

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**ESTUDI DE L'ESTAT DE SALUT DE LES BATERIES DEL VEHICLE ELÈCTRIC AL
FINAL DE LA SEVA VIDA ÚTIL**

MEMÒRIA

Autor: Pere Antoni Bibiloni Mulet
Director: Lluç Canals Casals
Convocatòria: Primavera 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest document té com a objectiu l'estudi de l'estat de salut (SOH) de les bateries dels cotxes elèctrics. Per a fer-ho, s'aprofundeix en el tipus de bateries i en el seu funcionament. Seguidament se segueixen uns procediments estadístics per a esbrinar les relacions entre els anys de vida d'un cotxe i el seu quilometratge; també es defineix, per a les bateries, un envelliment depenent dels quilometres realitzats i la seva capacitat inicial. Finalment, per a poder extreure els resultats, s'estudien les tendències al mercat del cotxe elèctric del Regne Unit.

Els resultats s'exposen de forma que es vegi la relació entre l'estat en què arribaran i la capacitat inicial de què disposaven, a més, de la distribució en què arribaran en els anys. Per acabar, s'extreuen unes conclusions en termes econòmics i mediambientals de la viabilitat de les estratègies de reutilització i reciclatge.

Sumari

RESUM	3
SUMARI	4
ÍNDIX D'ANNEXES	6
ÍNDIX DE GRÀFICS	7
ÍNDIX D'IL·LUSTRACIONS	10
ÍNDIX DE TAULES	11
1. GLOSSARI	13
2. PREFACI	14
3. INTRODUCCIÓ	15
3.1. Objectius del projecte	15
3.2. Abast del projecte	15
3.3. El cotxe elèctric	17
3.4. Bateries	19
3.4.1. Conceptes sobre bateries de VE	19
3.4.2. Tipus de bateries elèctriques	20
3.4.3. Funcionament de les bateries	22
3.4.4. Envelliment de les bateries	22
4. METODOLOGIA	27
4.1. Relació antiguitat-quilometratge	27
4.1.1. Dades	28
4.1.2. Algoritme de selecció	30
4.1.3. Obtenció de les densitats	32
4.2. Envelliment	36
4.2.1. Dades	36
4.2.2. SOH en funció dels anys de vida	37
4.2.3. SOH en funció dels quilòmetres	40
4.2.4. SOH en funció dels cicles	42
4.2.5. SOH en funció dels quilòmetres per a diferents capacitats	45
4.2.6. SOH al final de vida	47
4.3. Baixes i matriculacions	49
4.3.1. Baixes	49
4.3.2. Matriculacions	51

5. RESULTATS	56
5.1. Resultats per capacitat	56
5.2. Resultats per SOH	61
6. SEGONA VIDA	65
7. IMPACTE MEDIAMBIENTAL I ECONÒMIC	69
PRESSUPOST	72
CONCLUSIONS	74
AGRAÏMENTS	76
BIBLIOGRAFIA	77
Referències bibliogràfiques.....	77

Índex d'annexes

Annex 1: Correspondència amb l'INE i la DGT.	81
Annex 2: Exemple de la disposició de les dades del MOT en RStudio®. (Font pròpia)	82
Annex 3: Wilcoxon test realitzat amb RStudio®. (Font pròpia)	84
Annex 4: Capacitats i nombre dels vehicles més venuts al Regne Unit entre el 2014 i 2019. (Informació dels fabricants)	85
Annex 5: Nombre de bateries en funció de l'SOH i l'any en què arribaran. (Font pròpia).....	88

Índex de gràfics

Gràfic 1: Vendes de BEV i PHEV als Estats Units per any. [3].....	16
Gràfic 2: Energia específica per a diferents tipus de bateries recarregables. [11].....	21
Gràfic 3: Envelliment experimental per calendari en diferents condicions. [12].....	25
Gràfic 4: Capacitat perduda per calendari en diferents estats dels EUA en un estudi basat en un model real de conducció. [20].....	25
Gràfic 5: Degradació de la capacitat per cicles en funció de la intensitat de càrrega. [21]....	26
Gràfic 6: Diagrama de caixes del quilometratge en funció dels anys de vida. (Font pròpia).	31
Gràfic 7: Densitat de quilometratge per anys de vida. (Font pròpia).....	33
Gràfic 8: Gràfic de Cullen i Frey per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia)	33
Gràfic 9: Procés d'estudi dels gràfics per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia)	34
Gràfic 10: Distribucions real (negra) i teòriques per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia).....	34
Gràfic 11: SOH en funció dels anys de vida del cotxe per a diferents anys de Nissan Leaf. [32]	37
Gràfic 12: Comparació de mitjanes de SOH en funció dels anys de vida. [32].....	38
Gràfic 13: Comparació de mitjanes de SOH en funció dels anys de vida per als Tesla. [32]	39
Gràfic 14: Quilòmetres acumulats depenent de l'antiguitat del vehicle per a cotxes dièsel i gasolina. [22].....	41
Gràfic 15: SOH en funció del quilometratge pels dos diferents casos. (Font pròpia).....	42
Gràfic 16: Relació entre els cicles realitzats i l'SOH. (Font pròpia).....	44
Gràfic 17: SOH en funció dels quilòmetres per a diferents capacitats. (Font pròpia).....	46
Gràfic 18: Distribució de l'SOH per a cotxes donats de baixa amb 5 anys de vida per a diferents capacitats. (Font pròpia).....	47

Gràfic 19: Histograma dels anys d'antiguitat dels cotxes dièsel quan són donats de baixa al Regne Unit. (Font pròpia).....	49
Gràfic 20: Distribució de les baixes de cotxes dièsel el 2015 i el 2018. (Font pròpia).....	50
Gràfic 21: Nombre de cotxes de primer any de registre al Regne Unit. [43].....	51
Gràfic 22: Capacitat mitjana dels cotxes elèctrics venuts al Regne Unit per any. (Font pròpia).....	53
Gràfic 23: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 16 kWh per SOH. (Font pròpia).....	57
Gràfic 24: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 24 kWh per SOH. (Font pròpia).....	57
Gràfic 25: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 30 kWh per SOH. (Font pròpia).....	58
Gràfic 26: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 40 kWh per SOH. (Font pròpia).....	59
Gràfic 27: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 70 kWh per SOH. (Font pròpia).....	59
Gràfic 28: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 90 kWh per SOH. (Font pròpia).....	60
Gràfic 29: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat entre el 100 i el 85% de SOH. (Font pròpia).....	61
Gràfic 30: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat entre el 85 i el 75 % de SOH. (Font pròpia).....	62
<i>Gràfic 31: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat inferior al 75 %SOH.</i>	<i>63</i>
<i>Gràfic 32: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat inferior al 60% de SOH. (Font pròpia).....</i>	<i>64</i>
Gràfic 33: MWh disponibles de les bateries segons el seu SOH del 2013 al 2027. (Font pròpia).....	67

Gràfic 34: MWh disponibles de les bateries segons el seu SOH del 2013 al 2035. (Font pròpia)
..... 67

Gràfic 35: Percentatges de l'estat en què arribaran les bateries. (Font pròpia)..... 74

Gràfic 36: Beneficis econòmics (esquerra) i beneficis en eco-toxicitat (dreta). (Font pròpia) 75

Índex d'il·lustracions

Il·lustració 1: La Jamais Contente. [4]	17
Il·lustració 2: Funcionament d'una bateria de ió-liti. [15].....	22
Il·lustració 3: Rang de conducció en funció de la capacitat usada. (Esquerra) [12] (Dreta) [17]	23
Il·lustració 4: Quilòmetres anuals als diferents estats dels Estats Units. [20]	40
Il·lustració 5: Producció minera mundial de materials usats en bateries de ió-liti al 2017. [14]	69
Il·lustració 6: Procés de 2a i 3a vida per a bateries de BEV. [54]	70

Índex de taules

Taula 1: Avantatges i desavantatges de les bateries d'ió de liti. [15].....	20
Taula 2: Garantia de les bateries d'alguns VE. [16].....	23
Taula 3: Exemple de diferents models d'estudi i els seus avantatges i inconvenients. [18]..	24
Taula 4: Nombre de cotxes de segona mà exportats el 2008. [22].....	28
Taula 5: Algoritme. (Font pròpia).....	31
Taula 6: Distribucions teòriques. (Font pròpia).....	35
Taula 7: Consum dels models inclosos dins el grup de 30 kWh. [38].....	43
Taula 8: Consum dels models inclosos dins el grup de 70 kWh. [38].....	43
Taula 9: Comparació entre cotxes de 30 kWh i 70 kWh per un mateix SOH. (Font pròpia) .	43
Taula 10: Exemple de comparació dels valors propis amb els valors de les garanties. (Font pròpia).....	46
Taula 11: Exemple de probabilitats d'una bateria de 40 kWh d'estar entre dos valors de SOH dependent dels anys que té. (Font pròpia).....	48
Taula 12: Exemples de probabilitat que un vehicle sigui donat de baixa dependent dels anys que té. (Font pròpia).....	50
Taula 13: Nombre de vehicles venuts el 2019 per models. [39].....	52
Taula 14: Proporcions de capacitats de bateria dels BEV+REEV al Regne Unit. (Font pròpia).....	52
Taula 15: Comparació de vendes de vehicles. [44].....	54
Taula 16: Models més venuts al Regne Unit el mes d'abril de 2020. [44].....	54
Taula 17: Beneficis de cada estratègia. [54].....	71
Taula 18: Beneficis totals en relació a la fabricació d'una nova bateria. (Font pròpia).....	71
Taula 19: Costos de les activitats relacionades amb la realització del treball. (Font pròpia). 72	

Taula 20: Costos relacionats amb l'equip i programari emprat. (Font pròpia)	73
Taula 21: Costos totals. (Font pròpia)	73
Taula 22: Percentatge de les capacitats dels BEV. (Font pròpia).....	75

1. Glossari

VE: Vehicle elèctric.

SOH: (*State of Health*) Estat de salut. Relació entre la capacitat actual d'una bateria respecte la capacitat inicial.

SOC: (*State of Charge*) Estat de càrrega. Serveix per indicar la quantitat de càrrega en què es troba la bateria en relació amb la càrrega màxima.

DOD: (*Depth of discharge*) Profunditat de la descàrrega. S'usa per a indicar el tant per cent de descàrrega en un cicle o ús.

BEV: (*Battery Electric Vehicle*) Vehicle elèctric de bateria.

PHEV: (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) Híbrid endollable.

GEH: Gasos d'efecte hivernacle.

EECMs: (*Equivalent electrical circuit models*) Models de circuits elèctrics equivalents.

INE: Institut nacional d'estadística.

DGT: Direcció general de tràfic.

MOT: Derivat del Ministeri de Transport del Regne Unit per a la inspecció de vehicles.

2. Prefaci

Aquest estudi analitza la situació de les bateries de vehicles elèctrics al final de la seva vida útil; es diu que la bateria ja no és apta per a usos de tracció quan la bateria ha envellit i ha perdut un 20% de la seva capacitat inicial.

Aquest límit podria haver tingut sentit en els primers vehicles venuts quan les bateries disposaven d'una capacitat significativament menor a les que es produeixen avui en dia. A més, els fabricants no controlen l'estat de salut de les bateries, motiu pel qual és l'usuari qui decidirà en quin moment ja no li és útil. En aquest punt, la bateria es pot trobar amb un SOH inferior al 80%.

Per tal d'estimar l'estat de salut de les bateries que arribaran properament de VE donats de baixa, aquest estudi relaciona el trajectes habituals dels usuaris d'VE i les tendències del mercat de VE amb l'esperança de vida dels vehicles i els quilometratges que tenen per any en circulació. Un cop determinat l'SOH, es podrà avaluar la possibilitat de reutilitzar-les, en quines aplicacions i en quins percentatges.

3. Introducció

Aquest és un estudi que s'entén com una aproximació a la situació en què es trobarà el mercat de bateries elèctriques de segona vida en un futur pròxim. El treball parteix dels resultats d'altres treballs [1] [2] per a, mitjançant mètodes estadístics, extreure resultats i conclusions sobre l'estat de les bateries elèctriques en el moment que els vehicles elèctrics acaben la seva vida útil.

3.1. Objectius del projecte

La finalitat d'aquest projecte és estimar en quin estat estaran les bateries dels vehicles elèctrics quan arribin al final de la seva vida útil, el nombre estimat d'unitats i quan arribaran a les nostres mans durant els pròxims anys.

Es realitzarà un estudi sobre la vida útil dels cotxes. A més, es tindran en compte les diferents capacitats i generacions de cotxes elèctrics en relació a l'envelliment de la seva bateria.

Finalment, s'obtindran dades sobre el nombre de bateries que, en els pròxims anys, estaran a disposició de ser utilitzades per una segona vida així com l'estat de salut (SOH) en què es trobaran.

3.2. Abast del projecte

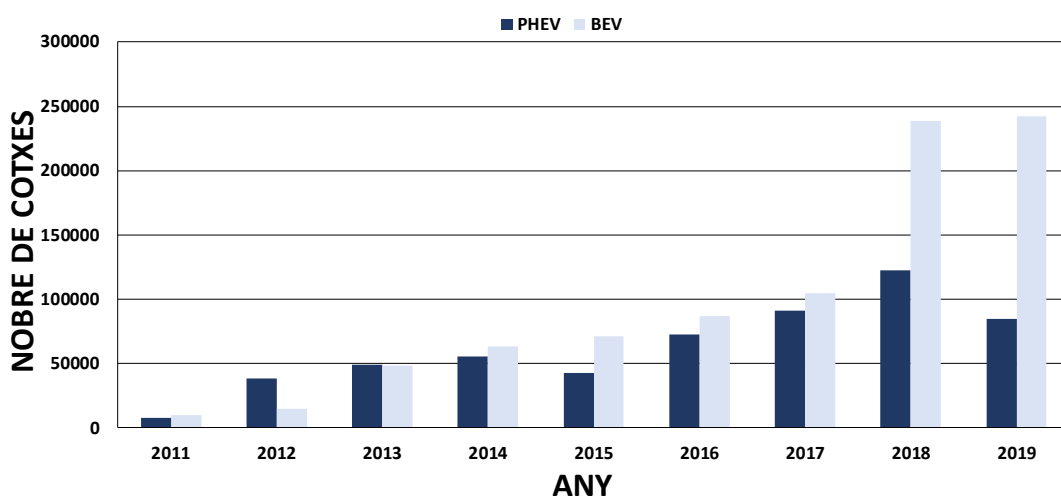
L'abast territorial del projecte serà el Regne Unit, però podran ser aplicables a països amb tendències similars com podrien ser els països europeus, per exemple Espanya.

L'elecció de realitzar l'estudi en aquests territoris és, en gran part, per la disponibilitat de dades provinents del govern en front a la dificultat o impossibilitat d'aconseguir les mateixes dades a l'estat Espanyol.

Per eliminar una part de les diferències que hi ha entre les bateries de diferents vehicles elèctrics es tractaran només els turismes i, d'entre aquests, no s'inclouran els vehicles híbrids, siguin o no endollables.

S'ha decidit no tenir en compte els PHEV en aquest estudi per dos motius principals:

- Aquests tipus de vehicles disposen, a més de la bateria, d'un motor de combustió. Llavors, encara que la bateria ja no sigui suficient per a realitzar els trajectes, el cotxe encara pot funcionar amb el motor de combustió. Això, sumat al fet que els PHEV tenen una bateria de capacitat inferior a les dels BEV, s'ha suposat que les bateries es desgastaran fins al punt de no ser reutilitzables en la majoria de casos.
- El segon motiu és la caiguda de vendes de PHEV en aquests últims anys¹ en contraposició al gran augment dels BEV (vegeu Gràfic 1).



Gràfic 1: Vendes de BEV i PHEV als Estats Units per any. [3]

Així i tot, els fabricants usen diferents tipus² de bateries. En aquest estudi es farà distinció entre les capacitats nominals de les bateries i les generacions dels vehicles elèctrics.

¹ Vegeu Gràfic 21

² Vegeu Tipus

3.3. El cotxe elèctric

Els primers motors elèctrics utilitzats pel desplaçament sorgiren a començaments del segle XIX amb els primers prototips en cotxes i en locomotores. Aquests, però, no eren més que models sense una funcionalitat real ja que la potència i autonomia que tenien no era suficient perquè fossin acceptats o bé perquè eren usats només en alguns àmbits com, per exemple, locomotores situades dins mines o tramvies urbans.

No fou fins a finals del segle XIX que els primers models funcionals començaren a estar a l'abast. Estaven construïts per fabricants que havien entrat en una espècie de competició destinada a batre rècords i així aconseguir fer els seus productes més coneguts. D'aquesta manera arribaren a desenvolupar cotxes com *La Jamais Contente* (vegeu *Il·lustració 1*), que fou el primer cotxe en arribar als 100 km/h.



Il·lustració 1: La Jamais Contente. [4]

Aquest auge del vehicle elèctric es pot veure reflectit en el fet que el 1912 un 33% dels automòbils en circulació eren elèctrics i només un 22% eren de benzina. Però els nous descobriments que revolucionaven el mercat no eren solament sobre el vehicle elèctric i una sèrie d'esdeveniments, com la invenció del motor d'arrancada elèctrica, el descobriment de grans reserves de petroli, el silenciador, que eliminava part del soroll, i també el començament de la producció en massa de vehicles amb benzina per part de Henry Ford, feren que el seu preu disminuís dràsticament i s'eliminés del mercat el seu homònim elèctric.

A principis del segle XXI alguns països i institucions comencen a veure necessària l'aplicació de mesures per reduir la contaminació, sobretot a les ciutats, i per aquest motiu es comencen a promulgar lleis per obligar els productors de vehicles a tornar a la producció de vehicles

elèctrics que s'havia abandonat feia quasi 100 anys. Aquestes lleis, però, no han estat sempre tan efectives com s'hauria suposat.

Així i tot alguns dels principals productors de vehicles aposten per la investigació i millora dels models elèctrics.

Segons el *VIII Estudio Españoles ante la Nueva Movilidad* [5] la intenció de compra a Espanya de cotxes elèctrics és d'un 10% i d'un 7% per híbrids endollables. També ens indica característiques que els compradors creuen importants a l'hora d'elegir quin cotxe comprar. Pel que fa a l'autonomia, els enquestats tenen diferents opinions (la qual cosa podria indicar el diferent ús que fa cada persona del cotxe) encara que la majoria, amb un 26 %, creu que entre 100 i 200 km seria suficient. Es pot observar també com l'edat dels potencials compradors afecta a l'hora d'elegir, ja que un 43% de les persones de 50 anys o més no pagaria un preu superior per un vehicle elèctric que per un de benzina o dièsel front un 26% de persones amb menys de 35 anys amb la mateixa opinió.

En referència a les decisions que s'haurien de prendre per a la generalització del vehicle elèctric 2 de cada 3 persones creuen que el més important és la instal·lació punts de càrrega ràpida en carreteres i, en segon i tercer lloc, la subvenció de punts de càrrega privats i l'aplicació d'un IVA molt reduït. Queda palès, per tant, que la major preocupació està relacionada amb la càrrega de la bateria del vehicle i en si aquesta serà suficient per poder realitzar els desplaçaments.

L'autonomia dels cotxes elèctrics ha anat augmentant durant els últims anys i, degut a l'augment de compres i a la pressió de les institucions, la mitjana ha passat dels 137 km el 2013 als 322 km el 2019 i segueix augmentant al mateix temps que disminueix el temps de càrrega [6].

Hi ha estudis [7] que indiquen que la majoria de VE disposen d'una capacitat inicial molt superior a la necessària per cobrir els desplaçaments diaris a Europa i, a més, s'arriba a la conclusió que, quan les bateries es troben al 80% de SOH, segueixen retenint energia suficient per realitzar aquests desplaçaments. També es posa de manifest que a causa de les grans diferències de capacitats existents, depenent del model i de la marca, es poden establir diferents SOH a partir dels quals el vehicle començarà a no poder realitzar els desplaçaments diaris. Es pot veure com amb unes bateries amb una capacitat inicial de 30 kWh podríem arribar a un 50% de SOH tenint en compte només les distàncies que es volen recórrer.

Hi ha models que ja arriben a una capacitat de 100 kWh però aquesta no és la realitat de la majoria de VE que circulen per Gran Bretanya [8] ni per Europa en general. Per aquest motiu s'estudiarà la mobilitat al Regne Unit per esbrinar fins quan el valor de SOH és suficient en diferents escenaris, depenent de la capacitat inicial, dels anys de vida del vehicle i del quilometratge.

3.4. Bateries

Així com els vehicles de combustió tenen com a font d'energia els combustibles fòssils, la importància dels VE es fonamenta en el fet que utilitzen energia elèctrica per a funcionar. Per tant, aquesta energia ha d'estar emmagatzemada en el propi vehicle.

La qualitat de la bateria es converteix en un punt clau en la construcció i durabilitat d'un VE. Per aquest motiu, durant anys s'han estat desenvolupant diferents tipus de bateries per millorar-ne les prestacions.

Quan parlem de vehicles i de bateries cal distingir cada tipus de bateria per la funció que té.

Els vehicles de combustió utilitzen bateries de plom per al motor d'arrancada que proporciona uns corrents molt elevats durant un breu espai de temps i també pels consums auxiliars del vehicle. Aquest tipus de bateria, però, no és el que utilitzen els VE per a la tracció. Per tant només s'estudiaran els tipus de bateries destinades a la tracció de VE.

3.4.1. Conceptes sobre bateries de VE

A continuació s'exposaran alguns dels paràmetres més importants per entendre el funcionament de les bateries de tracció així com el treball en general:

- Capacitat inicial (kWh): Quantitat d'energia que és capaç d'emmagatzemar una bateria en el moment de la primera càrrega.
- Capacitat en el moment t (kWh): Quantitat d'energia que és capaç d'emmagatzemar una bateria quan ha passat un temps t des de la seva primera càrrega. Va disminuint o bé pel nombre de càrregues de la bateria o pel temps transcorregut des que va ser fabricada.
- SOC (*State of Charge*): Estat de càrrega. Serveix per indicar la quantitat de càrrega en què es troba la bateria en relació amb la càrrega màxima. S'indica de forma percentual.
- SOH (*State of Health*): Estat de salut. Relació entre la capacitat d'una bateria en el moment t i la capacitat inicial. S'indica de forma percentual.
- DOD (*Depth of discharge*): Profunditat de la descàrrega. S'usa per a indicar el tant per cent de descàrrega en un cicle o ús. És la relació entre la quantitat d'energia emmagatzemada dins la bateria abans i després d'aquest ús. S'expressa en forma de percentatge.
- Autonomia (km): Distància capaç de recórrer un VE sense realitzar cap càrrega. Depèn de la capacitat de la bateria i del consum del vehicle.

- Consum (kWh/km): Quantitat d'energia necessària per a desplaçar un VE la distància d'un quilòmetre. El consum depèn de gran quantitat de factors, alguns dels més importants són: el tipus de bateria, la temperatura o el tipus de conducció.

3.4.2. Tipus de bateries elèctriques

Paral·lelament al desenvolupament de nous aparells electrònics mòbils que necessitaven de fonts d'energia, han anat sorgint diferents tipus de bateries recarregables.

Els tipus de bateries utilitzades actualment són: plom-àcid, ió-liti, níquel-metall-hidrur, sodi-sofre i bateries de flux [9]. Durant els anys s'han anat modificant aquests tipus de bateries per a millorar les seves prestacions.

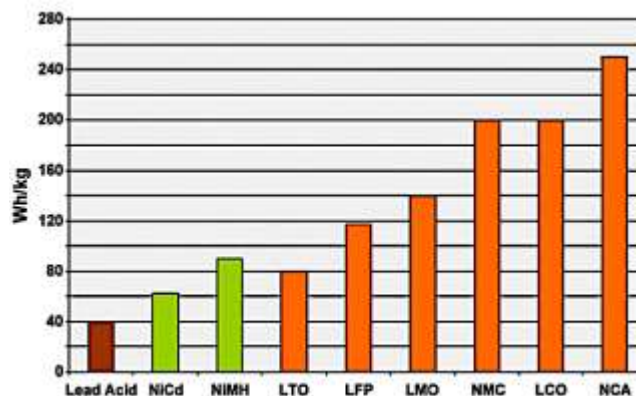
En els VE les bateries de ió-liti són les que tenen una major importància. Això es deu al fet que s'ha aconseguit reduir el cost, que entre 2006 i 2014 ha passat de 1300 \$/kWh a 400 \$/kWh i s'espera que al 2030 sigui de 130 \$/kWh [10]. A més, també disposen de més densitat d'energia i de vida útil que altres sistemes de bateries recarregables [9].

Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> - Alta energia específica i capacitat de càrrega. (LMO 140 Wh/kg, NCA 250 Wh/kg [11]) - Cicle i vida útil llargs; lliure de manteniment. (Aproximadament 1.000 cicles fins al 80% de SOH [12]) - Alta capacitat, baixa resistència interna i bona eficiència coulòmbica. (Existeixen bateries de 100 kWh per alguns BEV) - Algorisme de càrrega simple i temps curt de càrrega. (Càrregues de 270 km d'autonomia en 30 minuts [13]) - Baixa auto-descàrrega (menys de la mitat que les NiCd i NiMH).
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> - Requereix de protecció al circuit per prevenir el desbordament tèrmic sota estrès. - Es degrada a altes temperatures i si s'emmagatzema amb alts voltatges (vegeu Gràfic 3). - Impossibilitat de descàrrega ràpida a baixes temperatures (<0°C). - Regulacions necessàries en l'enviament de grans quantitats. - Preu molt per sobre de les altres tecnologies comercials. (Difícil extracció dels materials usats [14])

Taula 1: Avantatges i desavantatges de les bateries d'ió de liti. [15]

Hi ha diferents tipus de bateries de ió-liti segons els materials usats en l'ànode i càtode:

- LCO ($LiCoO_2$): La més utilitzada per telèfons mòbils, càmeres digitals i portàtils. Disposen d'una alta densitat energètica però, per altra banda, tenen una vida útil curta, baixa estabilitat tèrmica i una capacitat de càrrega limitada. A més, el cobalt necessari per a la seva fabricació és un material car [11].
- LMO ($LiMn_2O_4$): Comercialitzada per primer cop el 1996, utilitzava diòxid de manganès com a material per al càtode. Es pot combinar amb les NMC per millorar l'energia específica i prolongar-ne la vida útil. Aquesta mescla és la que utilitzen molts de fabricants de VE com el Nissan Leaf o el BMW i3. Així la part LMO proporciona una gran acceleració i la part NMC més autonomia [11].
- NMC ($LiNiMnCoO_2$): Són el tipus de bateries de liti més exitós. Això es degut a les grans propietats en tots els àmbits, vida útil, cost, seguretat... a més d'una excel·lent energia específica. Per aquests motius és utilitzada en bicicletes elèctriques, aparells mèdics, VE o en instal·lacions industrials [11].
- LFP ($LiFePO_4$): Ofereixen un bon rendiment electroquímic amb baixa resistència. Els beneficis clau es troben en l'alt corrent nominal i el llarg cicle de vida del que disposen. Un dels desavantatges és la fàcil auto-descàrrega en comparació amb altres bateries de liti que pot provocar problemes amb l'envelliment [11].
- NCA ($LiNiCoAlO_2$): Va sorgir l'any 1999 per a aplicacions especials; comparteix moltes similituds amb les NMC oferint una alta energia específica i una vida útil llarga. Per aquest motiu és utilitzada per algunes marques de VE, com per exemple Tesla [11].
- LTO (Li_2TiO_3): Les seves propietats les fan excel·lents en seguretat. A més tenen un rendiment elevat en baixes temperatures i una vida útil llarga. L'elevat cost i baixa energia específica la fan menys popular [11].



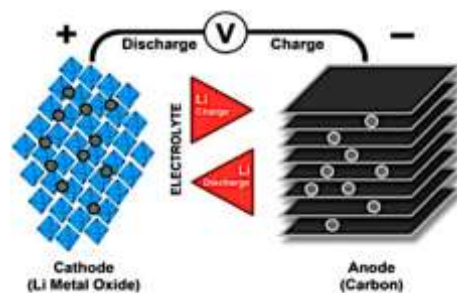
Gràfic 2: Energia específica per a diferents tipus de bateries recarregables. [11]

3.4.3. Funcionament de les bateries

Les bateries basades en liti estan formades per un ànode, un càtode i un electròlit que fa la funció de conductor.

Com s'ha vist a la secció 3.4.2 *Tipus*, hi ha diferents químiques per les bateries basades en ió-liti. Ànode i càtode poden estar fets de materials diferents, però el procés de càrrega i descàrrega és el mateix.

Durant la descàrrega els ions es desplacen de l'ànode cap al càtode mitjançant l'electròlit, alliberant energia elèctrica, i durant la càrrega realitzen el procediment invers, emmagatzemant energia. Aquest procediment es pot observar a la *Il·lustració 2*.



Il·lustració 2: Funcionament d'una bateria de ió-liti. [15]

3.4.4. Envel·liment de les bateries

Conèixer quin és el model d'envel·liment d'una bateria i els factors que hi influeixen és clau per als fabricants, per als usuaris i en general per a la societat.

Els fabricants de VE necessiten saber com es degrada la bateria que usen per poder garantir que aquesta serà capaç de realitzar una distància mínima durant un període de temps determinat. De fet, la garantia sobre la bateria en els VE sol ser el factor que més valoren els possibles compradors ja que, com més àmplia sigui, més confiança tenen els fabricants sobre el que estan venent i així poden atreure més compradors.

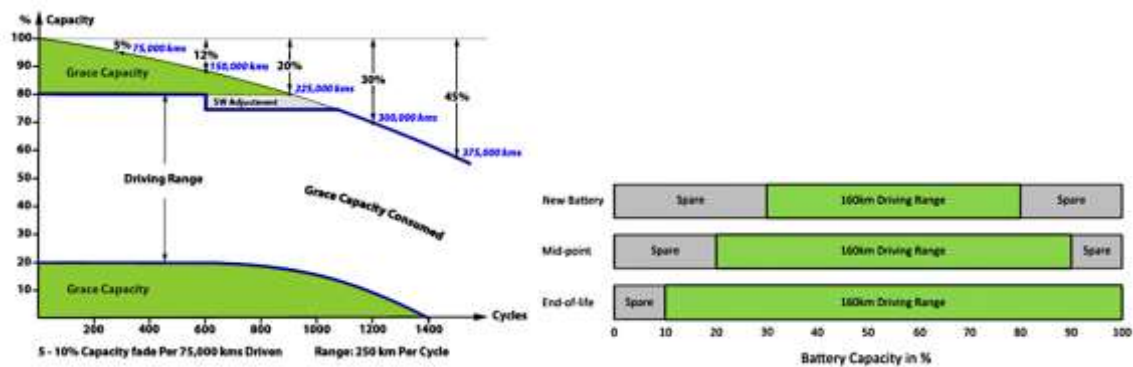
A la *Taula 2* es pot veure com la garantia es basa en l'SOH de les bateries relacionant aquest valor amb els quilòmetres recorreguts i amb els anys de vida.

Model	Anys de garantia	Quilòmetres	Degradació
Renault ZOE	8 anys (41 kWh) Sense límit d'anys en lloguer	160.000 Sense límit de km en lloguer	66% en bateries en propietat 75% en bateries en lloguer
Nissan LEAF	8 anys (30 kWh) 5 anys (24 kWh)	160.000 (30 kWh) 100.000 (24 kWh)	Si baixa de 9 barres
BMW i3	8 anys (33 kWh)	160.000	70 %
Chevrolet Bolt	8 anys (60 kWh)	160.000	60 %
Ford Focus EV	8 anys (33,5 kWh)	160.000	Sense cobertura
KIA Soul EV	10 anys (30 kWh)	160.000	70%
Mitsubishi iMiEV	8 anys (16 kWh)	160.000	Sense cobertura
Tesla	8 anys (Diferents capacitats)	Sense límit	Sense cobertura
Volkswagen e-Golf	8 anys (35,8 kWh)	160.000	70%
Mercedes Classe B ED	8 anys (36 kWh)	160.000	70%

Taula 2: Garantia de les bateries d'alguns VE. [16]

La majoria de VE tenen una garantia de 8 anys i 160.000 km. A Califòrnia els fabricants estan obligats a augmentar aquests valors fins a 10 anys i 240.000 km i la USABC (*United States Advanced Battery Consortium*) aposta per arribar als 15 anys de vida i 1000 cicles al 2020 [12].

Per a poder garantir que la bateria aguantarà per sobre dels valors de la *Taula 2*, aquesta ha de treballar entre el 20% i el 80% de la seva capacitat. Només es pot usar un 60% de la bateria en el moment de primer ús *Il·lustració 3 (Esquerra)*. Això va canviant a mesura que la capacitat disminueix i, per a poder oferir el mateix rang de quilòmetres, es comença a usar un tant per cent major de la capacitat (vegeu *Il·lustració 3 (Dreta)*) la qual cosa provoca un efecte contraproduent: l'augment en la rapidesa de l'envelliment.



Il·lustració 3: Rang de conducció en funció de la capacitat usada. (Esquerra) [12] (Dreta) [17]

Hi ha diferents formes d'estudiar l'envelliment de les bateries [18]. Algunes d'elles es basen en models electroquímics, elèctrics, matemàtics, experimentals... A més existeixen molts subtipus diferents de cada un d'aquests models. En un estudi [19] es varen utilitzar diferents models matemàtics amb dades preses del món real sobre un PHEV i dos BEV diferents i es va arribar a la conclusió que, depenent del subtipus utilitzat per a l'estudi de l'SOH, els resultats eren significativament diferents.

Cada model té uns avantatges i uns inconvenients: poden ser més o menys exactes, alguns tenen una complexitat molt elevada i d'altres necessiten d'un nombre de dades difícil d'obtenir (vegeu *Taula 3*).

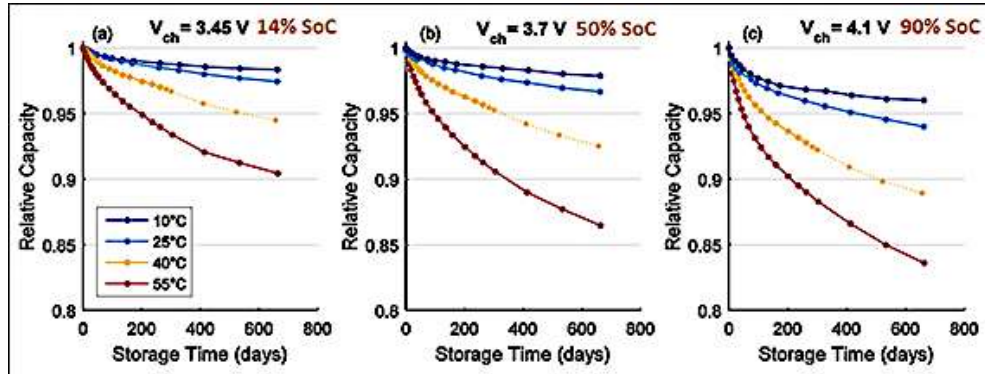
Tipus de model	Precisió	Complexitat	Esforç	Interpretabilitat	Aplicacions
Electroquímic	Molt alta	Molt alta	Alt	Baixa	Disseny de la bateria
D'ordre reduït	Alta	Alta	Mitjà	Mitjana	Control, estimació de l'SOC
EECMs	Mitjana	Baixa	Mitjà	Alta	Control a temps real, estimació de l'SOC
Empíric	Baixa	Molt baixa	Baix	Mitjana	Només per a un estat de funcionament constant
Caixa negra	Mitjana	Mitjana	Mitjà cap a alt	Baixa	Anàlisi fora de línia

Taula 3: Exemple de diferents models d'estudi i els seus avantatges i inconvenients. [18]

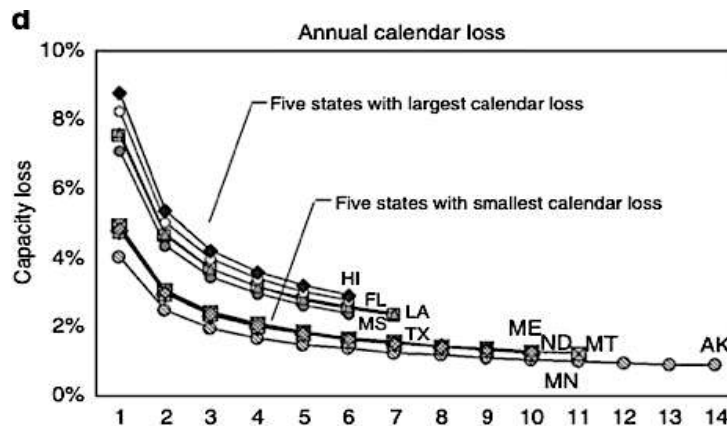
En aquest treball ens centrarem en els models experimentals que necessiten d'un nombre de dades elevat i a cops difícil d'obtenir.

Quan es parla d'envelliment a les bateries es poden distingir dos tipus: l'envelliment per calendari i l'envelliment per cicles. Hi ha també diferents factors que afecten directament l'envelliment. Són: el DOD, el SOC, la intensitat, la temperatura i el temps.

- Envel·liment per calendari: Aquest tipus d'envel·liment és el que es relaciona amb la pèrdua de capacitat de la bateria quan no s'està usant, és a dir, quan no està en procés de càrrega ni de descàrrega. Els factors que influeixen en aquest tipus d'envel·liment són la temperatura, el temps i el SOC.



Gràfic 3: Envel·liment experimental per calendari en diferents condicions. [12]

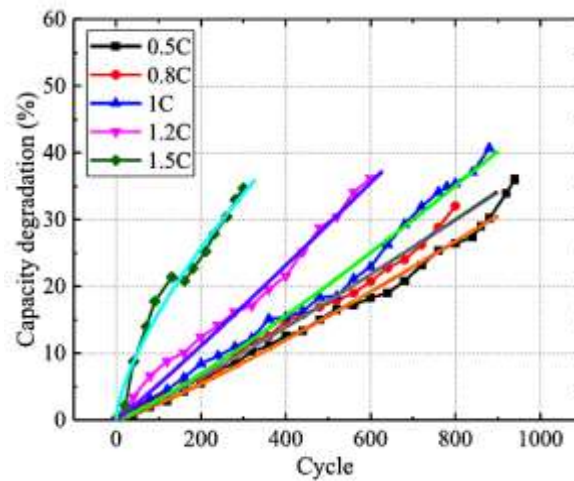


Gràfic 4: Capacitat perduda per calendari en diferents estats dels EUA en un estudi basat en un model real de conducció. [20]

Com es pot veure al Gràfic 4 els estats on la temperatura és més baixa durant l'any la pèrdua de capacitat és inferior. Això verifica el que s'havia vist al Gràfic 3.

- Envel·liment per cicles: L'envel·liment per cicles és més complex d'estudiar degut a que hi intervenen tots els factors anomenats anteriorment. Hi ha moltes tècniques diferents d'estudi d'aquest fenomen (com els de la Taula 3) i avui en dia segueix essent un tema molt estudiat. Si es fixen tots els factors menys un, com per exemple en un estudi [21] realitzat sobre bateries LCO on l'únic factor variable és la intensitat de càrrega, es pot observar com la degradació de la bateria és molt diferent depenent de la intensitat de càrrega (vegeu Gràfic 5).

Queda clar que per poder dur a terme un estudi acurat sobre l'envelliment és necessari disposar de les dades de tots els factors que intervenen sempre partint d'un estudi realitzat a molts vehicles, cosa que el complica amb escreix. En aquest treball, però, utilitzant dades de SOH preses per els usuaris sobre els seus VE no podem saber quin paper té cada factor en l'envelliment, però a canvi disposem d'unes dades basades en la conducció real de la pèrdua de capacitat total per diferents tipus de bateries de VE.



Gràfic 5: Degradació de la capacitat per cicles en funció de la intensitat de càrrega. [21]

4. Metodologia

La metodologia comença explicant com s'ha arribat a la relació entre els anys de vida d'un turisme i el quilometratge que ha realitzat tenint com a resultats les distribucions teòriques del quilometratge en funció dels anys de vida del vehicle (secció 4.1). A la secció 4.2 es defineix el procediment seguit per a l'elecció de l'envelliment de les bateries. Finalment, a la secció 4.3 s'exposen els detalls sobre les baixes i matriculacions de cotxes elèctrics així com les conclusions extretes pels anys posteriors a aquest estudi.

En alguns casos, segons la possibilitat d'obtenció de les dades, es farà la suposició que el territori referit al Regne Unit i el referit a Gran Bretanya és el mateix.

4.1. Relació antiguitat-quilometratge

Els vehicles acaben la seva vida útil en estats molt diferents, ja que poden tenir més o menys anys, així com també poden haver recorregut un nombre major o menor de quilòmetres en aquest temps. En aquesta part de l'estudi no ens importa tant el motiu pel qual el vehicle ha acabat la seva vida útil, sinó amb quin quilometratge i quants anys de vida ho ha fet. Aquests dos factors són totalment necessaris per poder arribar a una conclusió sòlida sobre en quin estat arribaran les bateries dels turismes elèctrics en els pròxims anys.

La informació sobre aquesta relació és molt estudiada per revistes científiques, organismes nacionals i internacionals i pels fabricants d'aquests vehicles.

Aquesta relació normalment es basa en una estimació que es fa partint dels anys de vida del cotxe i la mitjana de quilòmetres anuals que es realitzen a un país determinat [1].

Per a l'obtenció d'aquesta relació s'ha realitzat un procés similar al dut a terme per a un informe de la comissió europea [22] amb dades del Regne Unit i un altre estudi similar [23] realitzat amb dades d'Alemanya. En aquests estudis es parteix de les dades sobre la revisió de vehicles, a Espanya anomenada ITV, que el govern dels respectius països dona a conèixer de forma pública. Amb aquesta informació i, seguint un algoritme similar en els dos casos, s'arriben a extreure diferents conclusions.

Aquest ha estat el procés elegit ja que aconseguir informació sobre els vehicles quan aquests són donats de baixa ha estat impossible perquè ni l'INE ni la DGT disposen d'aquestes dades³ [24] ja que deriven el tractament d'aquests vehicles a punts de recollida. No s'ha pogut aconseguir la informació d'aquests punts ja que no han respost a la sol·licitud d'informació.

³ Vegeu Annex 1

El que es vol, per tant, és trobar en quin moment els cotxes, en general, es donen de baixa per així poder relacionar-los amb els elèctrics. Un cop es conegui quina és la distribució de quilòmetres que realitza un cotxe al llarg de la seva vida, depenent dels anys que té, es podrà extreure una conclusió sobre quin podria ser l'SOH de la bateria mínim per a realitzar aquests quilòmetres. És a dir, com han de ser les bateries en un futur per cobrir les tendències de conducció que existeixen avui en dia sense causar problemes o si les bateries que existeixen avui en dia ja són suficients. També es podrà saber quina quantitat i en quin estat arribaran aquestes bateries al final de la vida útil dels vehicles per conèixer si podran ser reutilitzades per altres vehicles, per a instal·lacions d'altres tipus o directament reciclades.

4.1.1. Dades

Les dades utilitzades per aquest estudi són les que proporciona el govern del Regne Unit sobre les inspeccions de vehicles anomenat MOT [25] que és un procés similar a la ITV realitzada a Espanya.

Els motius pels quals s'ha elegit el Regne Unit són principalment tres:

- El primer, perquè té un nombre baix d'importacions i exportacions (*Taula 4*). Aquest factor és important ja que els vehicles exportats desapareixen de les dades MOT, cosa que fa suposar, segons l'algorisme⁴, que aquests vehicles han estat retirats de la circulació quan en realitat segueixen circulant a un altre país. Les importacions tenen un efecte negatiu més limitat ja que es coneix l'any de matriculació, però és impossible que puguem saber amb seguretat el seu vertader quilometratge.

Estat	Exportacions	Nous registres	Exportacions com a percentatge de nous registres
UK	78.893	2.418.953	3.3%
Espanya	253.857	1.327.048	19,1%

Taula 4: Nombre de cotxes de segona mà exportats el 2008. [22]

- El segon, perquè les dades de la ITV realitzades a Espanya no estan disponibles [24].
- El tercer, perquè al Regne Unit les revisions de vehicles s'han de fer obligatòriament cada any després del primer cop que s'hi ha acudit, cosa que facilita l'estudi.

⁴ Vegeu 4.1.2

Els anys estudiats són des de l'inici de la publicació de les dades, a excepció feta del 2005 per errors en la presa de les dades ja que era el primer any que es duia a terme, fins al 2017 que és l'últim any que han estat publicades ja que porten dos anys de retràs en la publicació. Per tant s'han utilitzat les dades de 12 anys però només entren directament a l'estudi fins al 2015 ja que les del 2016 i 2017 no es poden verificar per falta de les dades dels anys següents.

El tractament de dades es va fer amb RStudio® [26], un open-source d'anàlisi estadístic de dades.

La informació de cada any és la mateixa (Veure *Annex 2* per més detalls): un nombre per identificar el test, un altre per identificar el vehicle de forma anònima, un que informa sobre la data en què es va fer el test... Els que són importants per aquest estudi són els següents:

- Test_class_id: permet separar els turismes dels altres vehicles.
- Test_result: indica si han passat o no la inspecció tècnica.
- Test_mileage: indica les milles que té el vehicle en el moment del test.
- Fuel_type: dóna informació sobre quin tipus de motor porta el vehicle.
- First_use_date: informa de quin va ser l'any que va començar a utilitzar-se el vehicle.

Cada any es fan uns trenta milions de tests i, ja que aquest nombre tant alt de dades era impossible de tractar, es varen imposar una sèrie de restriccions:

- Test_class_id = 4. Això indica que es tracta d'un turisme.
- Test_result = P, PRS (Passa el test) o F, ABA (No passa el test). Hi ha altres possibles resultats del test que deriven a un de nou i això faria que apareguessin dos cops a la base de dades del mateix any.
- Fuel_type = DI. Indica que el vehicle és dièsel. S'han agafat aquest tipus de cotxes perquè, segons l'informe de la comissió europea [22], segueixen una evolució al llarg dels anys similar a la que haurien de tenir els cotxes elèctrics, és a dir, a mesura que passen els anys la tendència és que aconsegueixen realitzar més quilometres abans de ser retirats. A més, seleccionar solament els elèctrics podria abocar-nos a un error ja que la separació sobre diferents tipus d'híbrids que es fa no és clara i el nombre és massa baix per a ser estadísticament robust (el 2018 només un 0,6% dels cotxes amb llicència a Gran Bretanya eren híbrids endollables o elèctrics [27]).

En aquest punt es disposa d'uns dotze milions de cotxes per estudiar cada any.

Finalment es va procedir a aplicar un algoritme de selecció per trobar els cotxes que havien estat donats de baixa.

4.1.2. Algoritme de selecció

Primerament es va plantejar un algoritme que es basava en la suposició que si un vehicle havia passat la revisió tècnica l'any i però no l'havia passada l'any $i+1$ aleshores significava que el vehicle havia estat retirat de la circulació i per tant donat de baixa.

Aquest mètode presenta alguns inconvenients:

- Els vehicles robats apareixen a l'any i però poden no aparèixer a l'any $i+1$. Segons el govern del Regne Unit el 2013 varen ser robats 81.306 vehicles [28] entre Anglaterra, Gal·les i Escòcia. Aquest és un nombre molt baix de cotxes en relació als més de dos milions de registres que es produeixen cada any. A més, segons les dades obtingudes, la tendència de robatoris de vehicles va a la baixa any rere any i això fa que es pugui suposar que després del 2013 encara ha baixat més el nombre de robatoris.
- Si el propietari d'un vehicle no vol pagar les taxes de circulació, ja que el vehicle en qüestió no ha de circular per llocs públics, però vol mantenir la titularitat del vehicle pot realitzar un *SORN* (*Statutory Off Road Notification*). Aquests vehicles, per tant, estan exempts de passar la inspecció tècnica i, en conseqüència, desapareixen de les dades sense arribar al final de la seva vida útil, ja que podrien seguir essent utilitzats més endavant. El 2018, de 31,5 milions de cotxes registrats [29], 2,6 milions estaven registrats com a *SORN* [30]; és a dir, un 8,23% dels cotxes registrats estan fora de circulació. La majoria de cotxes que accedeixen a aquest pla són els més antics i per això els que menys interessin a l'estudi.

Altres problemes que poden donar-se amb l'algoritme són que el propietari no acudeixi a realitzar el MOT l'any exacte, cosa que faria que el vehicle no aparegués l'any $i+1$ sinó el $i+2$ o que acudeixi i, en no passar el test, passés un temps abans de tornar a realitzar-lo, la qual cosa desencadenaria el mateix problema.

Per a suavitzar l'efecte d'aquests possibles errors el procediment que s'ha seguit és més llarg que el plantejat primerament. Si un cotxe no apareix l'any $i+1$ però sí que apareix l'any $i+2$ aleshores el cotxe no serà comptabilitzat per l'estudi. Per aquest motiu les dades del 2016 no entren a formar part directa de l'estudi i només serveixen per comprovar que els vehicles que no apareixen el 2015 tampoc ho fan el 2016.

Aleshores:

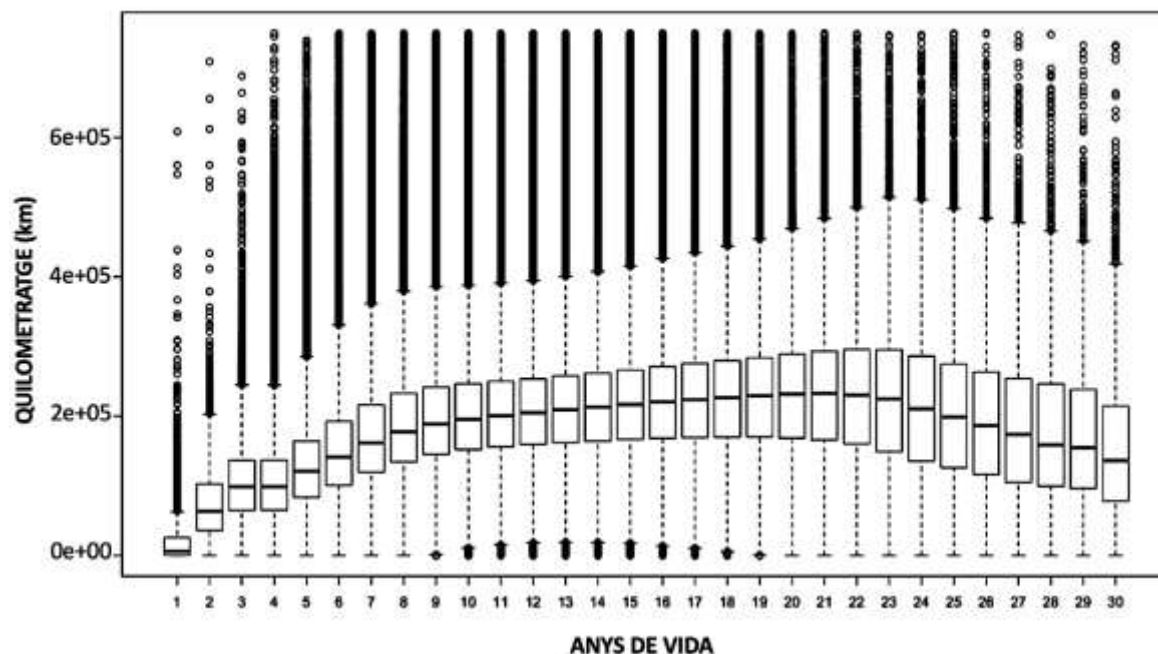
Resultat del test			Acció
Any i	Any i+1	Any i+2	
Passa	Passa	-	Exclosos de l'estudi
Passa o falla	No apareix	Apareix	Exclosos de l'estudi
Passa	No apareix	No apareix	Ha acabat la vida útil l'any i+1
Falla	No apareix	No apareix	Ha acabat la vida útil l'any i

Taula 5: Algoritme. (Font pròpia)

Per acabar d'eliminar algunes dades que podrien ser errònies no s'han tingut en compte els següents casos:

- Cotxes amb anys de vida < 0.
- Cotxes amb el model anotat com "UNCLASSIFIED".
- Cotxes amb més de 30 anys.
- Quilometratge màxim < 750.000 km.

