fonament lògic. No només representa un elevat cost per a l'administració, sinó que satura l'oferta d'aparcament públic a la ciutat de Barcelona. Si el % VE augmentés, l'Ajuntament hauria d'invertir en la construcció de nous equipaments, i els impostos per habitant augmentarien.

- Impostos ambientals: En el ACB, no representen un canvi, ja que signifiquen únicament un trasvàs de capital d'un agent a un altre. Tanmateix, poden suposar millores en la qualitat de l'aire a llarg termini, ja que degut als impostos sobre els el vehicles convencionals, altres usuaris es passaran al nou tipus de vehicle. A més, l'administració pot recaptar un cert import que posteriorment reverteixi en ajudes pel vehicle elèctric.

- Punts de recàrrega: Un aspecte que no ha estat tractat en aquest treball és el de l'explotació dels punts de recàrrega en via pública. De fet, seria interessant que fossin les empreses elèctriques les encarregades de construir i explotar els punts de recàrrega, i al seu torn paguessin un cànon a l'administració. Amb aquesta entrada de capital, es podrien pal·liar en certa mesura part dels costos en els que incórre l'administració.

### 7.3.3. Temporalitat de les ajudes

Tot i que ja s'ha comentat al llarg del nostre estudi, cal remcar el caràcter temporal de les ajudes. En aquest sentit, les ajudes són eines per dinamitzar l'impuls del vehicle elèctric, no per assegurar la seva continuitat.

En general, les ajudes ideades serveixen per potenciar el canvi al mode elèctric, sobretot en les primeres fases del procés de canvi de sistema de mobilitat. Si els ajuts es mantinguéssin en el temps, no només suposaria una pèrdua de la funció d'aquests sinó que, i més important, suposaria un augment dels costos de l'administració. Així, els nous costos acabarien suposant una inversió que des del

sector públic no es podrien afrontar. En conseqüència, el projecte esdevindria no viable.

Com a reflexió, conforme el percentatge de vehicle elèctric augmenti en al quota de desplaçaments en l'àrea de Barcelona, les ajudes al seu desenvolupament han de ser paulatinament revocades.

# 8. **Conclusions**

Aquest estudi suposa una eina per comprendre com es podria materialitzar el canvi de sistema de mobilitat a la zona metropolitana de Barcelona, passant del vehicle de combustió interna al vehicle elèctric. En aquest sentit, s'ha treballat en els diferents aspectes que configurarien aquest canvi, i s'han proposat mètodes per parametritzar-los i quantificar els seus impactes en el conjunt de la societat.

A grants trets, s'han extret conclusions referents al propi vehicle elèctric, a la seva funcionalitat i característiques més rellevants, a les estratègies d'impuls proposades per l'administració pública, així com als models de càlcul dels impactes cost-benefici i rendibilitat financera. En les següents línies, s'exposen les principals conclusions a les que aquesta recerca ha conduit.

En relació al vehicle elèctric, cal constatar que presenta unes característiques de funcionament força similars a la dels vehicles utilitaris. Tanmateix, el seu preu d'adquisició és més elevat, i presenta greus dèficits en alguns aspectes, sobretot els relacionats amb desplaçaments de llarga distància.

Tot i els estudis i els avenços en el camp de les bateries, aquestes encara avui suposen un inconvenient en ocasions insalvable per aquest tipus de vehicles. En efecte, la incapacitat de realitzar trajectes superiors a 200km en la majoria de les bateries, impossibilita certs trajectes interurbans, relegant el VE a condicions de desplaçaments únicament urbans. La inexistència d'electrobenzineres, per falta de coneixements tècnics suficients per elaborar punts de càrrega on realitzar recàrregues ultra-ràpides, així com la poca presència de punts de càrrega repartits en el territori català, fan del VE un vehicle només apte per segments d'usuaris de desplaçaments urbans.

Paral·lelament, cal remarcar que la gran majoria dels trajectes en dia feiner en l'àrea de Barcelona, donat el seu elevat grau d'autoncontenció, suposen distàncies totalment assumibles per l'autonomia del VE. En aquest sentit, tant els desplaçaments de connexió com els interns poden ser realitzats amb VE, ja que no superen els llindars d'autonomia imposats per les bateries.