En aquest punt es disposava de les dades de cotxes dièsel que havien acabat la seva vida útil entre el 2006 i el 2016.



Gràfic 6: Diagrama de caixes del quilometratge en funció dels anys de vida. (Font pròpia)

Com es pot veure al *Gràfic 6* els quilòmetres recorreguts al final de la vida dels cotxes és significativament diferent depenent dels anys de vida de cada un. Per aquest motiu s'ha decidit estudiar la distribució de cada quilometratge per separat.

A primer cop d'ull com més vell és el cotxe, més quilòmetres té. Aquesta tendència no és tan marcada com es podria suposar en un principi i, a més, a partir dels 22 anys de vida hi ha una baixada important en el quilometratge. De fet no hi ha una correlació estreta entre ambdós valors.

Hi ha valors anòmals que indiquen quilometratges molt elevats. Per aquest motiu s'ha decidit limitar el quilometratge màxim (ja limitat anteriorment) a 500.000 km, valor que és ja molt alt en qualsevol vehicle i que no n'elimina cap no anòmal de cap any.

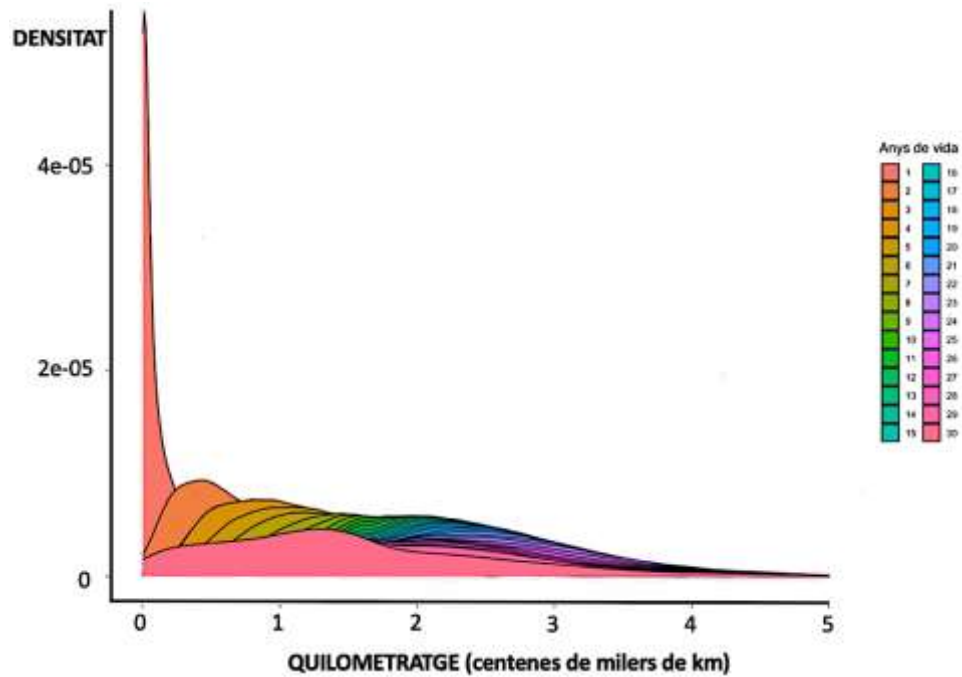
4.1.3. Obtenció de les densitats

Com es pot intuir al *Gràfic 6* les distribucions de cada any són significativament diferents a excepció d'alguns casos. Per això i, després de realitzar un test de Wilcoxon⁵, per a confirmar-ho, s'ha estudiat cada any per separat.

Al *Gràfic 7* es pot comprovar el diferent comportament del quilometratge final depenent dels anys de vida del vehicle. No és d'estranyar que els vehicles amb menys anys recorren menys quilòmetres. Els cotxes amb només un any de vida han estat exclosos de l'anàlisi ja que tenen una tendència molt estranya i això pot ser degut a la baixa quantitat de dades.

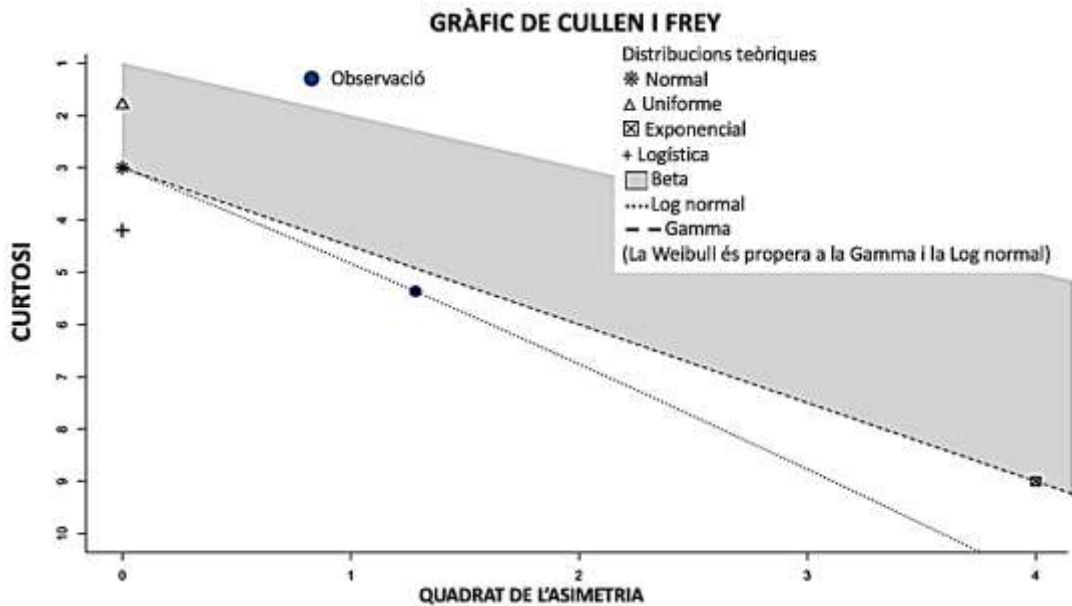
Seguidament s'ha realitzat un procés per trobar la distribució teòrica més semblant a la corba de densitat de les dades reals per a cada any.

⁵ Vegeu *Annex 3*



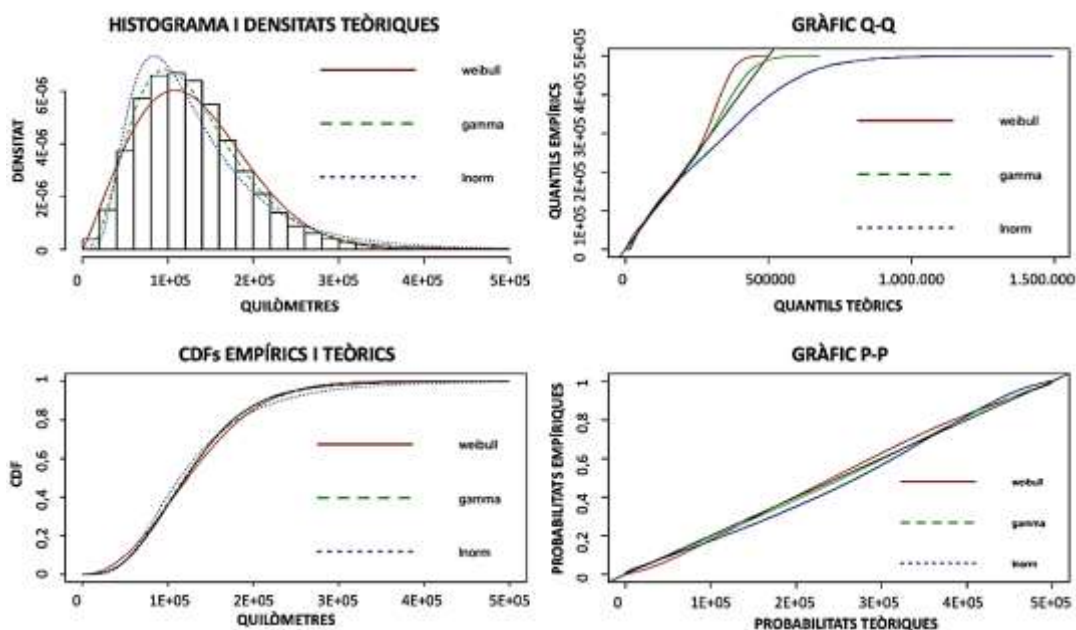
Gràfic 7: Densitat de quilometratge per anys de vida. (Font pròpia)

Al Gràfic 7 es pot veure com les distribucions tenen una forma semblant a les més utilitzades, com poden ser la normal, la gamma o la weibull. Per poder comprovar que es tracta d'alguna d'aquestes, s'ha dibuixat l'anomenat gràfic de Cullen i Frey (vegeu Gràfic 8) on es pot veure en quin punt es troba la distribució real (punt blau) en relació a un seguit de distribucions com les anomenades anteriorment i d'altres. Aquesta eina ens permet eliminar de l'estudi algunes distribucions per així fer-lo més ràpid i senzill.

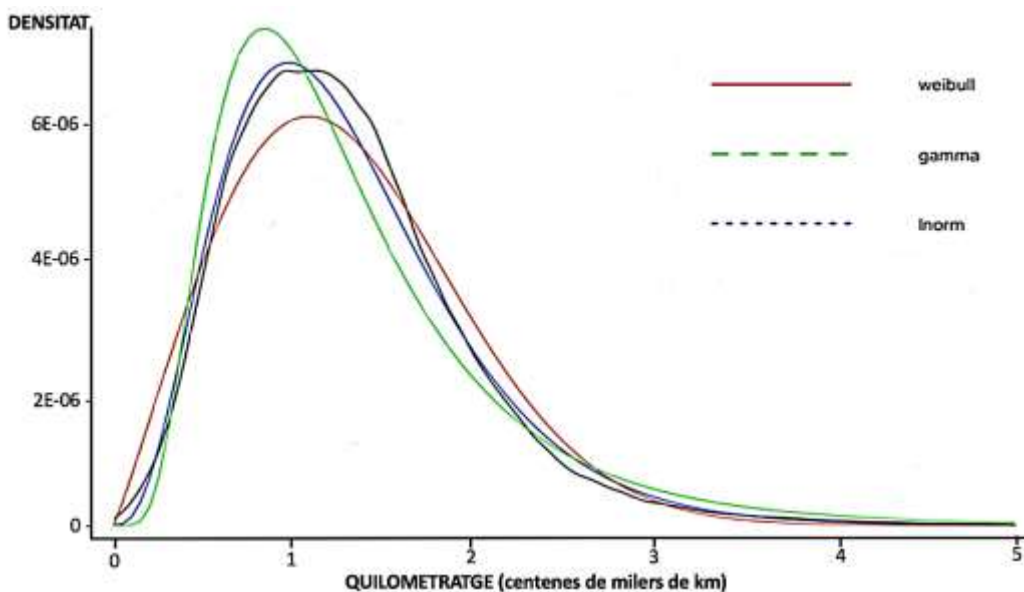


Gràfic 8: Gràfic de Cullen i Frey per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia)

El següent pas és esbrinar quina de les distribucions que no han estat eliminades en el gràfic de Cullen i Frey és la més adient. Aquest es basa en un procés d'estudi de quatre gràfics (vegeu *Gràfic 9*). Amb aquests gràfics es pot arribar a una conclusió sobre quina distribució és la que més semblança té amb l'empírica. En el cas explicat al *Gràfic 9* la millor opció és la Gamma. S'ha de dir que cap distribució teòrica serà exactament igual a les dades reals i, per tant, es tracta de trobar un model teòric el més exacte possible.



Gràfic 9: Procés d'estudi dels gràfics per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia)



Gràfic 10: Distribucions real (negra) i teòriques per a cotxes que arriben als 5 anys de vida. (Font pròpia)

L'últim pas per acabar d'assegurar que s'ha elegit la distribució correcta és comprovar que les distribucions elegides tenen una tendència semblant a l'empírica (vegeu *Gràfic 10*).

S'ha seguit el mateix procés en els 30 anys que s'integren a l'estudi i s'ha arribat a la conclusió que, per als cotxes que estan en els primers 8 anys de funcionament quan són retirats, les millors gràfiques per representar les dades són la Gamma o la Weibull (dues distribucions semblants).

La tendència es va desplaçant cap a distribucions logístiques (semblants a les normals però amb cues més pesades [31]) que, a partir dels cotxes donats de baixa als 9 anys de vida, són les que millor s'ajusten a les dades reals i, cap a les normals, a partir dels 20, amb algunes excepcions (vegeu *Taula 6*).

Anys	Distribució	Anys	Distribució
1	Exclosa de l'estudi	16	Logis (ubicació=220.136,53, escala=49.021,85)
2	Gamma (escala=42.030,61, forma=1,79)	17	Logis (ubicació=222.838,70, escala=49.616,33)
3	Weibull (escala=1,19e+05, forma=2,06)	18	Logis (ubicació=225.226,26, escala=50.550,44)
4	Gamma (escala=29.837,96, forma=3,54)	19	Logis (ubicació=227.842,96, escala=51.523,26)
5	Gamma (escala=33.230,84, forma=3,91)	20	Logis (ubicació=229.909,93, escala=53.749,23)
6	Gamma (escala=36.825,95, forma=4,15)	21	Normal (mitjana=228.417,68 , sd=94.444,28)
7	Gamma (escala=37.060,59, forma=4,69)	22	Normal (mitjana=226.558,81 , sd=97.858,74)
8	Gamma (escala=37.213,2, forma=5,06)	23	Normal (mitjana=221.692,3 , sd=101.298,1)
9	Logis (ubicació=192.362,34, escala=43.290,11)	24	Normal (mitjana=210.377,5 , sd=104.240,6)
10	Logis (ubicació=198.295,16, escala=42.946,59)	25	Normal (mitjana=200.147,2 , sd=103.857,4)
11	Logis (ubicació=202.174,70, escala=42.908,66)	26	Normal (mitjana=190.694,5 , sd=103.614,1)
12	Logis (ubicació=205.557,86, escala=43.130,78)	27	Normal (mitjana=181.286,1 , sd=104.743,6)
13	Logis (ubicació=209.276,61, escala=43.782,07)	28	Normal (mitjana=173.797,1 , sd=103.952,4)
14	Logis (ubicació=212.477,08, escala=44.534,29)	29	Normal (mitjana=168.098,7 , sd=101.497,3)
15	Logis (ubicació=215.644,93, escala=45.366,48)	30	Logis (ubicació=143.009,16, escala=57.198,08)

Taula 6: Distribucions teòriques. (Font pròpia)

4.2. Envelliment

Com ja s'ha vist a la secció *Envelliment de les bateries*, les bateries dels VE segueixen un model d'envelliment complex que depèn de diferents factors que en la vida real són difícils de controlar.

En aquest treball es vol trobar una tendència d'envelliment quan cap de les variables que afecten a l'envelliment sigui controlada o mantinguda a un valor constant, és a dir, es vol trobar l'envelliment dels vehicles que estan en circulació i que estan sota diferents condicions de funcionament.

Mitjançant aquesta tendència d'envelliment es podrà relacionar l'SOH amb els quilòmetres recorreguts.

4.2.1. Dades

Les dades utilitzades en aquest treball pel model d'envelliment han estat extretes de les dades publicades per *Geotab* [32]. *Geotab* és una empresa que es dedica al tractament de dades amb filials com *Fleetcarma*, que es dedica al tractament de dades de vehicles elèctrics.

Aquestes empreses donen servei a d'altres empreses o institucions en relació a la flota de vehicles realitzant, entre d'altres coses, un seguiment de l'estat d'aquests vehicles. Gràcies a això disposen d'una base de dades de l'estat de les bateries de molts vehicles elèctrics.

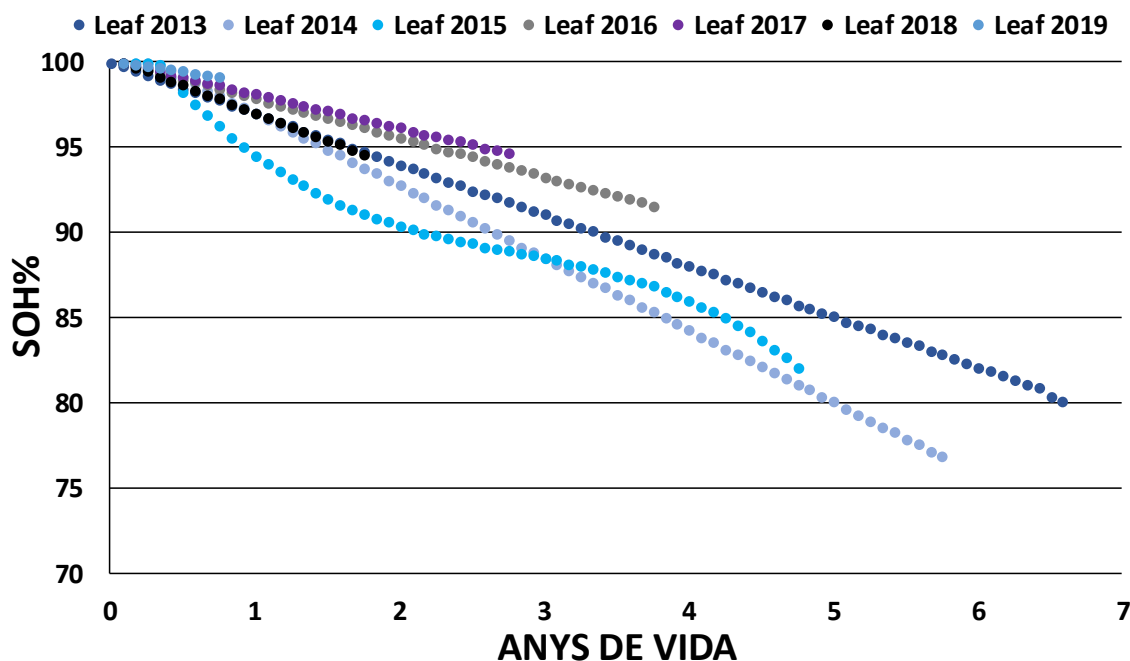
La utilització d'aquestes dades té uns beneficis i uns inconvenients. El punt fort és l'obtenció d'un model basat en el món real sobre milers de cotxes elèctrics.

Per contra, el seguiment dels vehicles es realitza amb un dispositiu que es connecta al vehicle, amb el que s'estima l'SOH del cotxe en cada moment. El problema és que un desajust entre el firmware del dispositiu i del vehicle pot fer que les mesures preses siguin diferents a les reals [33].

4.2.2. SOH en funció dels anys de vida

Per tal d'obtenir una mostra fiable de dades es varen seguir les següents passes:

Es va decidir utilitzar només les dades de vehicles dels que es disposés informació de *Geotab* i, a més, fossin de les marques més venudes al Regne Unit. Per aquest motiu només s'han tractat les dades de Tesla, Nissan Leaf, Volkswagen Golf i el BMW i3 en diferents models i anys.

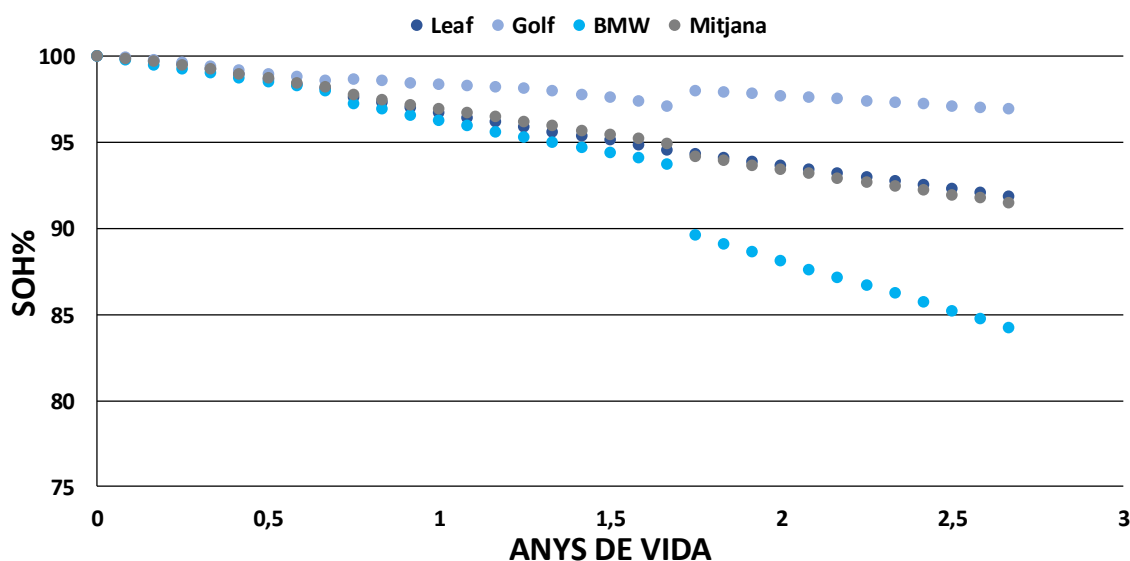


Gràfic 11: SOH en funció dels anys de vida del cotxe per a diferents anys de Nissan Leaf.

[32]

Com s'ha dit anteriorment es tracta de vehicles que són utilitzats de forma diferent i en llocs diferents, a més de la influència que pugui tenir l'electrònica de cada model en la presa de dades de l'SOH (vegeu *Gràfic 11*).

Aquesta discrepància en l'envelliment també el podem observar amb altres marques (vegeu *Gràfic 12*) on es pot veure un deteriorament significativament major en el BMW i3 i menor en el Volkswagen Golf. Per a arribar a uns valors que puguin ser utilitzats per a totes les bateries de capacitats compreses entre els 16 i 40 kWh s'ha decidit utilitzar la mitjana d'aquestes tres marques, arribant a un valors semblants al de la mitjana de Nissan Leaf (vegeu *Gràfic 12*).



Gràfic 12: Comparació de mitjanes de SOH en funció dels anys de vida. [32]

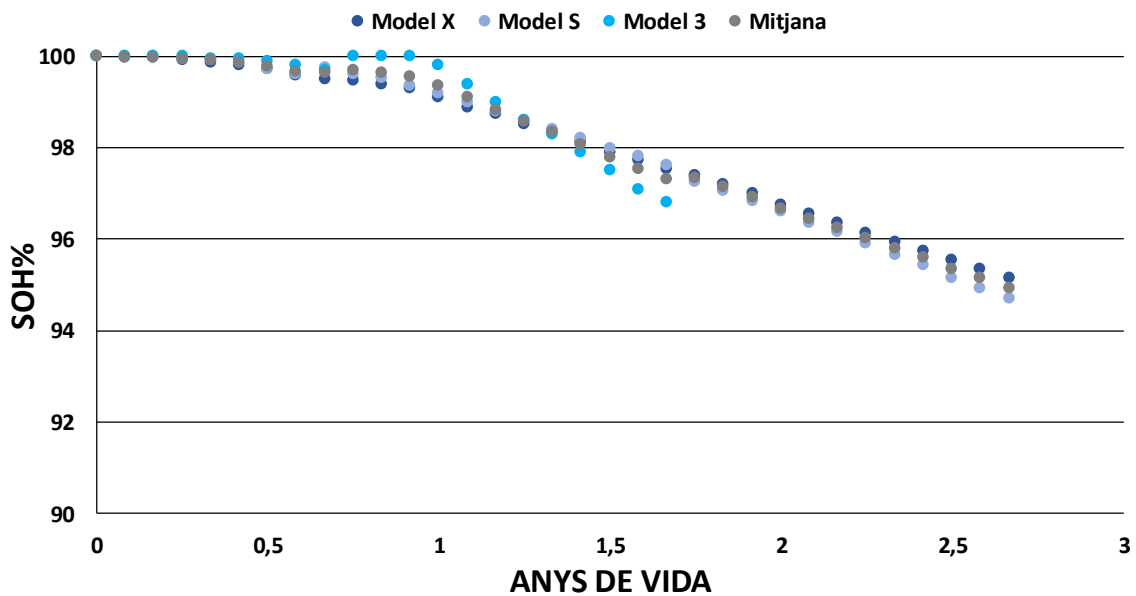
Amb la mitjana de les tres marques de les dades disponibles de cotxes de fins a 79 mesos d'antiguitat s'ha realitzat una regressió lineal arribant a l'Equació 1 que defineix quin és l'SOH d'aquests tipus de bateries en funció dels anys de vida.

$$SOH = -3,2782 * Anys de vida + 99,976$$

Equació 1: SOH en funció dels anys de vida per a cotxes amb bateries compreses entre 16 i 40 kWh. (Font pròpia)

Un cop estudiat l'envelliment per aquest tipus de bateries s'ha realitzat el mateix procediment per a les bateries de més capacitat (vegeu Gràfic 13).

Les dades són totes de la marca Tesla però separades en tres models diferents: el model S, el model X i el model 3 i per anys. Realitzant la mitjana de totes les dades disponibles s'ha obtingut l'Equació 2.