En relació al vehicle i el medi ambient, el VE suposa una reducció substancial de les emissions en funcionament, però no en l'origen de la captació de l'energia. En altres paraules, tot i que no emeten gasos contaminants, la generació de l'energia necessària sí que els emet. De fet, arran de la generació de l'energia, es produeix un augment de gasos com el $SO_2$ i el $NO_X$, nocius per la salut de les persones.

En conseqüència, el VE tan sols és veritablement ecològic i respectuós amb el medi ambient si l'energia és captada per fonts d'energia renovables, com l'eòlica. A més, una inversió en renovables suposaria una disminució de la dependència dels combustibles fòssils, inexistents a Catalunya.

En essència, referent al vehicle elèctric, encara hi ha un massa problemàtiques per arribar a ser un vehicle realment competitiu i de futur en les codicions atuals. Per aquest motiu, s'espera que en els pròxims anys el vehicle que adquireixi la

major importància sigui el híbrid, actuant com a transició d'un sistema de propulsió a l'altre. Progressivament, si les prestacions del vehicle milloren, i conforme existeixi una major consciència social i ambiental, es produirà un augment de la demanda del VE.

En relació a les estratègies d'impuls del VE a Catalunya, la primera conclusió del estudi al respecte és que existeix una necessitat clara d'incentivar a nivell institucional aquest tipus de vehicles. La raó dels incentius és que actualment el VE no resulta atractiu pels usuaris, degut a la baixa o fins i tot negativa rendibilitat econòmica de l'adquisició del vehicle. A més, l'impuls serveix per afavorir un canvi de mobilitat que comporti a la llarga una millor qualitat de vida per a la societat, augmentant el seu benestar.

No obstant, cal que les mesures d'impuls provinguin d'estratègies conjuntes entre els diferents agents implicats, com poden ser les empreses elèctriques, els fabricants de vehicles i les diferents administracions. Incidint en les administracions, és vital un treball conjunt entre les administracions estatals i les municipals, per poder-se repartir el conjunt d'ajudes i que aquestes no suposin un dèficit massa accentuat en una sola administració.

Com s'ha comprovat, les iniciatives de VE amb millors repercussions són aquelles que queden englobades en mesures de major abast, sobretot relacionades amb el medi ambient i el canvi climàtic. En aquest sentit, és crucial que els possibles usuaris adquireixin una major conscienciació de la seva participació en la qualitat de vida de la societat i en el medi ambient. Amb un augment de les campanyes de sensibilització, i el conseqüent augment de la informació al abast dels usuaris de vehicles convencionals, la demanda de VE augmentarà.

Els models desenvolupats, tant d'anàlisi cost-benefici, anàlisi de sensibilitats i de rendibilitat financera, ens ajuden a elaborar conclusions basades en els impactes esperats en cada un dels agents implicats. A continuació mostrem les principals reflexions extretes en aquestes seccions del estudi.

L'ACB representa una bona eina per a quantificar la realització de la demanda esperarda per l'estudi PECAC, amb 10% dels desplaçaments en l'àrea de Barcelona efectuats amb VE. Amb la implementació del projecte, el conjunt d'agents sortiria perjudicat, amb un cost total de 6,3M€. Aquesta disminució del benestar mostra la baixa viabilitat del projecte ja que destrueix valor, sobretot arran dels elevats costos de l'administració. A nivell d'agents, els usuaris perceben uns aproximats 18M€, degut sobretot al estalvi pel canvi de combustible a electricitat, la societat percep un benefici de 27M€ en concepte de reducció de les externalitats, mentre que l'administració ha d'afrontar un cost de 55M€ en ajudes per acomplir l'objectiu d'implantació.