Gràfic 13: Comparació de mitjanes de SOH en funció dels anys de vida per als Tesla. [32]

$$SOH = -1,9923 * Anys de vida + 100$$

Equació 2: SOH en funció dels anys de vida per a cotxes amb bateries de més de 60 kWh.
(Font pròpia)

En els dos casos s'han fet dues suposicions:

- Per a poder relacionar les dades d'envelliment entre diferents models i anys, s'ha suposat que en l'Equació 1 la capacitat és de mitjana 30 kWh i en l'Equació 2 és de 70 kWh.
- La relació de SOH amb anys de vida és lineal. Com ja s'ha vist a *Envelliment de les bateries* aquest consta de dues parts; l'envelliment per calendari i l'envelliment per cicle. L'envelliment per cicle és lineal segons la majoria d'estudis (Gràfic 5). En canvi, l'envelliment per calendari és més pronunciat els primers anys (Gràfic 3 i Gràfic 4) cosa que no és visible en les dades utilitzades de *Geotab*.

4.2.3. SOH en funció dels quilòmetres

Per a poder relacionar l'SOH amb les distribucions de quilometratges trobades a la secció 4.1.3 és necessari saber com disminueix la capacitat de les bateries en funció dels quilòmetres que han recorregut.

L'Equació 1 i l'Equació 2 estan en funció dels anys de vida, per tant, era necessari saber quants quilòmetres realitzaven aquests cotxes a l'any en funció de la seva antiguitat.

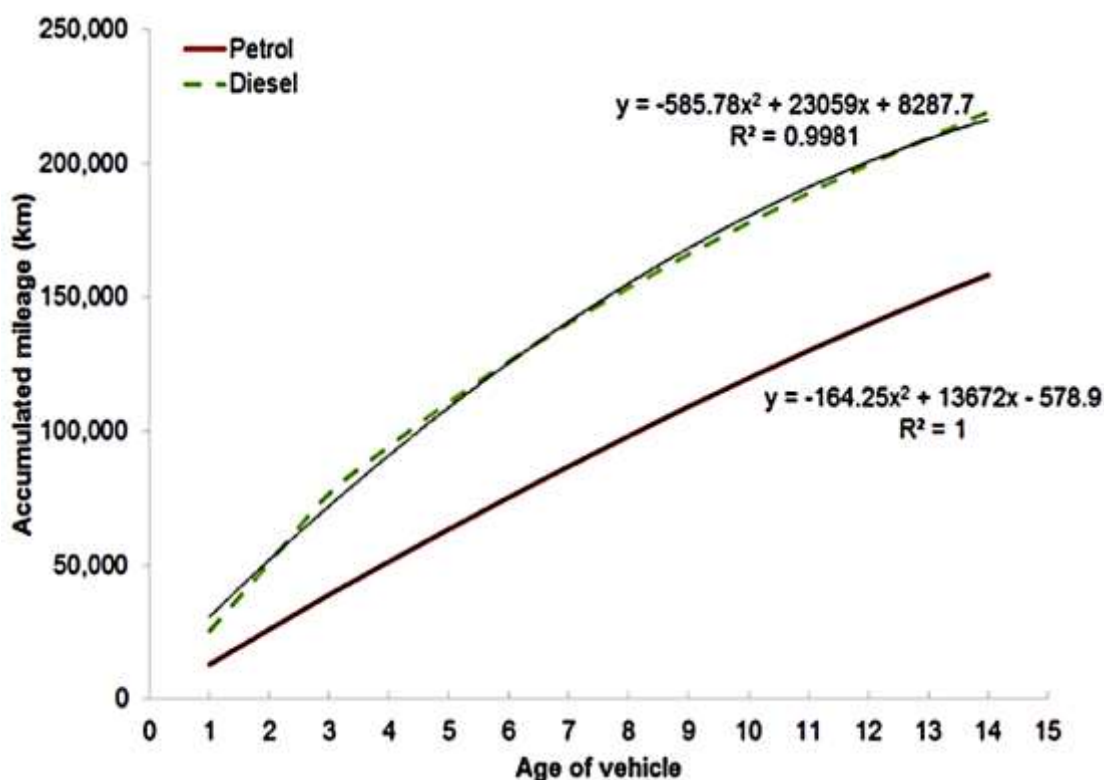
Per això, primer s'havia de saber sobre quins cotxes estava realitzat l'estudi de *Geotab*. *Fleetcarma* és la filial de *Geotab* que és qui ha realitzat l'estudi, utilitzant un dispositiu anomenat *FleetCarma C2 OBD II* [34]. L'estudi s'ha fet a cotxes de diferents llocs dels Estats Units [35] i a més hi ha un nombre limitat de cotxes que poden accedir al programa.

Per tant, es pot veure com la majoria de vehicles que entren a formar part d'aquest programa pertanyen a flotes de vehicles d'empreses o institucions del govern que de mitjana realitzen més quilòmetres que els vehicles particulars. A més, es realitza a estats com Florida, Nova York, Arizona, Tennessee... on la mitjana de quilòmetres anuals és molt elevada (vegeu la *Il·lustració 4*).



Il·lustració 4: Quilòmetres anuals als diferents estats dels Estats Units. [20]

És comú en la vida d'un vehicle que en els primers anys aquest acumuli un major nombre de quilòmetres que quan el vehicle ja porta més anys en funcionament. Això es pot veure en el *Gràfic 14*. Aquest quilometratge està extret de l'estudi per a la comissió europea ja comentat anteriorment [22] (vegeu 4.1).



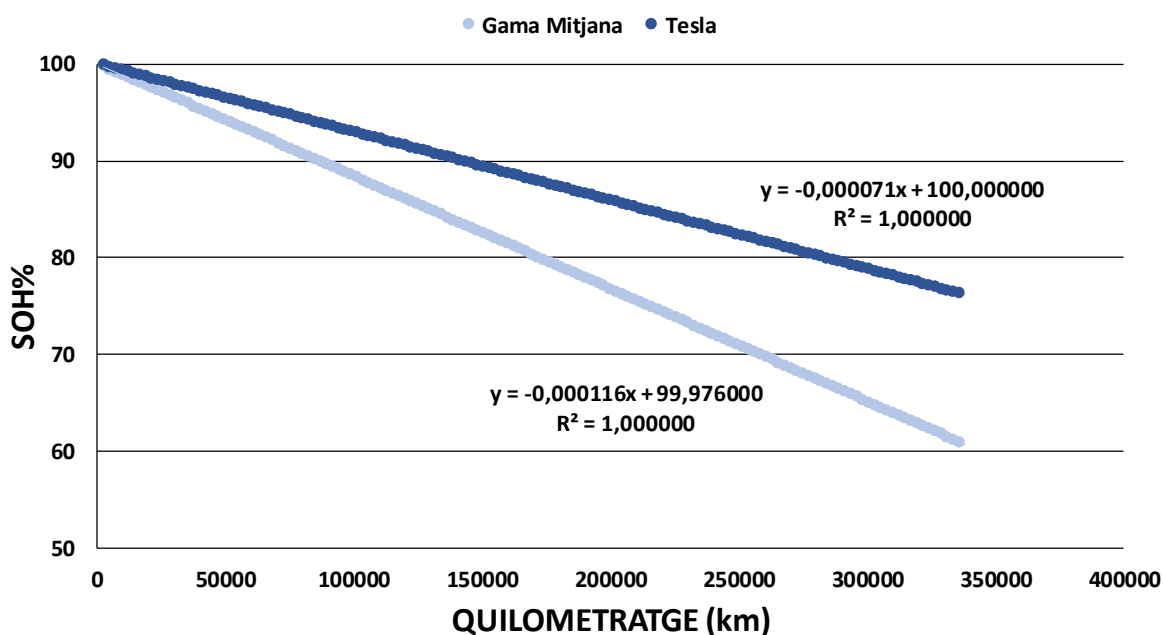
Gràfic 14: Quilòmetres acumulats depenent de l'antiguitat del vehicle per a cotxes dièsel i gasolina. [22]

En canvi, els cotxes com els de l'estudi de *Geotab*, que pertanyen a flotes de companyies, realitzen sempre els mateixos quilòmetres durant la seva vida. Per aquest motiu s'ha decidit seguir amb els quilòmetres extrets en relació als cotxes de companyies l'any 2018. Aquestes dades ens diuen que l'any 2018 els vehicles de companyies a Anglaterra varen fer 17.500 milles, uns 28.175 km a l'any [36].

Un cop es tenia definit per una banda el quilometratge anual i per altra la degradació de la bateria per any, es podien relacionar aquests dos valors per arribar a la degradació per quilòmetres.

Com ja s'ha comentat a la secció *SOH en funció dels anys de vida* s'han separat en dos els envelliments. El criteri per a separar-los ha estat la capacitat de la que consten els models. Així s'ha arribat també a dos envelliments diferents per quilòmetre.

Al Gràfic 15 es poden veure els dos envelliments per quilòmetre. El del Nissan Leaf, el BMW i3 i el Volkswagen Golf s'ha anomenat gama Mitjana (blau) i el corresponent al color taronja està format per les dades dels diferents models de Tesla.



Gràfic 15: SOH en funció del quilometratge pels dos diferents casos. (Font pròpia)

$$SoH_{30} = -0,000116 * km + 99,976$$

Equació 3: SOH en funció dels quilòmetres per a bateries de 30 kWh. (Font pròpia)

$$SoH_{70} = -0,000071 * km + 100$$

Equació 4: SOH en funció dels quilòmetres per a bateries de 70 kWh. (Font pròpia)

En el Gràfic 15 se segueix separant en dos envelliments diferents, depenent de la capacitat de la qual disposa el cotxe. Al següent apartat es fa una comprovació de com els cicles realitzats pels vehicles pot ser la causa d'aquesta diferència entre envelliments.

4.2.4. SOH en funció dels cicles

El primer pas per passar dels quilòmetres als cicles de bateria és saber quin és el consum dels cotxes estudiats. Per a fer-ho i, seguint amb la separació de capacitats, es va trobar el consum mitjà pels cotxes que entren dins el grup de capacitat de 30 kWh i el consum pels que es troben dins el grup dels 70 kWh de bateria.

El consum d'una bateria d'un cotxe elèctric és variable durant tota la vida útil del vehicle i, a més, també depèn del tipus de conducció en cada moment i de les condicions climatològiques. Hi ha informes [37] que indiquen que la relació entre el pes del vehicle amb la capacitat de la bateria és directament proporcional com també ho és la relació entre la capacitat i el consum. És a dir, una capacitat major es pot relacionar amb un consum major. Aquesta informació ens serveix per confirmar les diferències entre consums de la Taula 7 i la Taula 8.

Aquests consums han estat extrets d'un fòrum en línia [38] on usuaris de vehicles elèctrics comparteixen la informació del seu consum mitjà. En aquesta pàgina s'agrupen aquests consums per models de vehicles.

Model	Consum (kWh/km)	Mitjana (kWh/km)
Nissan Leaf	0,1546	0,1538
BMW i3	0,1554	
Volkswagen Golf	0,1514	

Taula 7: Consum dels models inclosos dins el grup de 30 kWh. [38]

Model	Consum (kWh/km)	Mitjana (kWh/km)
Tesla Model 3	0,1886	0,2094
Tesla Model X	0,2328	
Tesla Model S	0,2069	

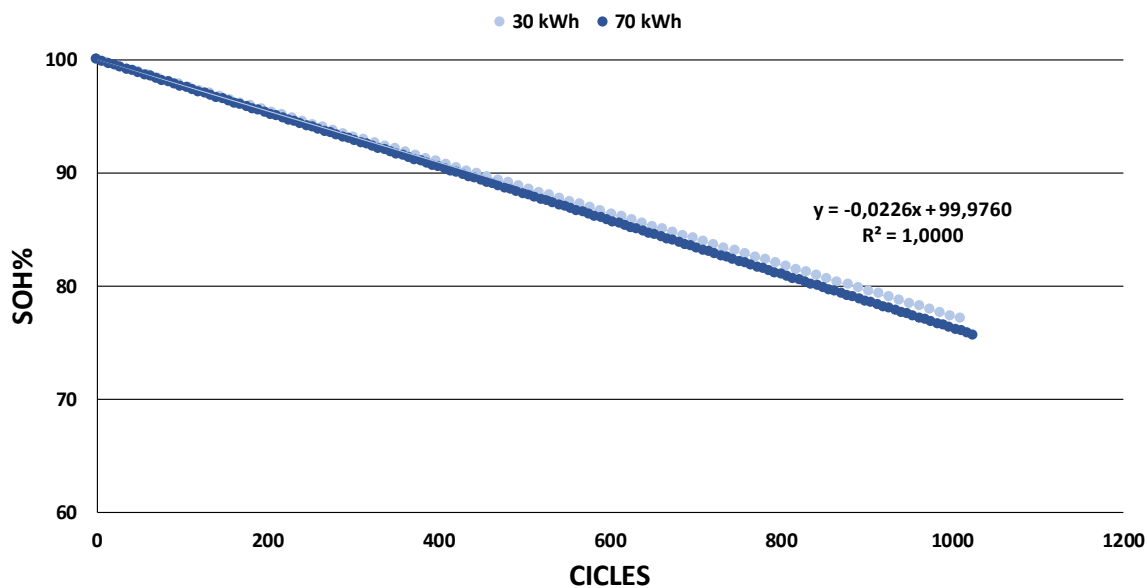
Taula 8: Consum dels models inclosos dins el grup de 70 kWh. [38]

Amb aquests valors de consum mitjà ja era possible trobar els kWh consumits. Per a fer-ho només s'ha de multiplicar els quilòmetres realitzats pels vehicles, que com hem dit recorren 28.175 km a l'any, pel consum mitjà trobat a la *Taula 7* i a la *Taula 8*.

Un cicle és una descàrrega completa de la bateria. Per tant, per a tenir els cicles realitzats per les dues capacitats (la de 30 i la de 70 kWh), s'han de dividir aquests kWh consumits per les capacitats.

%SOH	Capacitat (kWh)	Anys de vida	Quilòmetres	kWh consumits	Cicles realitzats
90	30	3	84.525	13.000	433
	70	4,92	138.527	29.012	414
80	30	6,08	171.398	26.361	879
	70	9,92	279.402	58.516	836

Taula 9: Comparació entre cotxes de 30 kWh i 70 kWh per un mateix SOH. (Font pròpia)



Gràfic 16: Relació entre els cicles realitzats i l'SOH. (Font pròpia)

Observant la *Taula 9* o bé el *Gràfic 16* es pot observar que la caiguda en funció dels cicles és similar pels dos casos. Els cicles realitzats en arribar al 80% de l'SOH són relativament baixos i això pot ser degut al fet que l'envelliment no es deu solament al ciclatge de la bateria sinó que també li afecta el pas del temps⁶.

Es pot veure com l'SOH del grup de 70 kWh és lleugerament inferior al del grup de 30 kWh. Això pot ser degut a la diferència d'anys que hi ha entre els dos grups per arribar als mateixos cicles la qual cosa ha fet envellir més les del grup de 70 kWh.

Per tant, s'ha decidit seguir amb la corba dels 30 kWh ja que s'ha pensat que aquest envelliment per cicles s'ajustarà degudament a les diferents capacitats. L'equació d'aquesta recta ha estat extreta del *Gràfic 16*.

$$SoH = -0,0226 * Cicle + 99,976$$

Equació 5: SOH en funció dels cicles realitzats. (Font pròpia)

⁶ Vegeu *Envelliment de les bateries*

4.2.5. SOH en funció dels quilòmetres per a diferents capacitats

A partir de l'*Equació 5* es pot realitzar el procediment invers al realitzat a la secció 4.2.4 per a així arribar a la relació entre l'SOH i els quilòmetres realitzats per a diferents capacitats de bateries.

Les diferents capacitats estudiades són resultat de l'estudi del mercat del Regne Unit des del 2011 (any en què comença l'auge del cotxe elèctric) fins al 2019. Aquest estudi es basa en l'observació dels models més venuts al Regne Unit cada any i la posterior recerca de la capacitat de la bateria d'aquests vehicles l'any que es va vendre.

Per a trobar quins són els cotxes elèctrics més venuts el 2019 i el 2018 s'han utilitzat els informes estadístics en relació a vehicles que el govern del Regne Unit publica cada any [39] i [29]. Del 2017 al 2013 la distribució de vendes per models ha estat extreta d'un estudi realitzat per la *RAC foundation*[®] de dades extretes del govern del Regne Unit [40]. Les corresponents al 2012 i 2011 són més limitades i només s'ha pogut trobar el nombre total de vendes així com les vendes de Nissan Leaf [41].

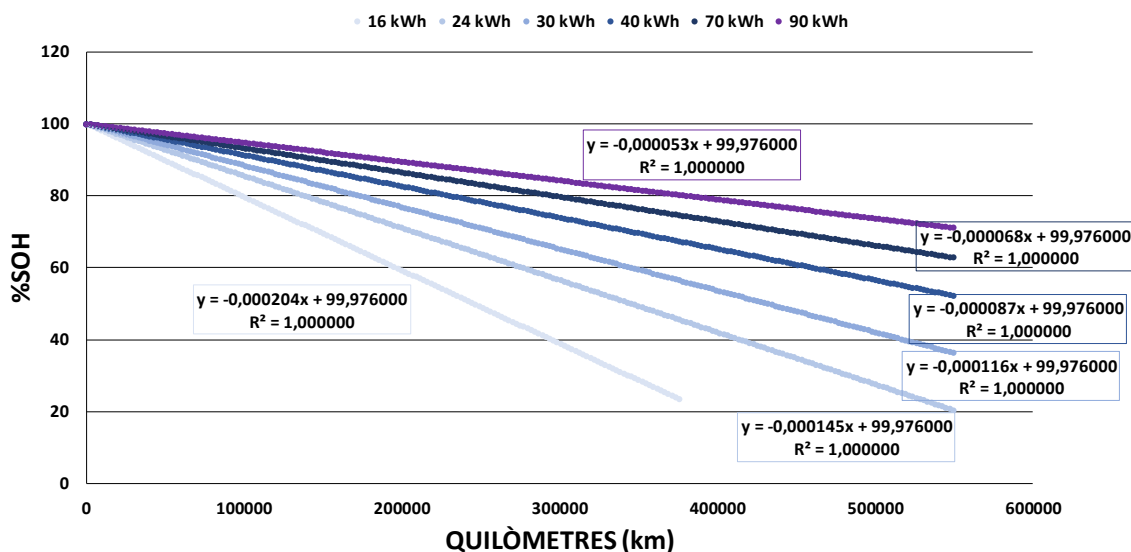
A més dels models més venuts, també és necessari saber quina és la capacitat de les seves bateries quan varen ser venuts⁷.

A partir d'aquesta informació s'ha decidit estudiar les capacitats de 16, 24, 30, 40, 70 i 90 kWh.

En aquest punt s'ha suposat que les bateries de 24 a 40 kWh tenien un consum igual al de la *Taula 7* i les de més de 70 kWh al de la *Taula 8*. Per a les de 16 kWh s'ha decidit utilitzar el consum mitjà del Mitsubishi i-MiEV (0,1442 kWh/km), un cotxe de uns 16 kWh [38].

Amb els cicles realitzats per cada capacitat i usant l'*Equació 5* s'arriba al valor de l'SOH per a cada capacitat i relacionant aquest valor amb els quilòmetres realitzats obtenim les equacions corresponents a la variació de l'SOH en funció dels quilòmetres que ha realitzat el cotxe (*Gràfic 17*).

⁷ Vegeu *Annex 4*



Gràfic 17: SOH en funció dels quilòmetres per a diferents capacitats. (Font pròpia)

Model	Garantia (Anys de vida / Quilometratge)	Valors propis (Anys de vida / Quilometratge)	%SOH
Nissan Leaf (24 kWh)	5 / 100.000	6,08 / 171.397,92	75
Nissan Leaf (30 kWh)	8 / 160.000	7,58 / 213.660,42	75
Volkswagen e-Golf (30 kWh)	8 / 160.000	9,16 / 258.270,83	70

Taula 10: Exemple de comparació dels valors propis amb els valors de les garanties. (Font pròpia)

A la Taula 10 es pot observar com els valors trobats en aquest treball són semblats als valors de les garanties dels fabricants. De fet, en la majoria de casos, els anys de vida del cotxe i el quilometratge són més elevats en l'estudi que els valors que ens indiquen a les garanties. Comparant els anys de vida i el quilometratge es pot veure com els anys de vida són molt més semblants al valor de la garantia, això es degut a que s'ha realitzat l'envelliment amb uns cotxes que recorren molts quilòmetres al llarg de l'any. Per tant la millor forma de comparar és amb el quilometratge.

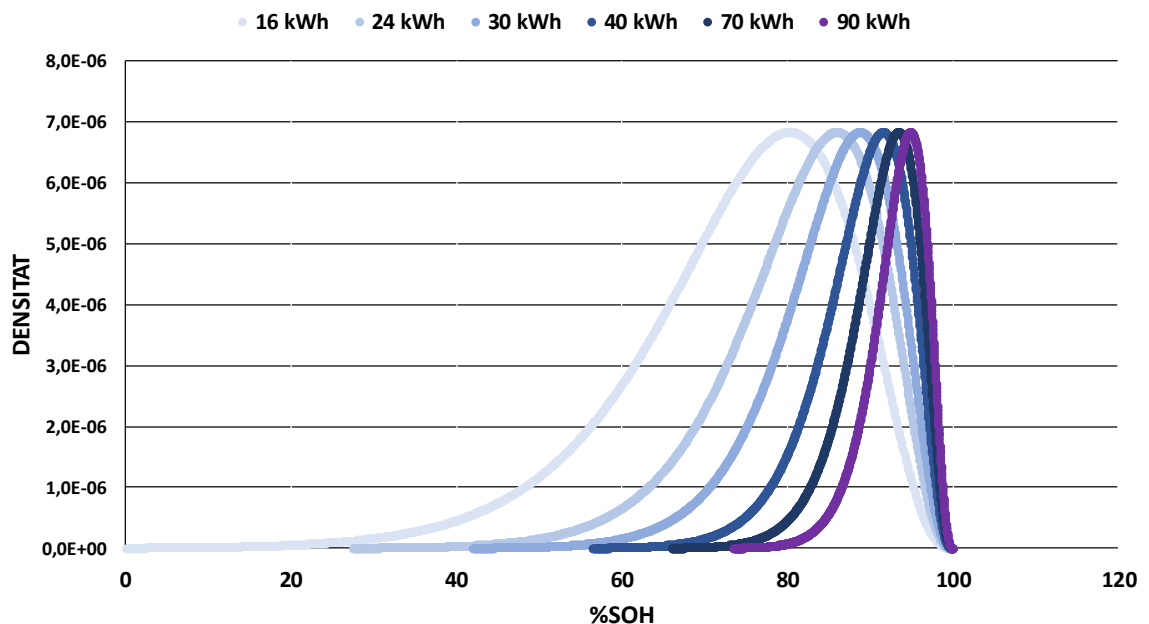
Es pot veure com en tots els casos el quilometratge és superior al de la garantia. Això es degut a què una garantia només s'hauria de poder executar quan la bateria té algun defecte. Aleshores, si l'envelliment real i l'envelliment a partir del qual es pot executar la garantia fos semblant, molts usuaris podrien exigir un canvi de bateria quan la que tenien funcionava perfectament.

4.2.6. SOH al final de vida

Coneguent els diferents envelliments per quilòmetre i les distribucions dels quilòmetres que tindrà un cotxe al final de la seva vida útil⁸ es pot saber quina és la probabilitat que una bateria arribi amb un SOH determinat quan es doni de baixa el vehicle.

En el *Gràfic 18* podem veure la distribució de l'SOH que tindran els cotxes amb 5 anys de vida quan siguin donats de baixa. Aquest procediment, s'ha realitzat per cotxes que acaben la seva vida útil entre els dos i trenta anys.

Estudiant les distribucions trobades a la secció 4.1.3 s'ha vist que la gran majoria de cotxes no superen els 500.000 km, per aquest motiu s'ha decidit limitar l'estudi de l'SOH als 500.000 km.



Gràfic 18: Distribució de l'SOH per a cotxes donats de baixa amb 5 anys de vida per a diferents capacitats. (Font pròpia)

Per a estudiar els diferents SOH en què pot estar la bateria s'ha decidit fer una separació cada 5% de SOH. Per tant s'ha vist quina possibilitat hi ha que cada cotxe que arriba amb uns anys de vida determinats disposi d'una bateria amb un SOH comprès entre dos valors.