Apart de la negativa aportada per la disminució del benestar, un aspecte que condiciona la viabilitat és el fet que els beneficis per externalitat siguin inferiors al cost de l'administració. En aquest sentit, el projecte ha de ser rebutjat en aquests paràmetres, ja que la inversió de l'administració no es veu recompensada pels beneficis per la societat. La inversió resulta dificilment justificable, ja que ajuda especialment als usuaris i no a la societat en general.

Arran dels resultats obtinguts en el anàlisi cost-benefici, cal reduir la inversió de l'administració per a viabilitzar el projecte. Mesures com la gratuïtat d'aparcament en equipaments públics han de ser revocades per assegurar el benefici final del projecte d'implantació del VE.

Un cop analitzada la sensisbilitat del ACB, s'observa que els majors beneficis es produeixen amb la disminució del preu d'adquisició en un 10%, que provoca que el benefici final del projecte sigui positiu. Aquest fet demostra el potencial del VE en el moment en que els seus costos de compra es redueixin i aparegui una major competència en el seu mercat. En conseqüència, un dels pilars del impuls del VE a Catalunya ha de ser el potenciament d'una indústria al voltant del VE, amb la finalitat de tenir un entorn competitiu i ple d'ofertes que, en última instància, fagi reduir els costos relacionats amb el vehicle.

Paral·lelament, i no només per la consciència ambiental sinó també per raons econòmiques, és vital l'ús de fonts renovables per l'obtenció d'energia. Amb l´ús d'aquest tipus de fonts, els beneficis del projecte es multipliquen, augmentant la seva viabilitat. No obstant, el canvi de model energètic és molt complex i requereix una visió a llarg plaç. En aquest sentit, la viabilitat del projecte no està assegurada ja que les mesuren que l'impulsen provocarien canvis massa profunds en àmbits tant diferents com l'automoció o l'energia.

La valoració del temps, com s'ha extret del anàlisi de sensibilitats, té un efecte negatiu en el benefici del projecte d'implantació. La necessitat de desplaçar-se fins al punt d'estacionament del vehicle representa un punt advers a la viabilitat del projecte. En aquesta línia, l'estudi mostra que si el temps fins l'aparcament augmenta, el usuari es veu més perjudicat i, al final, pot acabar no optant pel VE. En general, doncs, el VE tan sols resulta veritablement atractiu si l'usuari té aparcament en el seu domicili. Conseqüentment, i donada la tipologia d'aparcaments segons zones de Barcelona, queda pal·lès que existeix força incompatibilitat en certs punts de la ciutat per a la implantació del VE.

En relació al anàlisi de rendibilitat financera pels usuaris, es constata la disparitat de rendiments segons les mesures adoptades. En primera instància, l'absència d'ajudes provoca uns rendiments negatius, generalitzats a -8% del TIR. De fet, depenent de la tipologia de desplaçaments del usuari, aquest rendiment té un rang entre -19% a -1%, sempre negatiu. Com a conclusió, sense ajudes no és financerament atractiva l'adquisició d'un VE. Aquest aspecte és crucial, ja que implica que en un primer moment caldrà mesures compensatòries si es vol promoure la utilització d'aquest tipus de vehicles, i això suposa indispensablement inversió per part de l'administració.

Referent al mètode d'implementació de les ajudes, aquestes funcionen millor financerament si es produeixen puntualment, com poden ser les ajudes a la compra del VE, que aquelles que es reparteixen en el temps d'avaluació del projecte. Complementàriament, cal concloure que les ajudes presenten un elevat trade-off, entre els costos de l'administració i la rendibilitat esperada pels usuaris. Depenent de la demanda desitjada i el marc temporal per implementar el projecte, l'administració ha de fixar les ajudes i el seu repartiment. En última instància, la rendibilitat del projecte és fruit de decisions polítiques, subjectes a restriccions pressupostàries.

De forma general, referent a la qüestió de la viabilitat del canvi de model de mobilitat a la ciutat de Barcelona, no existeix una resposta clara. Per una banda, es necessiten unes inversions molt elevades per part de l'administració per arribar al nivells de demanda satisfactoris, degut a la poca rendibilitat financera dels usuaris amb el canvi de vehicle i, a més, els beneficis experimentats per la societat no superen els costos invertits. Tanmateix, i en clau positiva, la tipologia del desplaçaments en l'àrea de Barcelona, la creixent consciència social en temes ambientals, i les constants sancions a vehicles contaminants, propicien un espai apte per al desenvolupament del VE.