⁸ Vegeu la secció 4.1.3

Anys de vida	100 – 95 %SOH	95 – 90 %SOH	90 – 85 %SOH
2	46,1 %	34,06 %	13,36 %
3	23,61 %	37,26 %	24,81 %
4	19,29 %	43,65 %	24,93 %
5	10,44 %	36,53 %	30,22 %

Taula 11: Exemple de probabilitats d'una bateria de 40 kWh d'estar entre dos valors de SOH depenent dels anys que té. (Font pròpia)

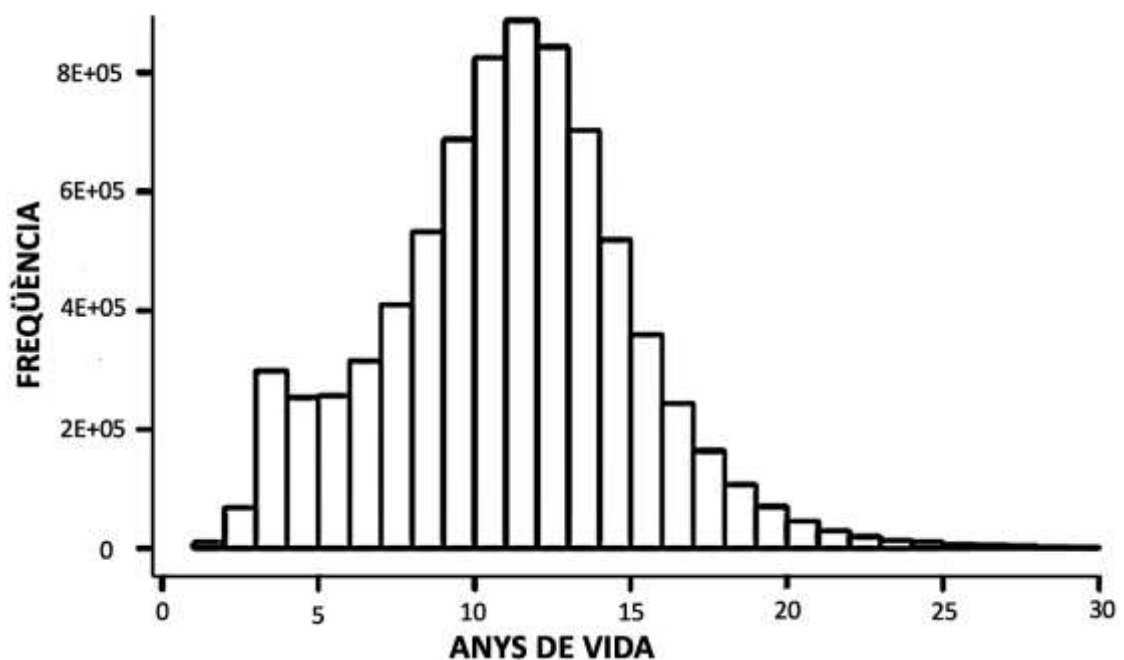
Com es pot observar a la *Taula 11*, una bateria de 40 kWh i 2 anys d'antiguitat té, aproximadament, un 46% de possibilitats d'estar entre el 100 i 95 % de SOH. També es pot veure que, com més anys té una bateria, més possibilitats té d'estar entre dos valors més baixos de SOH. Això es deu majoritàriament a què un cotxe amb més anys haurà recorregut al llarg de la seva vida útil més quilòmetres i per tant la bateria haurà envellit més.

4.3. Baixes i matriculacions

En aquest apartat s'estudien les vendes i les baixes de cotxes en els anys anteriors a aquest treball per a arribar a definir unes tendències que ens ajudin a comprendre com evolucionaran les vendes i les característiques dels vehicles elèctrics en un futur.

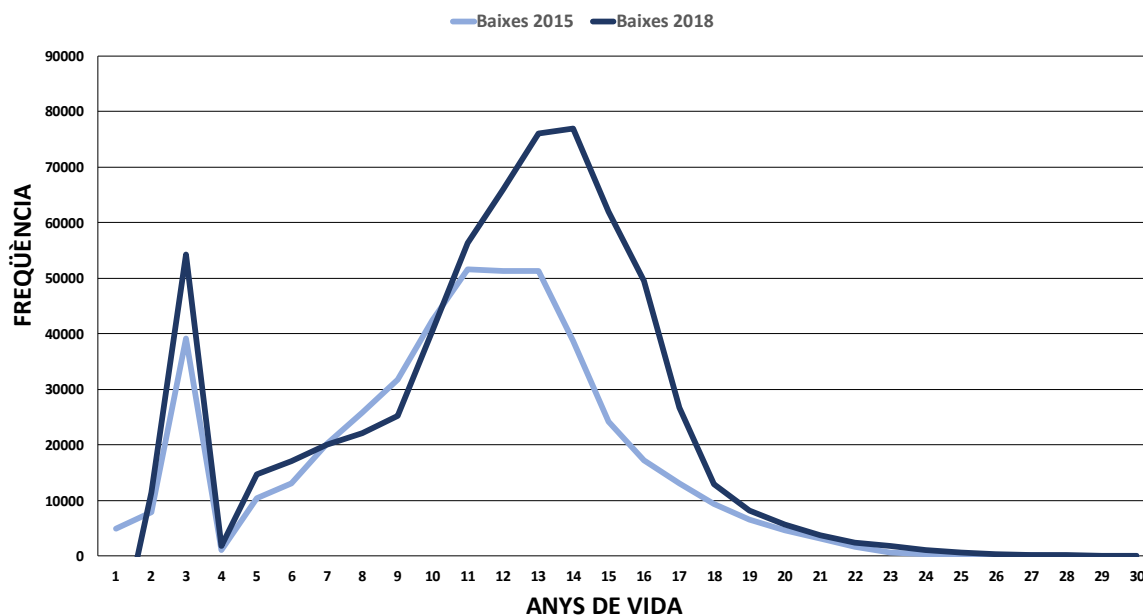
4.3.1. Baixes

A l'apartat 4.1 s'han obtingut els cotxes dièsel que han estat donats de baixa al Regne Unit els últims anys. Així, es disposa de les dades dels anys que tenien aquests vehicles quan varen ser donats de baixa.



Gràfic 19: Histograma dels anys d'antiguitat dels cotxes dièsel quan són donats de baixa al Regne Unit. (Font pròpia)

Es pot veure al Gràfic 19 com la distribució d'anys segueix una forma que s'assembla a una normal amb uns valors alts el tercer i quart any. Per tal de comprovar aquesta tendència s'han estudiat les dades que el govern del Regne Unit publica sobre els vehicles amb llicència i els vehicles registrats nous cada any [42]. Amb aquests dos valors s'ha pogut trobar el nombre de baixes per antiguitat al 2015 i al 2018.



Gràfic 20: Distribució de les baixes de cotxes dièsel el 2015 i el 2018. (Font pròpia)

Comparant el Gràfic 19 amb el Gràfic 20 es pot observar una tendència similar amb el pic de baixes sobre el tercer any del cotxe. Això es degut a baixes temporals per canvi de titularitat o a finals de renting. Per tant no es tracta de baixes que equivalguin a un final de vida.

Utilitzant les dades del Gràfic 19 i seguint un procés similar al de l'apartat 4.1.3 per a l'obtenció de les densitats, s'ha trobat que la distribució que millor s'ajusta a les dades és una normal amb mitjana de 11,59 anys i una desviació estàndard de 3,99 anys. Un cop es té aquesta distribució es pot trobar la probabilitat que un cotxe sigui donat de baixa amb una antiguitat determinada (vegeu la Taula 12).

Anys de vida	Probabilitat de baixa del cotxe	Anys de vida	Probabilitat de baixa del cotxe	Anys de vida	Probabilitat de baixa del cotxe
1	0,29 %	10	9,22 %	18	2,77 %
2	0,55 %	11	9,87 %	19	1,79 %
3	0,98 %	12	9,93 %	20	1,1%

Taula 12: Exemples de probabilitat que un vehicle sigui donat de baixa depenent dels anys que té. (Font pròpia)

S'ha decidit treballar amb vehicles de fins a vint anys ja que ja s'ha cobert un 98% de les baixes.

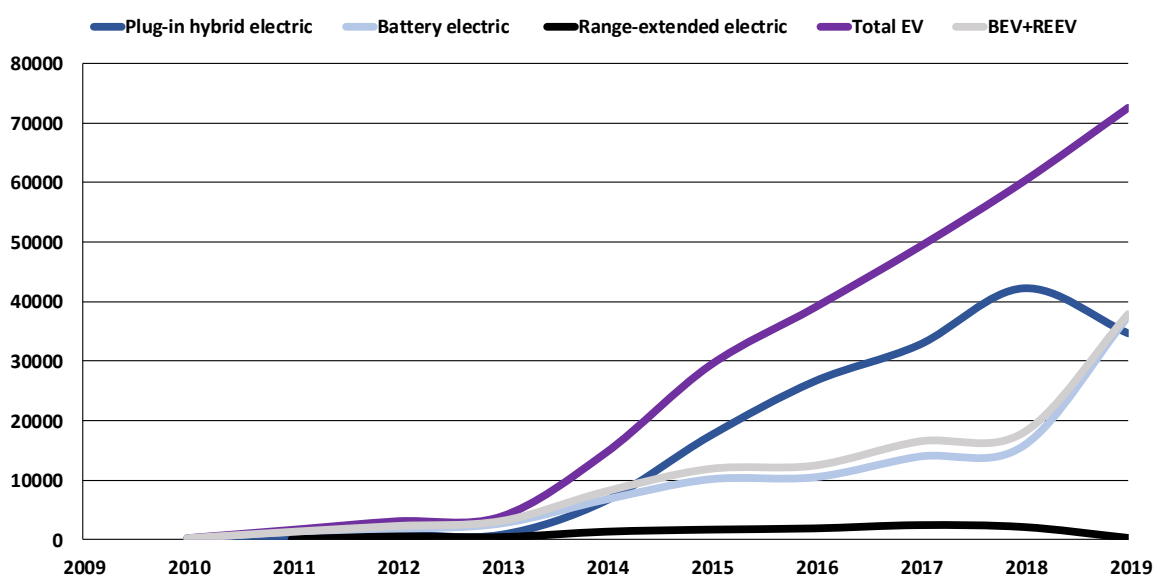


4.3.2. Matriculacions

L'estudi de les matriculacions de vehicles elèctrics ens serveix tant per a saber la quantitat i característiques dels cotxes elèctrics que ja han estat venuts així com per estudiar la tendència que s'ha seguit els últims anys i extreure conclusions per arribar a estimar el nombre i tipus de cotxes elèctrics que es vendran els anys següents a aquest treball.

En aquest punt els cotxes catalogats com a BEV i els catalogats com a REEV han estat tractats de forma conjunta.

Primerament s'ha trobat el nombre de vehicles elèctrics venuts entre el 2011 i el 2019 i les parts corresponents a cada tipus de cotxe elèctric (vegeu *Gràfic 21*).



Gràfic 21: Nombre de cotxes de primer any de registre al Regne Unit. [43]

En el *Gràfic 21* es pot veure com les vendes de BEV han anat augmentant any rere any fins el 2018. El 2019 veiem un augment significatiu pel que fa als BEV a la vegada que les vendes de PHEV cauen. A més, observant els models més venuts al Regne Unit es posa de manifest que els cotxes amb bateries de més de 60 kWh de capacitat són els causants d'aquest augment el 2019, en gran part gràcies a les excel·lents vendes del Tesla Model 3 (*Taula 13*).

Model	Nombre de cotxes venuts	Model	Nombre de cotxes venuts
Nissan leaf	5.300	Hyundai IONIQ	500
Volkswagen golf EV	3.800	Tesla model 3	10.600
BMW i3	4.100	KIA NIRO	700
Renault zoe	2.400	Nissan E-NV200	1.900
Tesla model S	1.200	Jaguar I-PACE	4.200
Tesla model X	1.300	BMW i3 REEV	300
LEVC TX	2.100	-	-

Taula 13: Nombre de vehicles venuts el 2019 per models. [39]

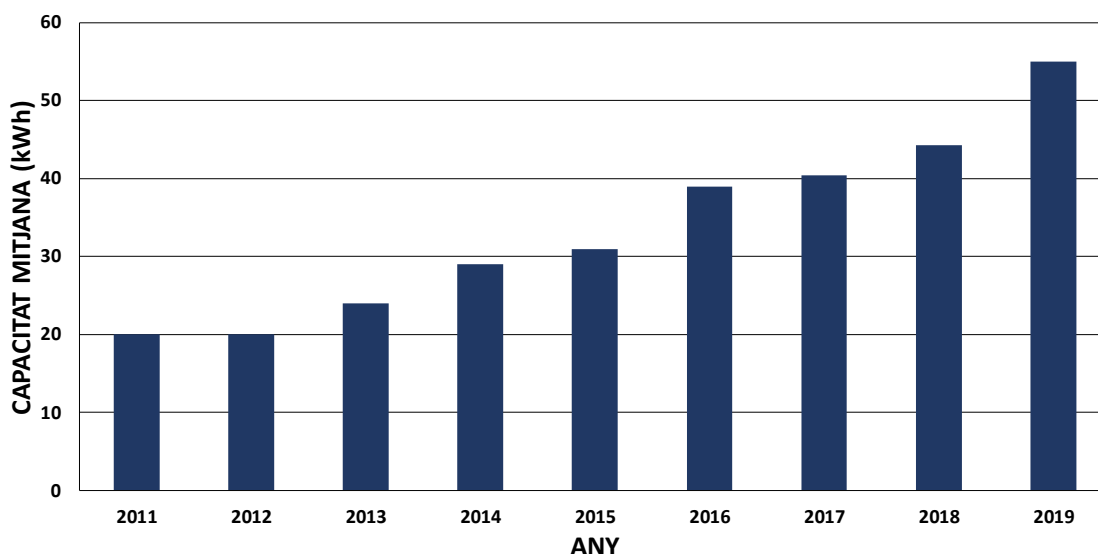
Troband les dades per a cada any fins al 2011 dels models més venuts al Regne Unit [39] [29] [41] [40], amb les capacitats aproximades d'aquests models i de l'any en què varen sortir al mercat⁹, s'ha pogut arribar a les proporcions aproximades de les capacitats de les bateries (vegeu Taula 14).

Per a les proporcions de la Taula 14 s'ha suposat que, quan una de les marques de les estudiades posa a la venda una nova versió amb més capacitat, totes les vendes són de la nova versió.

Any	16 kWh	24 kWh	30 kWh	40 kWh	70 kWh	90 kWh
2011	0,5	0,5	-	-	-	-
2012	0,5	0,5	-	-	-	-
2013	-	1	-	-	-	-
2014	-	0,89	-	-	0,11	-
2015	-	0,85	-	-	0,15	-
2016	-	0,18	0,57	-	0,25	-
2017	-	-	0,68	0,08	0,24	-
2018	-	-	0,17	0,63	0,2	-
2019	-	-	0,07	0,48	0,34	0,11

Taula 14: Proporcions de capacitats de bateria dels BEV+REEV al Regne Unit. (Font pròpia)

⁹ Vegeu Annex 4



Gràfic 22: Capacitat mitjana dels cotxes elèctrics venuts al Regne Unit per any. (Font pròpia)

Aquesta tendència a la compra de cotxes amb una capacitat més elevada (vegeu Gràfic 22) es pot comprovar en el mercat d'altres països. Als Estats Units el 2019 les vendes només del Tesla Model 3 (154.840 unitats) són un 60% del total de vendes de BEV i, a més, molts dels altres models més venuts tenen una capacitat de bateria elevades [3].

Amb les dades de BEV+REEV venuts s'ha pogut extreure una corba per a estimar el nombre de cotxes d'aquest tipus que es vendran en els següents anys al Regne Unit.

$$\text{Nombre de cotxes} = 1.059,7 * e^{0,3985 * \text{Any}}$$

Equació 6: Nombre de cotxes en funció de l'any a partir del 2020. (Font pròpia)

L'Equació 6 correspon a una predicció de les vendes de cotxes elèctrics que a la vegada depèn de molts altres factors com poden ser l'economia o les noves legislacions. El mercat pot ser fàcilment alterat per factors exteriors a ell; l'exemple més recent és els efectes de la COVID-19 en les vendes de cotxes.

A la Taula 15 es pot observar com el mes d'abril del 2020 les vendes de cotxes han caigut un 97,3% respecte al mateix mes de l'any 2019 i durant els quatre primers mesos han disminuït un 43,4 %.

Per contra, a la Taula 15 també es posa de manifest com les vendes de BEV no han disminuït, de fet, han augmentat un 161,1% en comparació amb els quatre primers mesos del 2019 i, en el mes més afectat per les restriccions de la COVID-19, només han disminuït un 9,7% en front de les caigudes de més del 95% de tots els altres tipus de cotxes.

Tipus de cotxes	Abril			Gener fins Abril		
	2020	2019	% canvi	2020	2019	% canvi
Dièsel	1.079	45.239	-97,6%	92.498	232.959	-60,3%
Benzina	1.553	101.153	-98,5%	293.562	559.141	-47,5%
BEV	1.374	1.522	-9,7%	19.630	7.519	161,1%
PHEV	95	1.922	-95,1%	13.757	10.504	31%
HEV	48	6.752	-99,3%	28.438	33.010	-13,9%
MHEV Dièsel	75	1.435	-94,8%	17.224	5.500	213,2%
MHEV Benzina	97	3.041	-96,8%	22.769	13.467	69,1%
Total	4.321	161.064	-97,3%	487.878	862.100	- 43,4%

Taula 15: Comparació de vendes de vehicles. [44]

Observant els vehicles més venuts el mes d'abril del 2020 (Taula 16), es veu clarament la consolidació dels models amb bateries de capacitats més elevades amb el Tesla Model 3 (70 kWh) i el Jaguar I-Pace (90kWh). Això pot ser degut a que el 71,5 % dels cotxes matriculats el mes d'abril són de flotes de vehicles i només un 20% són privats.

Model	Nombre de cotxes	Model	Nombre de cotxes
Tesla Model 3	658	Peugeot Rifter	94
Jaguar I-PACE	367	SEAT León	80
Vauxhall Corsa	264	Mercedes-Benz-A-Class	72
Vauxhall Crossland X	143	Nissan Leaf	72
Ford Tourneo Custom	108	Peugeot 308	67

Taula 16: Models més venuts al Regne Unit el mes d'abril de 2020. [44]

Per tant, i suposant que el mercat tornarà a la normalitat en uns pocs mesos, s'ha decidit estimar l'augment de la proporció de vendes en un 0,05% anual per les bateries de 70 kWh a partir del 2019. També s'ha decidit mantenir constant la proporció de bateries de 90 kWh ja que les vendes del mes d'abril de 2020 són molt similars a les del 2019. Així, les corresponents a 40 kWh disminuiran en proporció a l'augment de les de 70 kWh.

L'estimació del nombre de matriculacions s'ha fet fins al 2026. S'ha decidit no anar més lluny en aquest estudi ja que les normatives aplicades als vehicles estan canviant molt ràpidament adaptant-se als nous avanços tecnològics i sobretot canviant a mesura que es veu la necessitat de substitució dels vehicles amb combustibles fòssils. A més, poden aparèixer nous

models de EV que, com es pot veure en el cas del Tesla Model 3¹⁰, sedueixen els compradors de cotxes canviant totalment les tendències anteriors.

¹⁰ Vegeu 4.3.2

5. Resultats

En aquest apartat s'exposen els resultats extrets a partir del procediment descrit a la secció 4 de *Metodologia*. S'ha de tenir en compte que aquests resultats indiquen el nombre de bateries que arribaran de cotxes comprats només fins el 2026 i quan arribaran¹¹. A més, només s'han tractat cotxes de fins a 20 anys d'antiguitat.

5.1. Resultats per capacitat

Per a les bateries de 16, 24, i 30 kWh es mostren els resultats fins al 2035 degut a què en anys posteriors a aquest el nombre de bateries que arribaran amb aquesta capacitat serà marginal.

En canvi, per a representar degudament les bateries amb una capacitat superior al 30 kWh es mostraran els resultats fins a l'any 2040. Així i tot, en anys posteriors a aquest segueixen arribant un nombre important de bateries de cotxes comprats fins el 2026¹².

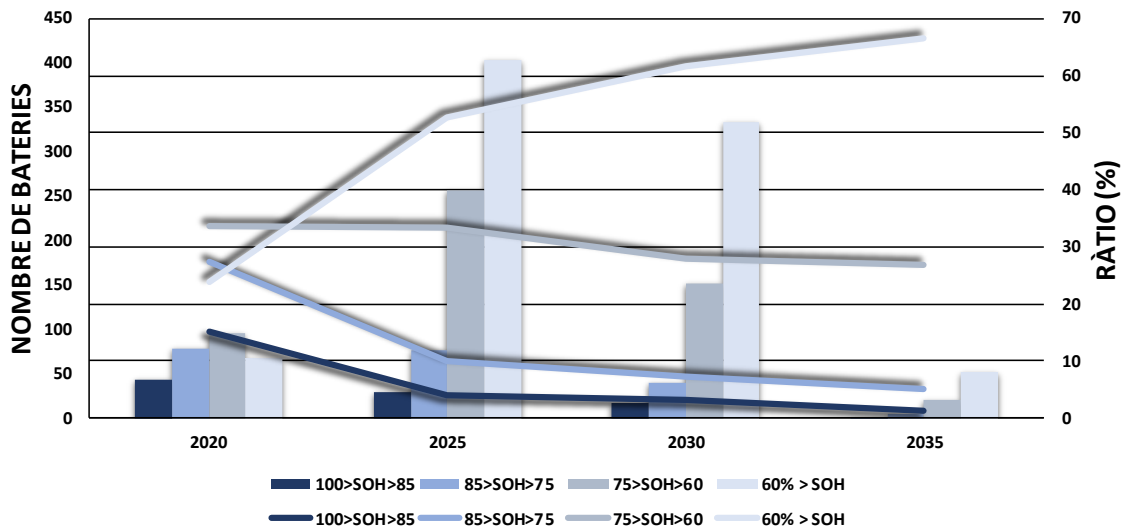
En aquesta secció es mostren els resultats en funció de la seva capacitat inicial.

- **Bateries de 16 kWh:** Els cotxes amb bateries de 16 kWh foren populars entre el 2011 i el 2013, i a partir d'aquesta data començaren a ser substituïts per models amb més autonomia [45]. Això, es veu reflectit en el nombre de bateries que arribaran en els propers anys.

L'envelliment d'aquest tipus de bateries és més elevat que en els altres casos i això es veu reflectit en l'estat en què arribaran. En el *Gràfic 23* es pot veure com el percentatge de bateries que arribaran amb un SOH inferior al 60% va augmentant al mateix temps que les que tenen un SOH superior al 75% van disminuint; això es degut a que les bateries arribaran amb més quilòmetres i més anys. De fet, entre el 2030 i el 2035 quasi un 70% de les bateries de 16 kWh hauran de ser directament reciclades.

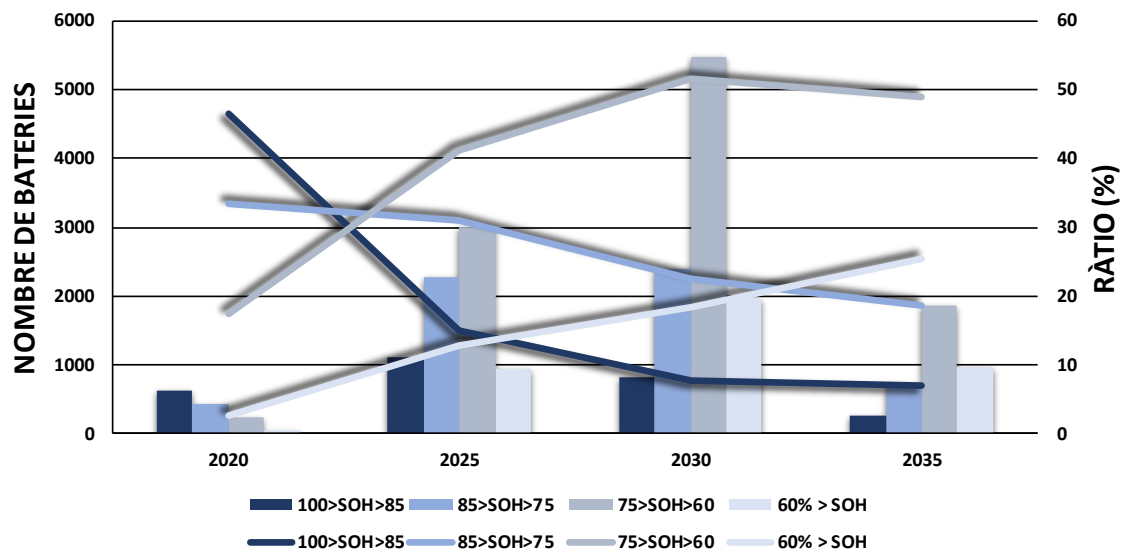
¹¹ Vegeu *Annex 5*

¹² Vegeu *Annex 5*



Gràfic 23: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 16 kWh per SOH. (Font pròpia)

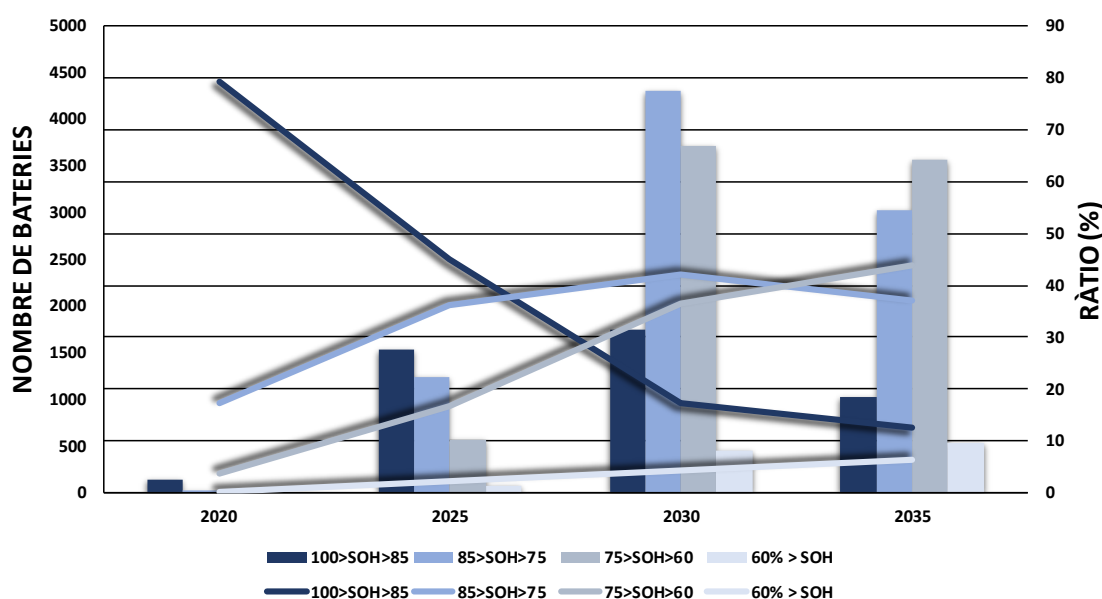
- **Bateries de 24 kWh:** Els models amb bateries de 24 kWh varen estar competint en el mercat del Regne Unit amb els de 16 kWh, i varen acabar imposant-se en el 2013 gràcies a l'augment de vendes de Nissan Leaf [40]. A partir del 2016 els models amb aquestes bateries anaren perdent vendes en front dels nous models disposaven de bateries amb més capacitat.