Finalment, remarcar que només amb un correcte impuls del vehicle elèctric, fent partíceps a tots els agents implicats, es podrà augmentar l'atractiu del canvi de model de mobilitat, augmentant al seu torn la viabilitat de projectes com el que hem presentat. En definitiva, el vehicle elèctric és la gran aposta de futur, però cal ser molt conscients del llarg camí que encara s'ha de recórrer.

# Bibliografia

### Principals fonts consultades

AEB - Agència d'Energia de Barcelona (2010), *PECQ – Pla de l'Energia, el Canvi Climàtic i la Qualitat del Aire 2012-2020*, Ajuntament de Barcelona.

AECR - Asociación Española de Ciéncia Regional (2003), *Fallos de mercado: el caso de la externalidad de la congestión de las carreteras.*

ATLET, A. et al. (2010) *IVECAT 2010-2015. Estratègia d¨impuls del vehicle elèctric a Catalunya*, Generalitat de Catalunya, 2010.

BENVENISTE, C. et al. (2014), *Potential externalities savings due to electric vehicle smart charge***,** Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC).

BORDAS, M (2011), *Energia eòlica i vehicle elèctric: Sinergia de futur*, Tesina d'especialitat de la Universitat Politècnica de Catalunya.

CENIT (2015), *Sistema d'Avaluació d'Inversions de Transport (SAIT)*, Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre.

DEAB - Departament d'Estadística del Ajuntament de Barcelona, http://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/economia/vehicles/index.htmAccés: 30/04/2016

Departament de Medi Ambient i Habitatge, (2010), *Estratègia per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya : 2026.cat*, Generalitat de Catalunya.

DG - DG Mobility and Transport (2014), *Update of the Handbook on External Costs of Transport*, European Comission.

DGQA - Direcció General de Qualitat Ambiental (2013), *Comparativa Sonora i de qualitat de l'aire en un escenari amb vehicles tèrmics i un amb vehicles elèctrics*, Generalitat de Catalunya.

DSM - Direcció de Serveis de Mobilitat (2011), *Dades bàsiques de mobilitat 2011*, Ajuntament de Barcelona.

DSM - Direcció de Serveis de Mobilitat (2012), *Dades bàsiques de mobilitat 2012*, Ajuntament de Barcelona.

DSM - Direcció de Serveis de Mobilitat (2013), *Dades bàsiques de mobilitat 2013*, Ajuntament de Barcelona.

DSM - Direcció de Serveis de Mobilitat (2014), *Dades bàsiques de mobilitat 2014*, Ajuntament de Barcelona.

DSM - Direcció de Serveis de Mobilitat (2014), *Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona, PMU 2013-2018*, Ajuntament de Barcelona.

DTS - Departament de Territori i Sostenibilitat (2015), *El Pla d'actuació per a la*

*millora de la qualitat de l'aire, horitzó 2020*, Generalitat de Catalunya.

DTS - Departament de Territori i Sostenibilitat (2015), *Pla de millora de la qualitat de l'aire, horitzó 2015-2018*, Generalitat de Catalunya.

EGVI - European Green Vehicles Initiative (2013), Initiative PPP: Use of new energies in road transport, European Comission

FARRAN, A (2016), *Mobilitat, Energia i Qualitat del aire: Compatibilitat o Contradicció*, Seminaris de Transport UPC 2016.

GCSFP - German Chinese Sustainable Fuel Partnership (2010), *Analysis of European/German and Chinese Regulations regarding electric vehicle infrastructure for road traffic*.

ICAEN (1999), *El vehicle elèctric, situació actual i perspectives*, Estudis monogràfics 11, Generalitat de Catalunya.

ICAEN (2012), *Pla de l'Energia i el Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020*, Generalitat de Catalunya.

ICAEN (2016), *El vehicle elèctric*, Generalitat de Catalunya.

ICAEN, (2005), *PROENCAT 2030, Prospectiva Estratègica de l'Energia en l'Horitzó del 2030*, Generalitat de Catalunya.

IERMB - Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2014), *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2014*, Institut d'Estadística de Catalunya.

IERMB - Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2013), *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2013*, Institut d'Estadística de Catalunya.

IERMB - Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2012), *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2012*, Institut d'Estadística de Catalunya.

IERMB - Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2011), *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2011*, Institut d'Estadística de Catalunya.

KEMPTON, W. (2008), *A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System*, University of Delaware.

LITMAN, T (1999), *A critical evaluation of Electric Vehicle Benefits*, Victoria Transport Policy Institute.

MITC - Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2011), Estrategia Integral para el Impulso del Vehículo Eléctrico en España, Gobierno de España

PAINE, C. Documental *Who killed the electric car?*, 2006.

PALLISE, J. et al. (2010), *Diagnosi i perspectives del vehicle elèctric a Catalunya*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS).

ROCA, J (2004), *Beneficis economic-socials de la política de regulació integral de l'aparcament*, Jornada Tècnica de Mobilitat Sostenible UPC.

SANCHEZ, O (2012), *Estratègia per la introducció del vehicle elèctric a Catalunya. Punts de recàrrega en aparcaments comunitaris*, Generalitat de Catalunya.

SENTIAS, A. et al. (2013) *Mou-te en vehicle elèctric. Guia Pràctica de la mobilitat elèctrica,* Plataforma LIVE.

**Llocs web consultats**

ÀREA VERDA, *http://www.areaverda.cat/usuaris/vehicles-electrics/,* Accés: 21/04/2016.

B:SM, Aparcaments gestionats per Barcelona Serveis Municipals, *http://www.aparcamentsbsm.cat/,* Accés: 14/05/2016.

BTV, La Generalitat crea un impost sobre les emissions de CO2 dels vehicles privats, *http://www.btv.cat/btvnoticies/2016/01/26/generalitat-crea-impost-emissions-co2-vehicles-privats/ ,* Accés: 7/05/2016.

CCMA, La zona blava de Barcelona costa el triple que a la majoria de ciutats de l'Estat, *http://www.ccma.cat/324/La-zona-blava-de-Barcelona-costa-el-triple-que-a-la-majoria-de-ciutats-de-lEstat/noticia/250076/1/3*, Accés: 29/04/2016.

CONSUMER, ¿Qué gastos acarrea tener un coche?, http://www.consumer.es/web/es/motor/compra_coche/2012/10/24/213877.php, Accés: 02/05/2016

ENDESA, El vehiculo eléctrico *https://www.endesavehiculoelectrico.com/* Accés: 29/04/2016.

Green eMotion Project, http://www.greenemotion-project.eu/, Accés: 20/03/2016

HIPERTEXTUAL, ¿Cuánto te costaría cambiar la batería de tu coche eléctrico?, *http://hipertextual.com/2014/12/cambiar-la-bateria-coche-electrico,* Accés: 24/05/2016.

Horizon 2020 of European Comission, http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/h2020-sections, Accés: 20/03/2016

IDESCAT, http://www.idescat.cat/pub/?id=parcc&n=291, Accés:22/04/2016

LIVE, Ajuts i incentius, *http://w41.bcn.cat/*, Accés: 2/05/2016

Programa MOVELE (2015), http://www.idae.es/index.php/id.859/previsualizar.1/mod.pags/mem.detalle , Accés: 23/04/2016

REE, Demanda de energía en tiempo real, Red Eléctrica de España, http://www.ree.es/es/actividades/demanda-y-produccion-en-tiempo-real, Accés: 03/05/2016.