Gràfic 24: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 24 kWh per SOH. (Font pròpia)

Al Gràfic 24 es pot veure com la quantitat de bateries amb un SOH superior al 85% disminuirà en percentatge amb els anys en front d'un gran augment en les bateries que arribaran entre un 75 i un 60% de SOH. Les bateries que hauran de ser directament reutilitzades passaran de ser un 3% del total fins el 2020 a un 25% entre el 2030 i el 2035.

- **Bateries de 30 kWh:** Les bateries de 30 kWh segueixen una tendència similar a les de 24 kWh. La diferència més significativa és el baix percentatge de bateries amb un SOH inferior al 60% que només arribarà al 6,44%. Un altre punt a comentar és el similar nombre de bateries que podran ser utilitzades per a aplicacions estacionàries i les que estaran entre un 75 i un 60% de SOH.

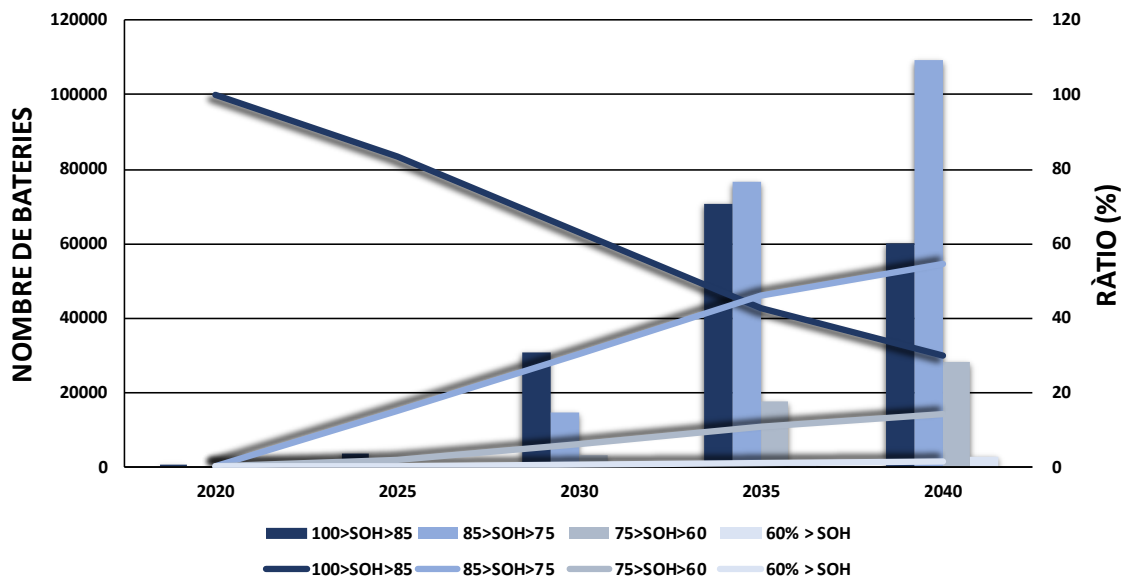


Gràfic 25: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 30 kWh per SOH. (Font pròpia)

- **Bateries de 40 kWh:** En quant a les bateries de 40 kWh, es pot veure al Gràfic 26 com arribaran en un estat de salut més alt que les de capacitats inferiors. Això és normal ja que l'envelliment per quilòmetre¹³ és més baix. Així i tot, la majoria de bateries presentaran un SOH d'entre el 85 i el 75 % que impedirà la seva reutilització directa en models similars (vegeu la secció Segona vida).

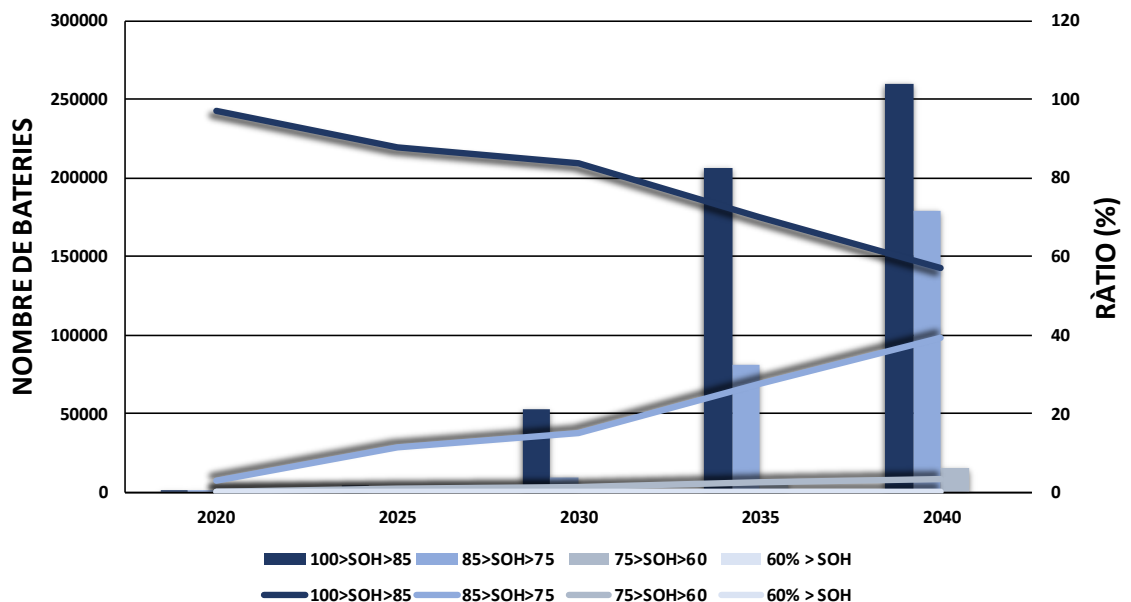
També es pot observar com les bateries arribaran quasi en la seva totalitat en un estat suficient com a poder ser reutilitzades en una segona vida. Només un 1,27% entre el 2035 i el 2040 no estaran en aquesta situació.

¹³ Vegeu Gràfic 17



Gràfic 26: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 40 kWh per SOH. (Font pròpia)

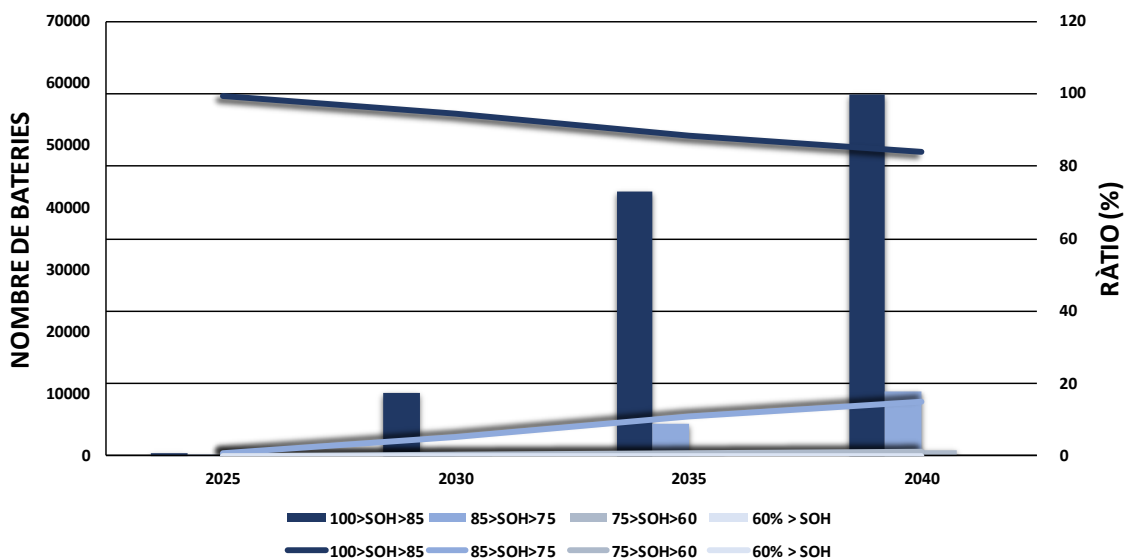
- Bateries de 70 kWh: En aquest cas, es veu clarament que la majoria de bateries serà perfectament utilitzable per a altres BEV en termes de SOH. A més, un gran nombre de bateries es trobarà entre el 85 i el 75 %, això significa que disposaran encara d'una capacitat molt elevada que les pot fer molt rendibles per a una segona vida (vegeu Gràfic 27).



Gràfic 27: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 70 kWh per SOH. (Font pròpia)

- **Bateries de 90 kWh:** En aquest cas, les dades indiquen que fins al 2020 no haurà arribat cap bateria de 90 kWh que pugui ser utilitzada per a una segona vida degut al baix nombre de vendes de models d'aquesta capacitat fins al 2019.

Les bateries de 90 kWh disposen d'una capacitat molt elevada que es tradueix en un envelliment molt més lleuger que les explicades anteriorment¹⁴. Per aquest motiu quasi el total de les bateries tindrà un SOH superior al 75 % quan els cotxes siguin donats de baixa (vegeu *Gràfic 28*).



Gràfic 28: Nombre de bateries (barres) i ràtio (línies) de capacitat inicial de 90 kWh per SOH. (Font pròpia)

¹⁴ Vegeu Gràfic 17

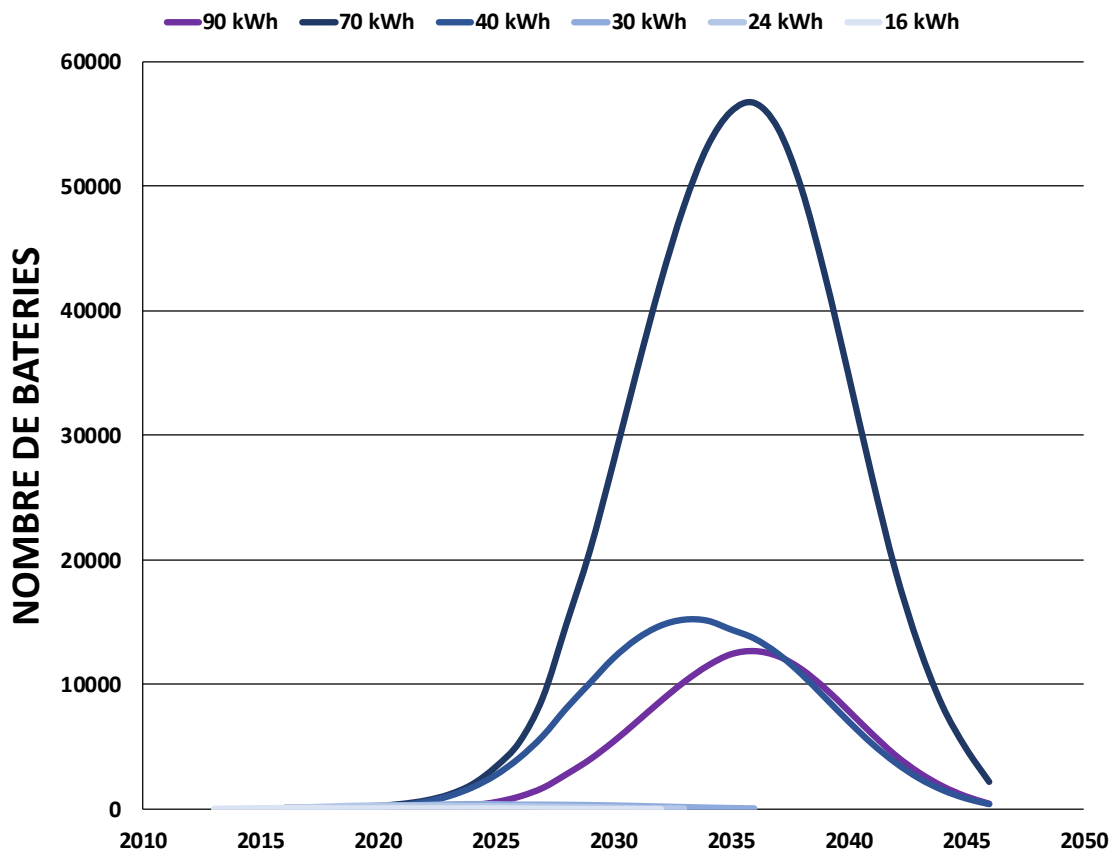
5.2. Resultats per SOH

S'ha de comentar que la caiguda del nombre d'unitats que es pot observar en aquesta secció es degut a què l'estudi es basa només en els cotxes que es compraran fins al 2026.

Per altra banda, es poden estudiar separant-les per l'estat en què arribaran:

- Entre 100 i 85 %SOH: El major nombre de bateries en aquest estat arribarà gràcies a les bateries de 70 kWh amb un pic de quasi 60.000 unitats d'aquesta capacitat l'any 2036 tot i que podrien haver-n'hi més ja que només s'han estudiat vendes fins al 2026 (vegeu *Gràfic 29*). Això es degut al gran augment de vendes de models amb bateries properes a aquesta capacitat.

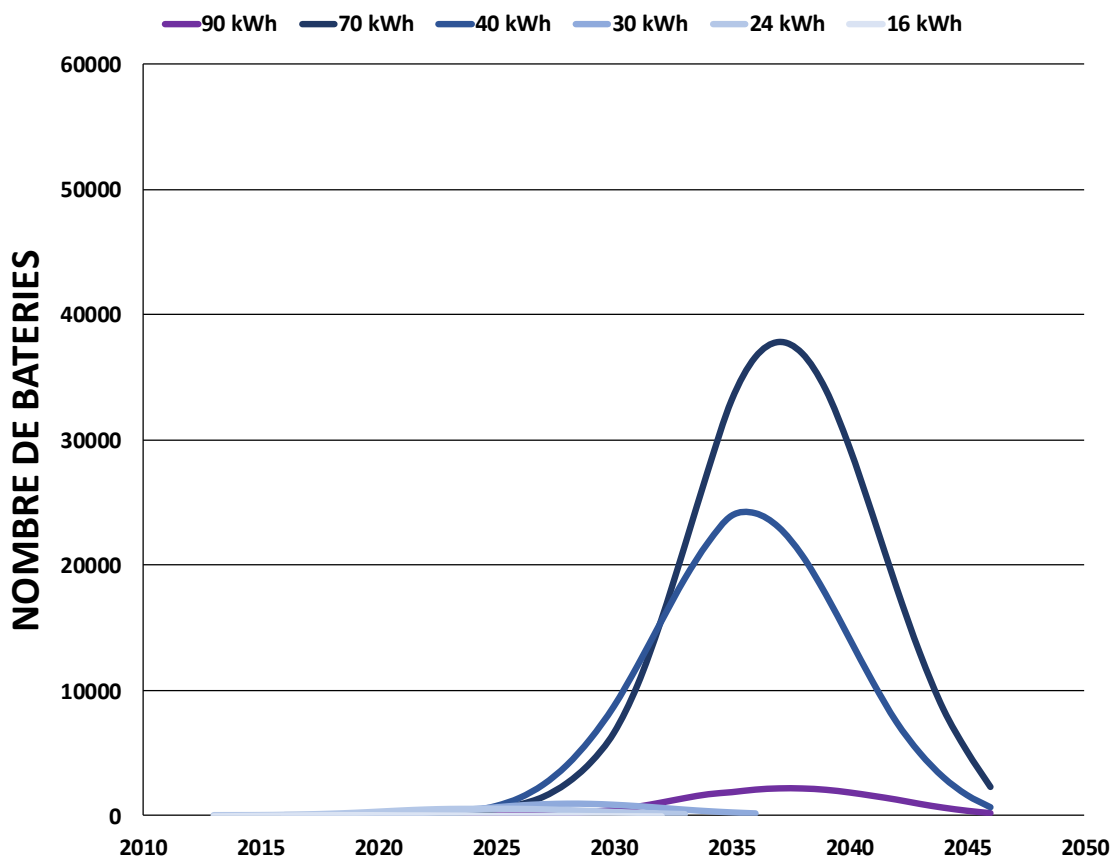
També es pot observar com moltes de les bateries de 40 i 90 kWh arribaran amb un SOH suficientment alt com per a ésser directament reutilitzades en altres BEV. En canvi, les de 30 kWh i capacitats inferiors tindran el màxim de representació en aquesta categoria en anys entre el 2020 i el 2025 i en menor nombre també degut als escassos models venuts amb aquestes característiques.



Gràfic 29: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat entre el 100 i el 85% de SOH.
(Font pròpia)

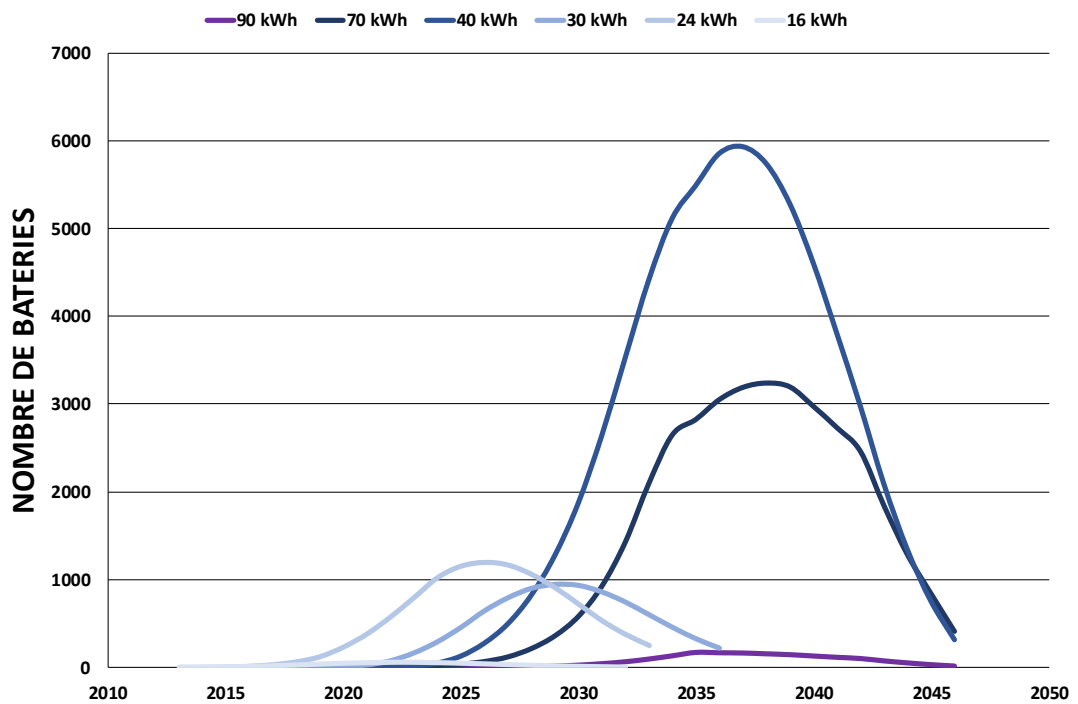
- Entre 85 i 75 %SOH: En aquest cas podem veure com les bateries de 90 kWh tenen una menor incidència que en el cas anterior. En contraposició, les de 40 kWh augmenten considerablement en relació a les altres. Si observem les bateries de 70 kWh veurem que segueixen essent de les que arribarà un major nombre d'unitats, cosa esperable sabent que és la capacitat amb majors vendes.

En aquest grup es pot veure com hi ha un augment de les bateries amb 30 kWh que arribaran per a una segona vida sobre l'any 2025 (vegeu Gràfic 30).



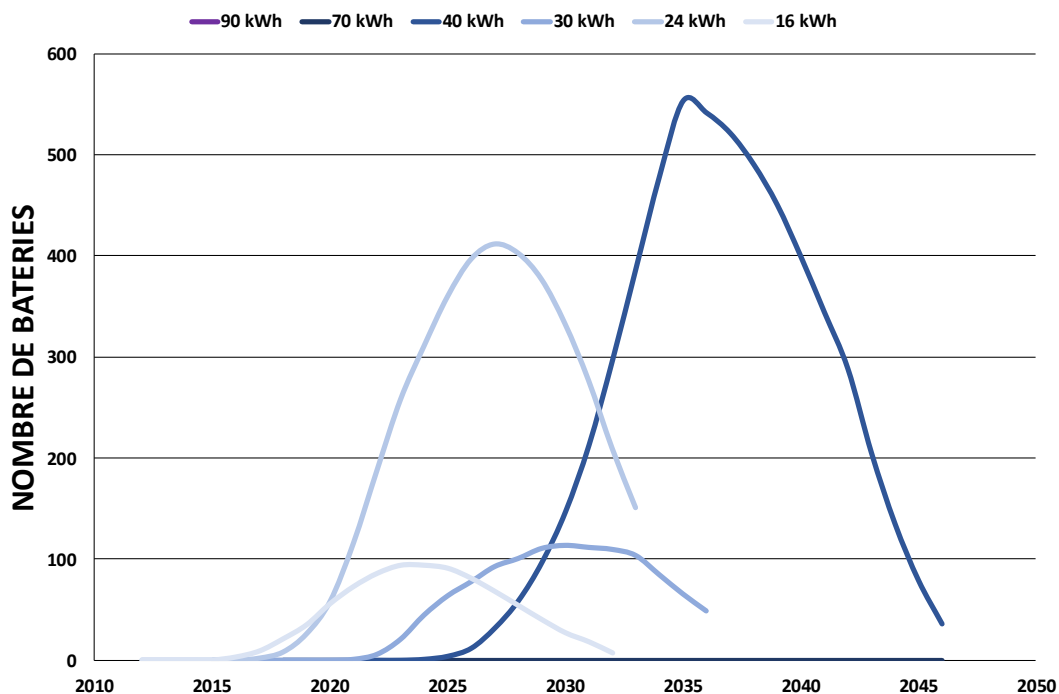
Gràfic 30: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat entre el 85 i el 75 % de SOH.
(Font pròpia)

- Entre 75 i 60 %SOH: La diferència més significativa d'aquest grup en relació als dos anteriors és el nombre de bateries que es redueix quasi 10 vegades. En el *Gràfic 31* es pot veure com la majoria de les bateries que arribaran en aquest estat són d'una capacitat de 40 kWh. A més, comparant les d'una capacitat de 30 kWh i inferior amb les dades del *Gràfic 29* i *Gràfic 30* es pot veure com el major nombre de bateries d'aquestes capacitats arribarà amb un SOH inferior al 75% entre el 2025 i el 2030.



Gràfic 31: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat inferior al 75 %SOH.
(Font pròpia)

- Inferior al 60%: Les bateries que es trobin en aquest estat no tindran una segona vida, seran directament reciclades. El nombre de bateries en aquesta situació és el més baix dels quatre grups. Les bateries que arribaran en un nombre significat d'unitats en aquest estat són les de 16, 24, 30 i 40 kWh.



Gràfic 32: Nombre de bateries per any d'arribada i capacitat inferior al 60% de SOH.
(Font pròpia)

La diferència en la tendència entre els quatre grups és que les de fins a 30 kWh disminueixen en quantitat en un punt ja que es deixen de comprar aquests models. En canvi, les de 40 kWh disminueixen ja que l'estudi de les compres de BEV només arriba fins al 2026.

6. Segona vida

Una vegada es coneixen el nombre de bateries que arribaran, la seva capacitat i el seu SOH, es pot decidir quina estratègia és l'òptima en cada cas per a una segona vida.

Hi ha dos problemes principals que afecten directament al procés per a poder donar una segona vida a les bateries dels cotxes elèctrics:

- Recol·lecció de bateries: Quan el vehicle arriba als centres autoritzats de tractament de vehicles, les bateries serien extretes com altres peces del cotxe. Aquestes bateries, però, haurien d'arribar d'alguna forma a la planta on serien tractades per decidir quin és el seu destí i en alguns casos ser modificades. A més, les bateries de ió-liti disposen d'un voltatge de seguretat fins i tot quan estan totalment descarregades, cosa que dificulta el seu tractament [46].
- Variabilitat en les bateries: Com ja s'ha comentat a la secció *Tipus* hi ha diferents models de bateries d'ió-liti segons el material usat en ànode i càtode. Però també hi ha més variables que influeixen a l'hora de diferenciar-les. Les diferències funcionals, tipus de cel·la, la refrigeració, la capacitat o la forma en què estan empacades [46], entre d'altres, són factors que diferencien una bateria d'una altra. Simplificant, això significa que una bateria d'un model determinat només serveix, en cas de reutilització, per al mateix model.

En el moment en què es disposa de les bateries provinents dels cotxes donats de baixa, aquestes hauran de ser inspeccionades per a comprovar si segueixen essent funcionals i, si és així, determinar el seu SOH. Un cop es conegui el seu SOH es podrà decidir quina estratègia és la més adient per a elles.

En aquest treball s'ha seguit un estudi realitzat sobre la segona vida de bateries de vehicles elèctrics [47] que indica que les bateries amb un SOH superior al 88% poden ser reutilitzades per a cotxes iguals al del que provenia la bateria. S'ha decidit arrodonir aquest valor de 88% al 85% per a facilitar l'estudi sabent que, les bateries dels anys estudiats en aquest treball, disposen d'una capacitat major a les de l'any en què es va realitzar l'estudi.

Seguint aquest mateix estudi les bateries amb un SOH comprès entre el 85 i el 75 % serien utilitzades per a aplicacions estacionàries [48]. Aquest tipus d'aplicacions poden ser de diferents estils.

Un exemple és el projecte *SUNBATT* [49]. Aquest projecte estudia la viabilitat de les bateries de VE per a una segona vida, arribant a la conclusió que les aplicacions més rendibles seran pels punts de càrrega, per aplicacions d'autoconsum, per a regulacions d'àrea i per a compensar dèficits infraestructurals allargant la vida de la bateria en un rati de 6 a 30 anys depenent de l'aplicació.