STAC, Barcelona s'endolla al vehicle electric, *http://www.stac.cat/barcelona-*

*sendolla-al-vehicle-electric/*, Sindicat del Taxi, Accés: 21/04/2016

TESLA Motors, https://www.teslamotors.com/, Accés: 09/03/2016

Vitoria i el Vehiculo Eléctrico, http://blogs.vitoria-gasteiz.org/medios/2011/02/23/ayuntamiento-y-gobierno-vasco-impulsan-el-despliegue-del-vehiculo-electrico-en-vitoria-gasteiz/, Accés: 22/03/2016

XATAKA, ¿Son caros los coches eléctricos? El coste oculto de nuestro vehículo: eléctrico contra tradicional, *http://www.xataka.com/automovil/son-caros-los-coches-electricos-el-coste-oculto-en-el-coche-coche-electrico-contra-tradicional.* , Accés: 27/04/2016

ZEBLOG, ¿Sale rentable alquilar la batería?, *http://zeblog.es/2013/03/sale-rentable-alquilar-la-bateria/,* Accés: 24/05/2016.

# Annex de Càlculs

## Anàlisi Cost-Benefici

Per obtenir els resultats del ACB, les dades inicials són les següents:

**Taula 1 Característiques de desplaçaments**

| Desplaçaments | | |
|---|---|---|
| | **Interns** | **Connexió** |
| Nº | 709500 | 808860 |
| DIST | 6 | 26 |

***Font: Elaboració pròpia***

**Taula 2 Nombre de vehicles segregats per desplaçament**

| Vehicles | | | |
|---|---|---|---|
| | **Interns** | **Connexio** | **TOTAL** |
| Conjunt | 191757 | 218611 | 410368 |
| Elèctrics (10%) | 19176 | 21861 | 41037 |

***Font: Elaboració pròpia***

**Taula 3 Resum de costos**

| Tipus de Cost | VCI | VE | Unitats |
|---|---|---|---|
| Compra | 1350 | 3000 | €/any |
| Combustible | 0.085 | 0.012 | €/km |
| Manteniment | 608 | 120 | €/any |
| Bateries | 0 | 500 | €/any |
| Aparcament (Preu) | Z. Blava: 2.30<br>Z. Verda (no resi): 2<br>Z. Verda (resi): 0.2 | 0<br>0<br>0 | €/h<br>€/h<br>€/dia |
| Aparcament (Equipaments) | 0 | 216 | €/any |
| Punts de càrrega | 0 | Domicili: 100<br>Via pública: 520 | €/any<br>€/any |
| Cont. Atmosfèrica | 0.032 | 0.0094 | €/km |
| Cont. Acústica | Desp. Intern: 23.2<br>Desp. Connexió: 18.6 | Desp. Intern: 5.8<br>Desp. Connexió: 4.7 | €/1000km<br>€/1000km |
| Efecte Barrera | 0.0055 | 0.0044 | €/km |
| Residus | 0.0055 | 0.0028 | €/km |

***Font: Elaboració pròpia***

A continuació, es mostren els càlculs per a l'obtenció dels costos en el ACB.

- Cost Compra

$$\text{Usuaris} = (1350 - 2200)\cdot 41037 = -34.9M€$$
$$\text{Administració} = -800\cdot 41037 = -32.8M€$$

- Cost Combustible

$$\text{Combustible} = \left[\left((0.085 - 0.012)\cdot 709500\cdot 6\right) + \left((0.085 - 0.012)\cdot 808860\cdot 26\right)\right]\cdot 365\cdot \frac{5}{7}\cdot 0.1$$
$$\text{Combustible} = 48.1M€$$

- Cost Manteniment

$$\text{Manteniment} = (608 - 240)\cdot 41037 = 15.1M€$$

- Cost Bateries

**Taula 4 Vehicles que necessiten canvi de bateria**

| Necessiten canvi bateria | | |
|---|---|---|
| **Interns** | **Connexió** | **TOTAL** |
| 19176 | 13117 | 32292 |

***Font: Elaboració pròpia***

$$\text{Bateries} = -500\cdot 32292 = -16.1M€$$

- Cost Aparcament (Preu)

**Taula 5 Preus i recaptació per tipologia d'aparcament**

| Aparcament (PREU) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Blava** | | **Verda resident** | | **Verda no resident** | |
| Dia (€) | 22,08 | Dia (€) | 0,2 | Dia (€) | 4 |
| Any(€) | 5756,57 | Any (€) | 52,14 | Any (€) | 1042,85 |
| Nº places | 8850 | Nº Places | 39039 | Nº Places | 39039 |
| Recaptació | 50945657 | Recaptació | 2035605 | Recaptació | 40712100 |

***Font: Elaboració pròpia***

$$\text{Aparcament (Preu)} = (50.9 + 2 + 40.7)\cdot 0.1 = 9.4M€$$

- Cost Aparcament (Equipaments)

$$\text{Aparcament (Equipaments)} = -(80 \cdot 12) \cdot 0.2 \cdot 41037 = -7.9 M€$$

- Cost Punts de Càrrega

$$\text{Usuaris} = -100 \cdot 0.8 \cdot 41037 = -3.3 M€$$

$$\text{Administració} = -\left[(100 \cdot 0.2 \cdot 41037) + (520 \cdot 0.2 \cdot 41037)\right] = -5.1\text{M€}$$

- Cost Contaminació Atmosfèrica

$$\text{Cont. Atmosfèrica} = \left[\left((0.032 - 0.0094) \cdot 709500 \cdot 6\right) + \left((0.032 - 0.0094) \cdot 808860 \cdot 26\right)\right] \cdot 365 \cdot \frac{5}{7} \cdot 0.1$$

$$\text{Cont. Atmosfèrica} = 14.9\text{M€}$$

- Cost Contaminació Acústica

**Taula 6 Costos de contaminació acústica, diaris i anuals**

| Contaminació acustica | |
|---|---|
| Despl intern dia | 74071,8 € |
| Despl connexió dia | 292322 € |
| Despl intern any | 19311576,43 € |
| Despl connexió any | 76212522,47 € |

***Font: Elaboració pròpia***

$$\text{Contaminació Acústica} = 1.93 + 7.62 = 9.6 M€$$

- Cost Efecte Barrera

$$\text{Efecte Barrera} = \left[\left((0.0055 - 0.0044) \cdot 709500 \cdot 6\right) + \left((0.0055 - 0.0044) \cdot 808860 \cdot 26\right)\right] \cdot 365 \cdot \frac{5}{7} \cdot 0.1$$

$$\text{Efecte Barrera} = 0.7\text{M€}$$

- Cost Residus

$$\text{Residus} = \left[\left((0.0055 - 0.0028) \cdot 709500 \cdot 6\right) + \left((0.0055 - 0.0028) \cdot 808860 \cdot 26\right)\right] \cdot 365 \cdot \frac{5}{7} \cdot 0.1$$

$$\text{Residus} = 1.8\text{M€}$$

**Anàlisi de Sensibilitats**

A continuació, es mostren els càlculs per a l'obtenció dels costos en l'anàlisi de sensibilitats.

- Impacte CO2

$$\text{Impost } CO_2 = 26 \cdot 41307 = 1.1M€$$

- Ús renovables

El impacte positiu final, en el camp de la contaminació atmosfèrica resulta de:

$$\text{Benefici atmosfèric final} = \left[\left((0.032)\cdot 709500\cdot 6\right) + \left((0.032)\cdot 808860\cdot 26\right)\right]\cdot 365\cdot \frac{5}{7}\cdot 0.1$$

$$\text{Benefici atmosfèric final} = 21.1\text{M}€$$

- Reducció preu 10%

$$\text{Usuaris Compra} = (1350 - 1900)\cdot 41037 = -22.6M€$$

- Temps d'accés

**Taula 7 Cost del temps d'accés per usuari**

| Temps d'accés | | |
|---|---|---|
| **INTERVAL** | **VCI (€)** | **VE (€)** |
| Dia | 4,69 | 5,97 |
| Any | 1222,75 | 1556,464286 |

***Font: Elaboració pròpia***

$$\text{Temps d'accés} = (1222.75 - 1556{,}46)\cdot 41037\cdot 0.2 = -2.7M€$$