Nissan ha buscat formes d'utilitzar les bateries dels seus VE un cop han acabat la seva primera vida. El projecte *XStorage* [50] és el producte d'aquesta necessitat. Tant la seva versió per a casa com la *business* estan pensades per a usar les bateries dels VE de la marca per emmagatzemar energia, sobretot la que prové de fonts renovables.

Altres fabricants de VE també han realitzat els seus projectes per a trobar un segon ús a les bateries dels seus models un cop ja no poden ser utilitzades per a la tracció. *EVgo* [51], una empresa que es dedica a la instal·lació de punts de càrrega per a VE, va realitzar un projecte per a la instal·lació de punts de càrrega a partir de bateries de BMW i3 que ja no eren útils per a un VE [52].

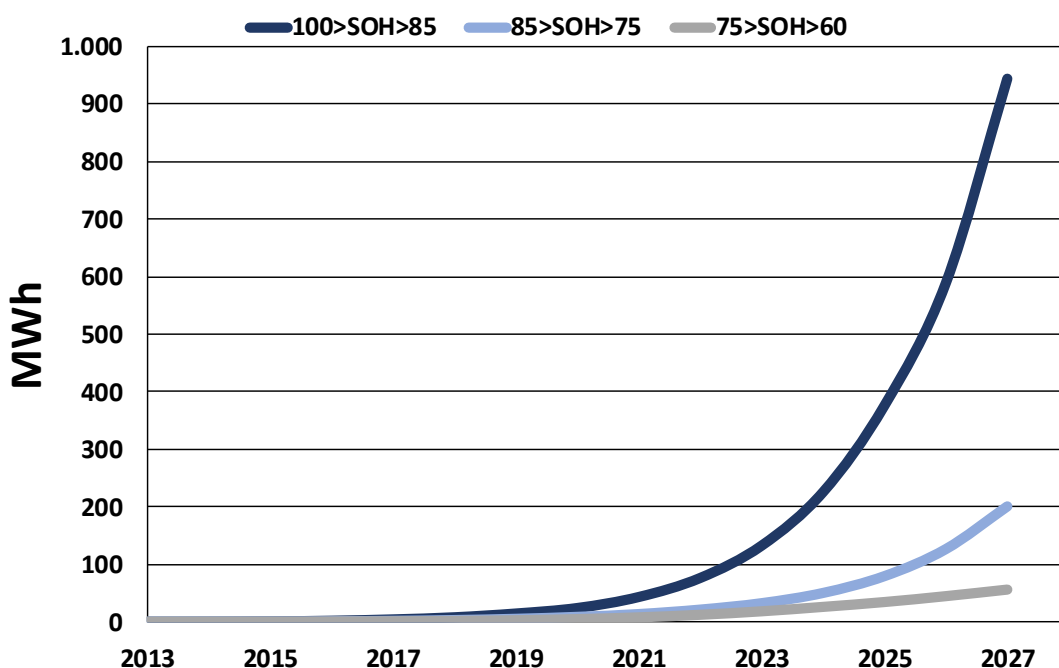
Les bateries amb un SOH inferior al 75% i superior al 60% podran ser desmantellades en mòduls o cel·les per a posteriorment ser utilitzades en aplicacions com bateries de portàtils (només algun tipus de cel·la) o fins i tot per a vehicles amb menys demanda energètica com els cotxets de golf. A més, podrien substituir bateries d'altres tipus¹⁵ en algunes funcions que per a una primera vida no serien rendibles [47].

Per últim, les bateries amb un SOH inferior al 60% hauran de ser directament reciclades. Això es deu a que durant l'envelliment hi ha diversos canvis en la bateria, no solament la pèrdua de càrrega. Així, bateries amb un SOH inferior al 60% podrien estar fetes malbé i la seva reutilització no seria possible.

Seguint aquest procediment podem arribar a conèixer els MWh a l'any disponibles de les bateries que aniran a una segona vida. En el *Gràfic 33* es pot observar els MWh disponibles per emmagatzematge d'energia del que es disposarà de les bateries provinents de cotxes elèctrics.

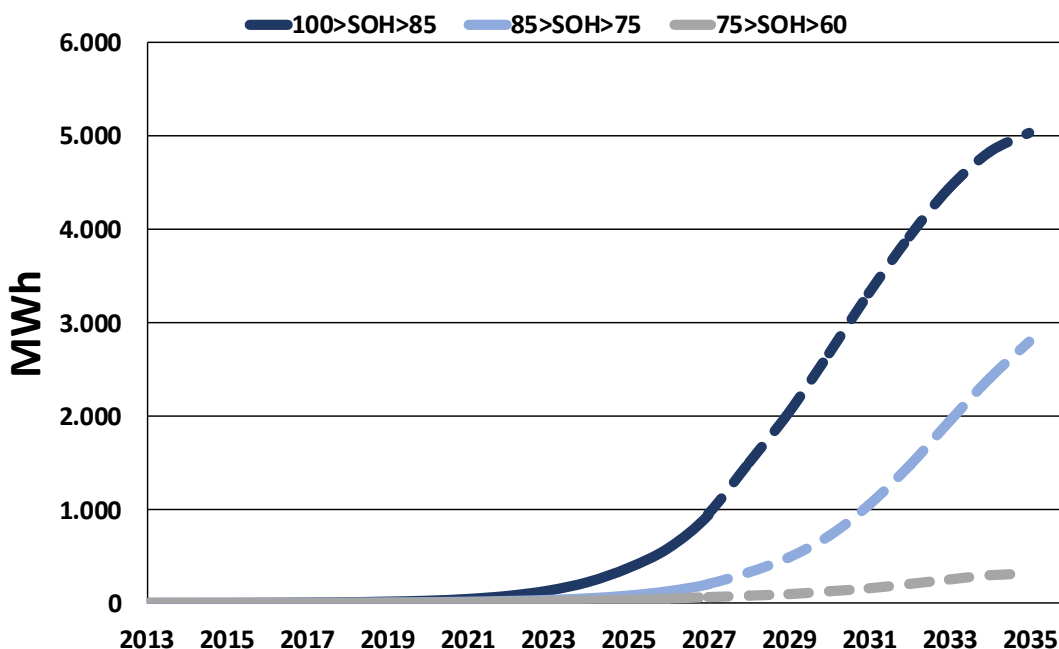
Sabent que el preu mitjà per kWh en les bateries de cotxe elèctric va ser de 138 € [53], s'ha estimat que per les bateries que s'utilitzaran com a noves bateries de BEV el preu serà de 100 €/kWh. Cap al 2027 això suposaria uns 243.656.815 € per la venda d'aquestes bateries. En canvi, per les de menys del 85% de SOH però que es reutilitzaran s'ha fixat un preu de 50 €/kWh que, si es venguessin suposaria uns 37.385.012,5 €.

¹⁵ Vegeu *Tipus*



Gràfic 33: MWh disponibles de les bateries segons el seu SOH del 2013 al 2027. (Font pròpia)

Així, cap al 2027 es podrien extreure uns beneficis totals amb la venda de les bateries de 281.041.828 €.



Gràfic 34: MWh disponibles de les bateries segons el seu SOH del 2013 al 2035. (Font pròpia)

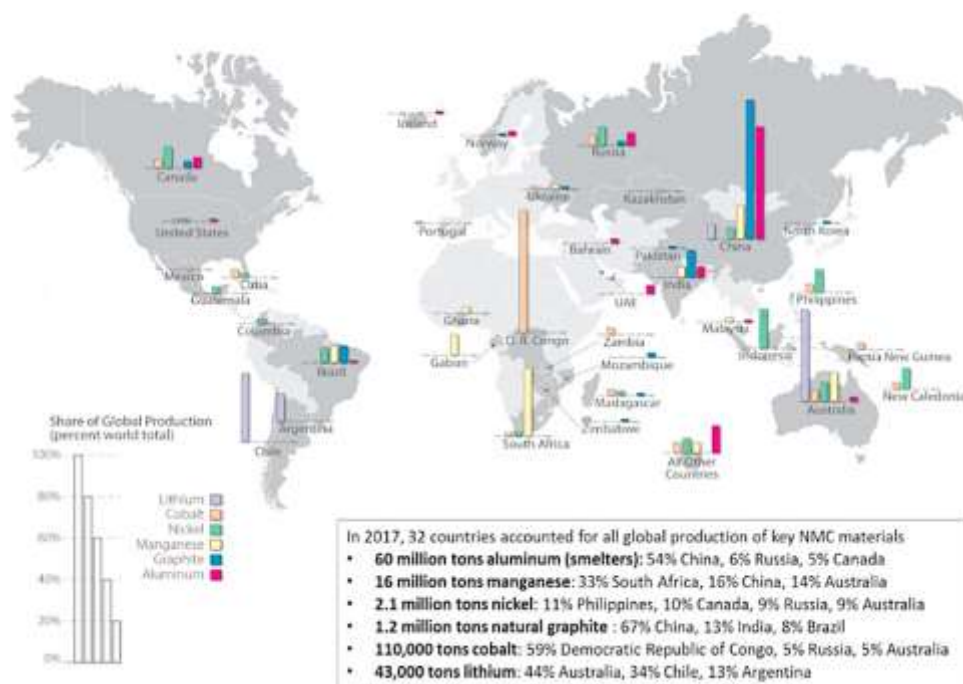
El *Gràfic 34* es pot observar com a partir del 2027 els MWh disponibles per emmagatzematge gràcies a la segona vida de bateries de cotxes elèctrics segueix augmentant any rere any tot i que en aquest estudi no es tenen en compte els nous vehicles comprats a partir del 2027.

De fet, només a l'any 2035 arribaran un nombre de bateries suficient com a per emmagatzemar 8.154,46 MWh en front dels 3.184,27 MWh disponibles de la suma de les bateries arribades entre el 2013 i el 2027.

7. Impacte mediambiental i econòmic

En aquesta secció s'estudiaran els efectes que tindrien sobre el medi ambient la utilització en una segona vida de les bateries que s'han estudiat en aquest treball.

Les bateries d'ió-liti utilitzades per els BEV poden utilitzar diferents materials en ànode i càtode¹⁶. Alguns dels materials utilitzats per a les bateries (liti, cobalt, grafit...) són escassos i es localitzen només en llocs determinats (vegeu *II·lustració 5*).



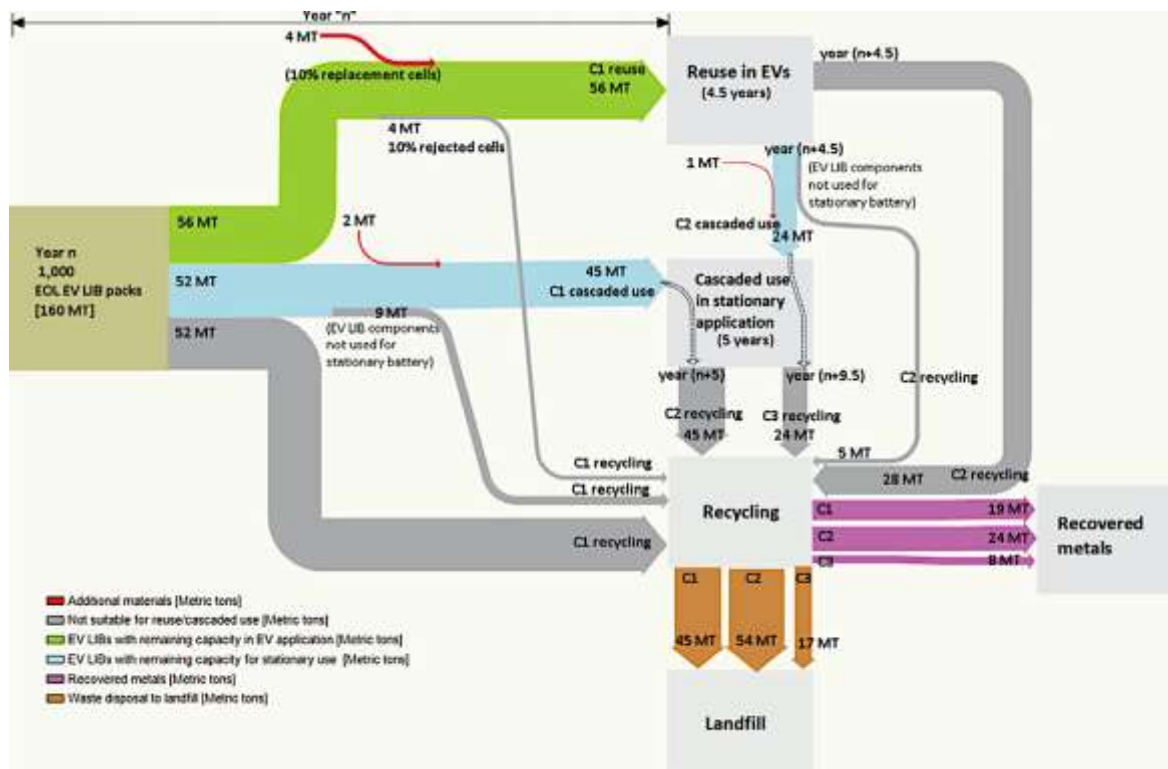
II·lustració 5: Producció minera mundial de materials usats en bateries de ió-liti al 2017. [14]

La reutilització i el reciclatge de les bateries és imprescindible per a poder seguir produint, entre d'altres coses, vehicles elèctrics.

Per tant, en aquest treball l'impacte mediambiental s'ha enfocat en els efectes que tindria la utilització de les bateries per a una segona vida en tots els casos exposats a *Segona vida*.

Així, s'ha seguit el procés realitzat a un treball on s'exposa l'eco-eficiència de la gestió circular de 1.000 bateries en termes de demanda neta d'energia acumulada [54].

¹⁶ Vegeu *Tipus*



Il·lustració 6: Procés de 2a i 3a vida per a bateries de BEV. [54]

A la Il·lustració 6 es pot observar el procés de segona i tercera vida de les bateries. C1 indica les bateries provinents de la primera vida que, segons el seu SOH, van a parar a una estratègia de segona vida.

C2 és per a les bateries que tindran una tercera vida; és el cas de bateries que havien acabat la seva primera vida amb un SOH superior al 85%, s'han utilitzat de nou per a la tracció, però un cop ja no siguin útils per aquesta feina, podran ser utilitzades per a aplicacions estacionàries o per a vehicles de menys potència en una tercera vida.

A la categoria C3 només hi entren les que han tingut una tercera vida i, un cop ja no són útils per la seva última funció seran reciclades.

Estratègia	Energia (MJ/bateria)	Eco-toxicitat (CTU _e /bateria)	Benefici econòmic (€/bateria)	Nombre de bateries a segona vida	Total
Reutilització a altres BEV	200	500	422,42	428.778	428.778
Aplicacions estacionàries	9.600	4.500	519,23	252.534	681.312
Reciclatge	3.500	8.000	44	7.518	688.830

Taula 17: Beneficis de cada estratègia. [54]

A la Taula 17 podem veure els beneficis de seguir cada estratègia en comparació a la fabricació d'una nova bateria. Amb aquests valors i els resultats obtinguts sobre el nombre de bateries i l'estat en què arribaran es poden trobar els beneficis totals. El nombre de bateries utilitzat és el que correspon a les bateries que hauran acabat la seva primera vida abans del 2035 de cotxes comprats fins al 2026. En el cas d'aplicacions estacionàries s'han inclòs totes les bateries entre un 85 i un 60% de SOH.

Per una part, totes les bateries es reciclaran. En canvi, només les que arribin un SOH superior al 60% tindran una segona vida i les que acabin la primera vida amb un 85% o més, tindran fins a una tercera vida, passant per totes les estratègies en algun moment abans de ser reciclades.

Estratègia	Energia estalviada (MJ)	Eco-toxicitat no emesa (CTU _e)	Benefici econòmic (€)
Reutilització a altres BEV	85.755.600	214.389.000	181.124.402,8
Aplicacions estacionàries	6.540.595.200	3.065.904.000	353.757.629,8
Reciclatge	2.410.905.000	5.510.640.000	30.308.520

Taula 18: Beneficis totals en relació a la fabricació d'una nova bateria. (Font pròpia)

En tractar amb els valors de la Taula 18 s'ha de tenir en compte que, dificultats com les explicades a la secció de Segona vida en el tractament de les bateries un cop acaben la seva primera vida podrien causar que un gran nombre no fos apte o no arribés a poder tenir una segona vida o que, fins i tot, no arribés a ser reciclada. Tot i així, es pot observar com la segona i tercera vida a les bateries tindria un impacte ambiental molt beneficiós.

A més, s'ha de pensar que el nombre de bateries que arribaran per a una segona vida serà més elevat si segueixen les tendències actuals, millorant els beneficis ambientals i econòmics.

Pressupost

Activitat	Subactivitat	Temps (hores)	Cost
Consultes	Desplaçament	2	27,34 €
	Reunions amb el tutor	5	68,35 €
Recerca	Bateries	15	205,05 €
	Antiguitat - Quilometratge	40	546,8 €
	Envelliment	40	546,8 €
	Baixes/Matriculacions	10	136,7 €
	Segona vida	15	205,05 €
	Impactes	10	136,7 €
Tractament de la informació	Antiguitat - Quilometratge	45	615,15 €
	Envelliment	50	683,5 €
	Baixes/Matriculacions	10	136,7 €
	Resultats	20	273,4 €
	Impactes	10	136,7 €
Redacció de la memòria	-	100	1.367 €

Taula 19: Costos de les activitats relacionades amb la realització del treball. (Font pròpia)

El sou mitjà anual brut d'un enginyer tècnic a Barcelona de menys de 24 anys el 2017 era de 17.866 € [55]. Amb una jornada laboral de 8 hores al dia el còmput descomptant caps de setmana i festius és de 1.764 hores a l'any. Per tant el sou mitjà és de 10,13 €/hora més un 35% pel cost de la seguretat social i altres impostos, és a dir, 13,57 € a l'hora.

A la Taula 19 es pot veure el cost de la realització de cada activitat. Així s'arriba a un cost total de 5.085,24 €.

A més, el treball ha estat revisat pel tutor. El sou del revisor es podria aproximar a un sou brut de 34.000 €/any (19,27 €/h) corresponent als llicenciats, enginyers i alta direcció [55]. Sumant els impostos a aquest sou, el cost seria de 26 €/h. Suposant unes 50 hores necessàries per al total de correccions realitzades el cost total seria de 1.300 €.

A aquest valor s'hi han de sumar els costos relacionats amb l'equip i programari emprats per a la realització del treball de forma que reflecteixin el temps que s'han utilitzat.

S'ha suposat que l'ordenador utilitzat té una vida estimada de 5 anys més i un cost de 600 € en l'estat en què està.

Equip o programari	Preu (€/unitat)	Llicència o vida estimada del producte	Temps d'utilització	Cost
MacBook Pro	600	5 anys	5 mesos	50 €
Llicència d'Office	69	1 any	5 mesos	28,75 €
T-Jove	85	3 mesos	2 dies	1,89 €
Connexió a internet	40	1 mes	5 mesos	200 €

Taula 20: Costos relacionats amb l'equip i programari emprat. (Font pròpia)

Per tant, el cost total directe d'execució del treball és de 6.665,88 €.

A aquest valor s'hi han de sumar els costos relacionats amb la despesa elèctrica. Aquests s'han suposat d'un 5% dels costos totals d'execució del treball: 333,29 €.

Tipus	Cost
Personal	5.085,24 €
Revisió	1.300 €
Materials	280,64 €
Altres	333,29 €
Total	6.999,17 €

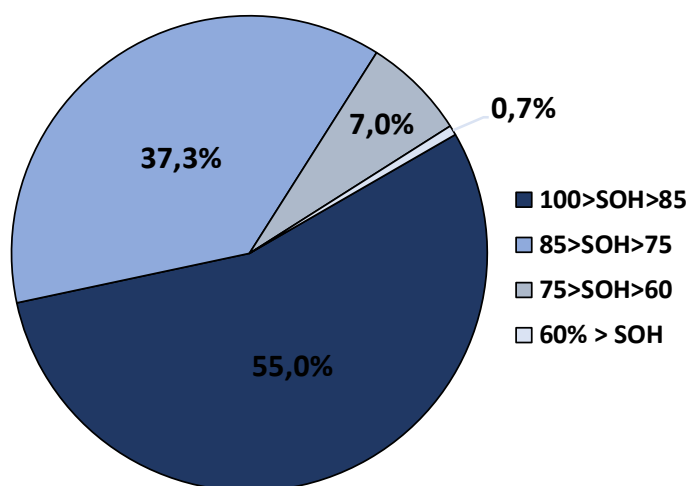
Taula 21: Costos totals. (Font pròpia)

Conclusions

L'estudi indica que hi ha una relació directa entre la capacitat de la bateria i el seu envelliment degut a la diferència de cicles que s'han de realitzar per a arribar als mateixos quilòmetres (vegeu 4.2). Aquesta relació desemboca en diferències en l'SOH de les bateries un cop el cotxe s'ha donat de baixa.

S'han estimat les dades del nombre i l'estat de les bateries al Regne Unit fins el 2027 i de totes les bateries de cotxes venuts que acabaran la seva primera vida abans del 2047.

Com es pot veure en el *Gràfic 35*, un poc més de la meitat de les bateries de cotxes entre 2 i 20 anys venuts del 2011 al 2026 arribaran amb un estat de salut suficient per a ser reutilitzades com a bateries d'altres BEV. A més, un 37% podran ser reutilitzades directament mentre que un 7% és probable que puguin ser reutilitzades seguint un procediment de desmantellament i remanufactura. Només un 0,7% no podrà ser reutilitzat i haurà de ser directament reciclat.



Gràfic 35: Percentatges de l'estat en què arribaran les bateries. (Font pròpia)

Veient el *Gràfic 35* una altra conclusió que es pot extreure, sabent la capacitat que ha de tenir una bateria per a poder satisfer els viatges diaris dels usuaris [7], és que només un 0,7% de les bateries no tindrà una primera vida més llarga que el cotxe i haurà de ser canviada abans de la donada de baixa del cotxe.

Aquests SOH alts són deguts a l'augment de les capacitats dels models de BEV que s'han venut els darrers anys¹⁷. Al 2026 s'espera que les bateries de cotxes elèctrics fabricades des del 2011 tinguin una distribució semblant a la de la *Taula 22* on s'observa una majoria de bateries amb capacitats elevades.

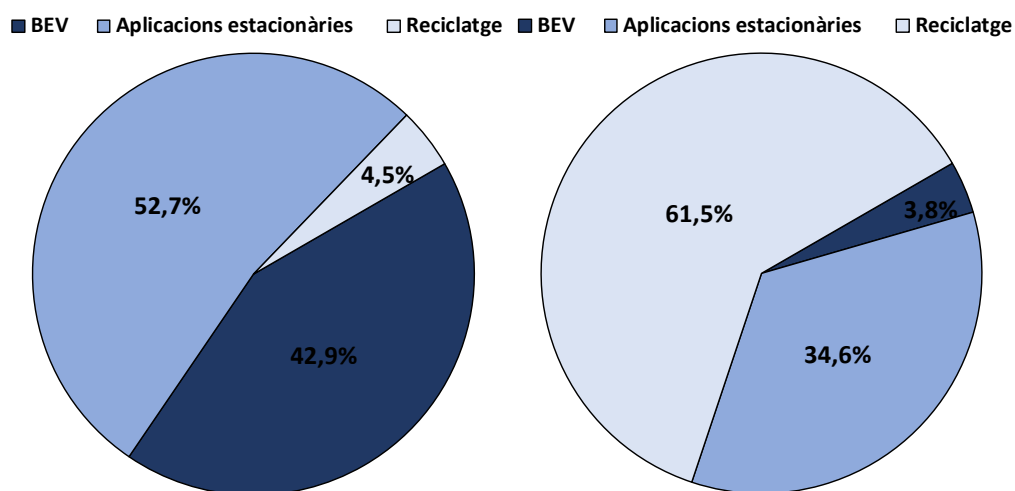
¹⁷ Vegeu *Gràfic 22*

16 kWh	24 kWh	30 kWh	40 kWh	70 kWh	90 kWh
0,1 %	1,35 %	1,34 %	28,57 %	59,42 %	9,22 %

Taula 22: Percentatge de les capacitats dels BEV. (Font pròpia)

Per aquest motiu podria ser viable que les bateries tinguin una segona i fins i tot tercera vida abans del reciclatge en termes econòmics i mediambientals.

De fet, tenint en compte la segona vida i el reciclatge de les bateries que hauran arribat al 2027 es podrien obtenir uns beneficis econòmics de 45.842.581,5 € i s'evitaria l'emissió de 604.630.000 CTU_e amb les proporcions del Gràfic 36 respectivament.



Gràfic 36: Beneficis econòmics (esquerra) i beneficis en eco-toxicitat (dreta). (Font pròpia)

A aquests beneficis econòmics s'hi ha d'afegir els 281.041.828 € que es podrien obtenir de la venda de les bateries per a una segona vida.

El Regne Unit seria una bona localització per a la posada en marxa de plantes industrials de recondicionament de bateries per a una segona vida tant per les vendes de cotxes elèctrics, com per la necessitat d'una xarxa elèctrica més sostenible [47] així com per l'estat de les bateries el moment en què acaben la primera vida.

A més, a causa del *Pacte Verd* [56] que insta a reduir la contaminació provocada pel transport, alguns governs ja han anunciat que de cara al 2035 prohibiran la venda de cotxes de combustió (dièsel i gasolina) i alguns tipus d'híbrids [57]. Això podria ser causa d'un augment més pronunciat que l'actual de vendes de BEV a la dècada del 2030.

Agraïments

M'agradaria agrair a en Lluç per proposar-me el treball així com per la seva disponibilitat i ajuda en moments en què ha estat difícil.

També a ma mare, a mon pare i als meus padrins. A na Maria Coloma i als amics.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] M. Martí Rosich, "Estudi del final de vida d'un vehicle elèctric," 2019.
- [2] C. Pozo Márquez, "Estudi per estimar l'estat de salut de les bateries de vehicle elèctric al final de la seva vida útil en tracció," 2018.
- [3] T. R. C. at A. N. Laboratory, "U.S. PEV Sales by Model," 2020. [Online]. Available: <https://afdc.energy.gov/data/10567>. [Accessed: 14-May-2020].
- [4] E. Deleuze, "Jamais contente." 2016.
- [5] Pons Seguridad Vial; Autofácil, "VIII Estudio Españoles ante la Nueva Movilidad," 2019.
- [6] N. López Redondo, "Así ha aumentado la autonomía de los coches eléctricos en los últimos 6 años," 2019. [Online]. Available: <https://movilidadelectrica.com/asi-ha-aumentado-la-autonomia-de-los-coches-electricos-en-los-ultimos-seis-anos/>. [Accessed: 27-Mar-2020].
- [7] L. C. Casals, M. Rodríguez, C. Corchero, and R. E. Carrillo, "Evaluation of the end-of-life of electric vehicle batteries according to the state-of-health," *World Electr. Veh. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 1–11, 2019, doi: 10.3390/wevj10040063.
- [8] © S. 2020, "Top 10 passenger electric vehicle models by fleet size in the United Kingdom (UK) in 2019," 2019. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/965626/uk-leading-passenger-electric-vehicle-models/>. [Accessed: 27-Mar-2020].
- [9] L. C. Casals, "Informe de modelos de reutilización de baterías," 2017.
- [10] B. Nykvist and M. Nilsson, "Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles Going electric: Expert survey on the future of battery technologies for," *Nat. Clim. Chang. J. Power Sources Energy Policy Nat. Clim. Chang.*, vol. 5, no. 6, pp. 329–332, 2015, doi: 10.1038/nclimate2564.
- [11] Battery University, "BU-205: Types of Lithium-ion." [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_lithium_ion. [Accessed: 06-Apr-2020].
- [12] Battery University, "BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV)." .
- [13] T. © 2020, "Tesla Model 3," 2020. [Online]. Available: https://www.tesla.com/es_es/model3. [Accessed: 10-Jun-2020].
- [14] D. Steward, A. Mayyas, and M. Mann, "Economics and challenges of Li-ion battery recycling from end-of-life vehicles," *Procedia Manuf.*, vol. 33, pp. 272–279, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.04.033.

- [15] Battery University, "BU-204: How do Lithium Batteries Work?" [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries. [Accessed: 06-Apr-2020].
- [16] C. Noya, "Comparativa garantía de la batería de los diferentes fabricantes de coches eléctricos." .
- [17] Battery University, "BU-1003: Electric Vehicle (EV)." .
- [18] C. Zhang, K. Li, S. McLoone, and Z. Yang, "Battery modelling methods for electric vehicles - A review," *2014 Eur. Control Conf. ECC 2014*, no. June, pp. 2673–2678, 2014, doi: 10.1109/ECC.2014.6862541.
- [19] M. De Gennaro, E. Paffumi, G. Martini, A. Giallonardo, S. Pedroso, and A. Loiseau-Lapointe, "A case study to predict the capacity fade of the battery of electrified vehicles in real-world use conditions," *Case Stud. Transp. Policy*, no. September, pp. 1–18, 2019, doi: 10.1016/j.cstp.2019.11.005.
- [20] F. Yang, Y. Xie, Y. Deng, and C. Yuan, "Predictive modeling of battery degradation and greenhouse gas emissions from U.S. state-level electric vehicle operation," *Nat. Commun.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1038/s41467-018-04826-0.
- [21] Y. Gao, J. Jiang, C. Zhang, W. Zhang, Z. Ma, and Y. Jiang, "Lithium-ion battery aging mechanisms and life model under different charging stresses," *J. Power Sources*, vol. 356, pp. 103–114, 2017, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.04.084.
- [22] C. Dun, G. Horton, and S. Kollamthodi, "Improvements to the definition of lifetime mileage of light duty vehicles," *Rep. Eur. Comm. – DG Clim. Action*, no. 1, p. 68, 2015.
- [23] E. Weymar and M. Finkbeiner, "Statistical analysis of empirical lifetime mileage data for automotive LCA," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 21, no. 2, pp. 215–223, 2016, doi: 10.1007/s11367-015-1020-6.
- [24] E. Arizmendi Gutierrez, "Resolución. S/REF:001-002743. N/REF:R/0256/2015.," 2015.
- [25] UK Department for Transport, "Dades MOT anonimitzades," 2019. [Online]. Available: http://data.gov.uk/dataset/anonymised_mot_test. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [26] RStudio, "RStudio." 250 Northern Ave, Boston, MA 02210, 2020.
- [27] D. DVLA, "Licensed cars by propulsion or fuel type: Great Britain and United Kingdom." 2019.
- [28] Home Office, "Stolen vehicle data," 2016. [Online]. Available: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/489092/horr87-tabs.ods. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [29] DfT and DVLA, "Vehicle licensing statistics 2018," no. April, 2019.
- [30] DVLA; DfT, "Cars with a Statutory Off Road Notification by make, model and engine capacity: Great Britain and United Kingdom," 2019. [Online]. Available: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachm>

- ent_data/file/794466/veh0221.ods. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [31] Wikipedia, “Distribución logística,” 2019. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci3n_logística#Funci3n_de_densidad. [Accessed: 14-Mar-2020].
- [32] Geotab, “EV Battery Degradation Comparison Tool.” [Online]. Available: <https://storage.googleapis.com/geotab-sandbox/ev-battery-degradation/index.html>. [Accessed: 06-May-2020].
- [33] D. Myall, W. Larason, M. Nixon, D. Ivanov, and J. Barnett, “30 kWh Nissan Leaf firmware update to correct capacity reporting,” no. July, pp. 1–10, 2018.
- [34] “FleetCarma device.” [Online]. Available: <https://www.fleetcarma.com/smartcharge/profile/>. [Accessed: 12-May-2020].
- [35] “FleetCarma programs.” [Online]. Available: <https://www.fleetcarma.com/smartcharge/programs/>. [Accessed: 12-May-2020].
- [36] D. Dft, “Table NTS0901 Annual mileage of cars, by ownership and trip purpose: England, 2002 onwards.” .
- [37] M. Weiss, K. C. Cloos, and E. Helmers, “Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles,” *Environ. Sci. Eur.*, vol. 32, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s12302-020-00307-8.
- [38] “Spritmonitor.” [Online]. Available: <https://www.spritmonitor.de/>. [Accessed: 13-May-2020].
- [39] S. Release, “Vehicle Licensing Statistics : Annual 2019,” no. April, 2020.
- [40] RACfundation, “Plug-in vehicles on the road.” .
- [41] © S. 2020, “Number of Nissan Leaf registered cars in Great Britain between 2011 and 2018,” 2020. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/987661/nissan-leaf-registered-cars-in-great-britain/>. [Accessed: 13-May-2020].
- [42] DVLA; DfT, “Licensed cars at the end of the year by number of years since first registration, Great Britain from 1994; also United Kingdom from 2014.” .
- [43] DVLA; DfT, “Cars registered for the first time by propulsion / fuel type, Great Britain from 2001 Q1; also United Kingdom from 2014 Q3.” 2019.
- [44] © SMMT 2019, “Car Registrations.” [Online]. Available: <https://www.smmt.co.uk/vehicle-data/car-registrations/>. [Accessed: 14-May-2020].
- [45] J. Pontes, “UK June 2013.” [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.com/2013/10/uk-june-2013.html>. [Accessed: 22-May-2020].
- [46] L. Canals Casals and B. Amante García, “Assessing electric vehicles battery second life remanufacture and management,” *J. Green Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 77–98, 2016, doi: 10.13052/jge1904-4720.614.

- [47] L. Canals Casals, B. Amante García, and L. V. Cremades, "Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 10, no. 2Special Issue, pp. 266–285, 2017, doi: 10.3926/jiem.2009.
- [48] M. Pagliaro and F. Meneguzzo, "Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight," *Heliyon*, vol. 5, no. 6, p. e01866, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01866.
- [49] M. L. Pérez, "SUNBATT Living Lab Battery Second Life," *Coeic*, 2016.
- [50] © Nissan 2020, "xStorage." .
- [51] © 2020 EVgo Services LLC, "EVgo Fast Charging." .
- [52] G. Gracia, "EVgo inaugura una estación de recarga respaldada con baterías de segunda vida." [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/evgo-inaugura-estacion-recarga-respaldada-baterias-segunda-vida/20180712094309020457.html>. [Accessed: 24-May-2020].
- [53] J. A. Roca, "El precio medio de las baterías cae un 13% más en 2019 hasta los 156 dólares/kWh," *El periódico de la energía*, 2019. [Online]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/el-precio-medio-de-las-baterias-cae-un-13-mas-en-2019-hasta-los-156-dolares-kwh/>. [Accessed: 12-Jun-2020].
- [54] K. Richa, C. W. Babbitt, and G. Gaustad, "Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy," *J. Ind. Ecol.*, vol. 21, no. 3, pp. 715–730, 2017, doi: 10.1111/jiec.12607.
- [55] O. M. De Dades, "Els salaris a Barcelona 2017," 2019.
- [56] M. Medellín, "Movilidad Sostenible Metro," 2019.
- [57] J. Jolly, "UK could ban sale of petrol and diesel cars in 12 years, says Shapps," *The Guardian*, 2020. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2020/feb/12/uk-ban-sale-petrol-diesel-cars-shapps-transport>. [Accessed: 01-Jun-2020].

Annexes

Annex 1: Correspondència amb l'INE i la DGT

Re: Transporte, turismo, comunicaciones

www.ine.es/ine/ine <ine@ine.es>
Per a: "pere.antonibilibio.mulet@gmail.com" <pere.antonibilibio.mulet@gmail.com> 2 de març de 2020 a les 8:51

Estimado Sr. / Sra.:

Por favor, consulte con la dirección general de Tráfico, DGT.

NOTA: Por favor, no responda a este correo ya que los correos electrónicos recibidos en esta dirección se borran automáticamente. Si necesita volver a contactar con nosotros utilice un nuevo formulario de consulta <http://www.ine.es/ine/ine> indicando su número de referencia.

Su pregunta / Your question: (ref.:170187)
'Buenos días,

He estado buscando y no encuentro ningún dato sobre el kilometraje de los vehículos relacionada con la baja del mismo. Me gustaría saber si se podría disponer de esos datos para ser utilizados en un trabajo de final de grado.

Muchas gracias.'

Jefatura Provincial de Tráfico de Barcelona <jptb@dgt.es> 2 de març 2020 13:46 ☆ ↶ ⋮
per a mi ▾

espanyol → català Tradueix el missatge Desactiva per a: espanyol ✕

Según la información obrante en esta Jefatura Provincial no se anota el kilometraje del vehículo cuando se produce la baja definitiva del mismo y, por lo tanto, no se encuentra disponible el dato que refiere. Desconocemos si algún Centro Autorizado de Tratamiento ("desguace") lleva registro de esa información.

Saludos

Jefatura Provincial de Tráfico de Barcelona

Annex 1: Correspondència amb l'INE i la DGT.

Annex 2: Disposició de les dades del MOT en RStudio®

test_id	vehicle_id	test_date	test_class_id	test_type	test_result	test_mileage	postcode_area	
1	1890031062	967342532	2010-01-01	4	NT	F	133476	W
2	1804596582	1293625208	2010-01-01	4	NT	F	189022	BD
3	1102446866	728666546	2010-01-01	4	NT	F	288483	B
4	1830456744	784473650	2010-01-02	4	NT	F	60279	GU
5	188387582	1088186410	2010-01-02	4	NT	F	69378	CM
6	1929058356	1247411072	2010-01-02	4	NT	F	136311	DT
7	1405276488	465485784	2010-01-02	4	NT	F	164064	RH
8	1102160816	1189995104	2010-01-02	4	NT	F	96717	CT
9	1328737684	626886062	2010-01-02	4	NT	F	76398	EX
10	1801492962	605220064	2010-01-02	4	NT	F	77001	CM

make	model	colour	fuel_type	cylinder_capacity	first_use_date
TOYOTA	ESTIMA 2WD AUTO	SILVER	DI	2180	1996-12-31
CITROEN	SYNERGIE	GREY	DI	1997	2000-09-19
VAUXHALL	COMBO	WHITE	DI	1686	1997-02-04
CITROEN	XSARA PICASSO	GREEN	DI	1560	2004-07-20
FIAT	PUNTO	BLACK	DI	1248	2006-01-31
VAUXHALL	ASTRAVAN	RED	DI	1700	1996-10-18
VOLKSWAGEN	CADDY	WHITE	DI	1896	1996-10-08
PEUGEOT	407	SILVER	DI	1997	2005-06-27
VOLKSWAGEN	PASSAT	BEIGE	DI	1896	2005-11-21
TOYOTA	AVENSIS	SILVER	DI	1995	2004-06-22

Annex 2: Exemple de la disposició de les dades del MOT en RStudio®. (Font pròpia)

Annex 3: Wilcoxon test realitzat amb RStudio®

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	< 2e-16	< 2e-16	0.21048	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-
6	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-
7	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-
8	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-
9	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-
10	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-
11	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-
12	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-
13	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
14	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
15	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
17	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
18	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
19	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
20	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
21	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
22	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
23	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
24	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	7.7e-07
25	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	0.00012	0.15069	3.0e-06	9.1e-14
26	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	0.02218	1.1e-09	< 2e-16	< 2e-16
27	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	1.6e-07	4.9e-10	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
28	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	0.10856	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
29	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	5.0e-16	4.0e-06	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
30	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	7.1e-05	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-	-
18	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-	-	-	-	-	-	-
19	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	3.2e-15	-	-	-	-	-
20	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	1.2e-06	-	-	-	-
21	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	3.1e-10	0.04402	-	-	-
22	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	9.7e-13	0.01136	0.45794	0.02663	-	-
23	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	4.1e-08	0.06057	0.17758	2.0e-06	2.3e-12	5.3e-15	7.6e-08	-	-
24	0.27562	0.01468	3.6e-10	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
25	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	6.2e-13
26	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
27	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
28	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
29	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
30	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16

	25	26	27	28	29
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	1.4e-09	-	-	-	-
27	< 2e-16	1.5e-07	-	-	-
28	< 2e-16	< 2e-16	0.00018	-	-
29	< 2e-16	< 2e-16	1.6e-08	0.04223	-
30	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	2.4e-11

Annex 3: Wilcoxon test realitzat amb RStudio®. (Font pròpia)



Annex 4: Capacitats i nombre dels vehicles més venuts al R.U entre el 2014 i 2019

Models	Nombre de vehicles venuts 2019	Capacitats 2019	Nombre de vehicles venuts 2018	Capacitats 2018	Nombre de vehicles venuts 2017	Capacitats 2017
NISSAN LEAF	5300	40	5300	40	4906	30
VOLKSWAGEN GOLF EV	3800	40	1000	40	-	-
BMW i3 BEV	4100	40	1200	30	2239	30
RENAULT ZOE	2400	40	2000	40	777	40
TESLA MODEL S	1200	70	1900	70	2518	70
TESLA MODEL X	1300	70	1500	70	-	-
HYUNDAI IONIQ	500	30	400	30	-	-
TESLA MODEL 3	10600	70	-	-	-	-
KIA NIRO	700	40	-	-	-	-
NISSAN E-NV200	1900	40	-	-	-	-
JAGUAR I-PACE	4200	90	-	-	-	-
BMW i3 REEV	300	40	2200	40	-	-
LEVIC TX	2100	30	1200	30	-	-

Models	Nombre de vehicles venuts 2016	Capacitats 2016	Nombre de vehicles venuts 2015	Capacitats 2015	Nombre de vehicles venuts 2014	Capacitats 2014
NISSAN LEAF	3499	30	4381	24	3861	24
VOLKSWAGEN GOLF EV	-	-	-	-	-	-
BMW i3 BEV	1758	30	1541	24	899	24
RENAULT ZOE	1647	24	1971	24	997	24
TESLA MODEL S	2367	70	1389	70	697	70
TESLA MODEL X						
HYUNDAI IONIQ						
TESLA MODEL 3						
KIA NIRO						
NISSAN E-NV200						
JAGUAR I-PACE						
BMW i3 REEV						
LEVIC TX						

*Annex 4: Capacitats i nombre dels vehicles més venuts al Regne Unit entre el 2014 i 2019.
(Informació dels fabricants)*

Annex 5: Nombre de bateries en funció de l'SOH i l'any en què arribaran

Bateries de 16 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	75-70	70-65	65-60	60-55	55-50	50-45	45-40	40-35	35-30	inferior a 30
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	1	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	2	4	4	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	3	5	6	6	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0
2017	0	3	6	8	8	7	6	4	4	2	2	1	0	0	0
2018	0	1	5	8	10	10	9	7	6	4	4	2	2	1	2
2019	0	1	4	8	11	13	12	11	9	7	6	4	3	2	4
2020	0	2	4	7	11	14	15	16	14	12	9	7	5	3	6
2021	1	2	3	6	9	13	17	20	20	17	13	9	5	3	6
2022	1	2	3	6	9	14	19	22	22	20	16	10	7	4	7
2023	1	2	3	6	9	14	18	23	23	22	17	11	8	5	8
2024	1	2	3	5	9	12	18	21	23	21	17	12	8	5	8
2025	1	2	3	4	7	11	15	19	21	20	17	12	8	5	8
2026	1	1	3	4	6	9	13	16	19	17	15	10	7	5	8
2027	0	1	2	3	4	7	10	13	14	14	13	9	6	4	8
2028	0	1	1	3	4	5	7	10	10	10	10	7	6	4	7
2029	0	0	1	1	3	4	5	7	7	7	7	6	4	3	6
2030	0	0	1	1	1	3	4	4	5	5	4	4	3	2	4
2031	0	0	0	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	1	3
2032	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bateries de 24 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	75-70	70-65	65-60	60-55	55-50	50-45	45-40	40-35	35-30	inferior a 30
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	6	9	9	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	14	24	24	18	12	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0
2017	25	49	50	41	28	16	10	4	2	0	0	0	0	0	0
2018	21	69	85	75	53	33	20	10	5	3	0	0	0	0	0
2019	16	82	122	116	89	62	38	22	13	6	4	3	0	0	0
2020	13	81	146	162	142	110	74	48	26	16	9	3	3	0	1
2021	9	72	156	202	203	171	127	84	52	29	16	9	4	2	4
2022	9	61	154	228	258	245	195	136	83	47	26	15	6	3	8
2023	15	56	140	233	303	323	279	195	115	64	34	17	9	4	15
2024	24	54	117	216	330	402	367	255	147	76	36	18	7	4	23
2025	24	53	111	211	343	437	418	299	174	89	41	19	9	4	24
2026	23	52	108	204	338	442	435	319	190	99	48	23	10	4	23
2027	21	48	97	188	313	420	424	322	196	103	50	24	10	5	24
2028	20	42	85	164	274	372	385	302	188	104	51	23	11	5	21
2029	17	36	73	135	226	311	329	266	171	96	50	23	11	5	21
2030	14	30	58	105	174	241	260	218	146	85	45	22	11	5	19
2031	11	23	43	79	126	173	191	166	116	71	38	20	10	5	17
2032	8	16	31	55	87	121	134	119	86	54	30	15	8	4	13
2033	5	12	21	35	56	80	88	81	60	39	22	12	6	3	9
2034	4	7	12	21	34	46	52	48	37	23	15	7	4	2	6
2035	1	3	6	10	15	21	24	22	18	12	7	4	3	1	3
2036	0	1	1	2	2	3	4	4	3	2	1	1	0	0	1

Bateries de 30 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	75-70	70-65	65-60	60-55	55-50	50-45	inferior a 45
2015												
2016												
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	13	13	7	3	1	1	0	0	0	0	0	0
2019	31	41	29	17	8	4	1	0	0	0	0	0
2020	33	75	64	39	20	7	2	0	0	0	0	0
2021	35	115	115	74	40	17	7	3	1	0	0	0
2022	28	131	168	132	82	43	22	9	4	1	1	0
2023	22	137	214	200	145	89	49	25	12	5	2	2
2024	15	129	251	276	222	150	90	49	24	12	5	4
2025	19	115	252	334	328	241	141	70	33	14	6	11
2026	29	100	227	373	443	351	199	89	37	15	6	20
2027	33	96	222	401	515	430	247	110	45	18	7	23
2028	35	91	212	408	557	483	285	126	51	18	7	25
2029	32	86	200	393	553	499	302	138	56	21	9	25
2030	30	77	181	357	515	483	304	141	58	23	9	24
2031	26	67	155	306	449	434	283	137	58	23	9	22
2032	22	56	126	246	364	364	249	126	57	23	9	21
2033	19	45	98	187	274	283	204	110	52	23	9	20
2034	14	34	72	134	198	210	157	87	42	18	8	17
2035	11	23	51	92	136	146	113	65	32	15	6	13
2036	7	17	33	59	88	95	77	46	23	11	5	10
2037	4	8	17	31	46	50	41	25	13	6	4	5
2038	2	3	5	10	15	16	13	8	4	2	1	2
2039	0	1	2	4	5	6	5	3	2	1	0	1



Bateries de 40 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	75-70	70-65	65-60	Inferior a 60
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	3	2	1	0	0	0	0	0	0
2020	32	26	11	4	1	0	0	0	0
2021	77	86	46	19	5	1	0	0	0
2022	154	213	122	47	15	4	0	0	0
2023	251	423	272	117	38	12	3	0	0
2024	377	737	536	258	100	34	11	4	1
2025	533	1165	952	514	223	86	31	10	4
2026	723	1733	1563	939	446	182	68	24	12
2027	963	2427	2390	1620	825	334	120	40	32
2028	1245	3285	3483	2601	1393	561	196	64	59
2029	1220	4046	4768	3902	2186	876	300	97	97
2030	1216	4697	6129	5484	3213	1293	438	139	147
2031	1091	4964	7550	7411	4520	1832	616	193	213
2032	1008	4939	8715	9439	6000	2454	821	255	297
2033	970	4675	9509	11362	7504	3081	1023	313	388
2034	1015	4268	9797	12940	8844	3609	1165	348	479
2035	1108	3709	9559	14048	9889	3949	1210	336	553
2036	1036	3479	9134	13937	10204	4191	1302	368	541
2037	943	3153	8339	13079	9944	4214	1340	384	521
2038	832	2737	7232	11599	9169	4036	1321	387	490
2039	704	2268	5940	9690	7978	3667	1244	375	450
2040	573	1796	4628	7627	6533	3150	1112	347	399
2041	446	1355	3403	5631	5019	2555	946	306	344
2042	337	974	2353	3870	3598	1953	765	260	288
2043	224	642	1539	2548	2426	1356	545	189	205
2044	140	392	926	1536	1492	860	356	125	135
2045	76	210	489	810	802	478	203	74	79
2046	32	86	193	316	317	195	87	33	36

Bateries de 70 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	75-70	Inferior a 70
2015	0	0	0	0	0	0	0
2016	3	2	0	0	0	0	0
2017	9	7	3	0	0	0	0
2018	20	19	6	1	0	0	0
2019	37	44	18	4	0	0	0
2020	54	82	38	11	2	0	0
2021	101	148	77	25	6	2	0
2022	179	266	154	58	18	4	2
2023	323	472	283	113	34	8	3
2024	567	831	508	211	60	14	6
2025	968	1447	902	379	107	25	11
2026	1386	2362	1540	661	189	45	21
2027	2414	3909	2565	1128	339	83	36
2028	3953	6417	4390	1965	589	147	67
2029	4369	9379	6917	3214	971	243	116
2030	4946	12644	10163	5027	1554	388	193
2031	4607	15565	14953	7914	2471	612	314
2032	4181	17538	20445	11779	3753	933	498
2033	3673	18795	25884	16127	5343	1374	725
2034	3613	18428	31112	20879	6708	1631	1022
2035	3868	16407	35695	25665	7522	1542	1286
2036	3704	16075	36903	28117	8502	1761	1293
2037	3474	15171	36019	28821	9031	1906	1287
2038	3142	13626	33092	27823	9122	1986	1256
2039	2733	11610	28555	25282	8776	1992	1206
2040	2268	9402	23250	21556	7920	1876	1100
2041	1825	7226	17666	17170	6805	1724	1009
2042	1434	5273	12436	12702	5562	1540	923
2043	990	3585	8477	8913	4056	1158	686
2044	639	2270	5339	5753	2726	807	478
2045	388	1337	3108	3426	1700	525	316
2046	179	590	1332	1486	774	252	158

Bateries de 90 kWh	100-95	95-90	90-85	85-80	80-75	Inferior a 75
2020	0	0	0	0	0	0
2021	13	5	1	0	0	0
2022	37	21	4	0	0	0
2023	81	56	11	0	0	0
2024	150	126	29	4	0	0
2025	253	253	70	12	1	0
2026	403	462	153	33	6	1
2027	623	793	298	70	13	2
2028	952	1289	562	132	22	8
2029	1110	1921	958	230	39	15
2030	1280	2635	1502	375	64	25
2031	1271	3448	2289	589	100	42
2032	1211	4175	3250	873	147	64
2033	1119	4744	4303	1183	198	95
2034	1057	5062	5341	1462	231	132
2035	1002	5077	6307	1643	218	171
2036	954	5020	6664	1820	245	167
2037	888	4732	6612	1901	264	164
2038	793	4223	6178	1884	274	155
2039	677	3563	5435	1779	272	145
2040	555	2841	4483	1578	258	130
2041	437	2137	3463	1326	233	115
2042	331	1507	2483	1055	204	101
2043	226	1011	1703	757	153	74
2044	143	629	1074	500	106	51
2045	82	348	600	292	65	31
2046	37	148	253	130	31	15

Annex 5: Nombre de bateries en funció de l'SOH i l'any en què arribaran. (Font pròpia)