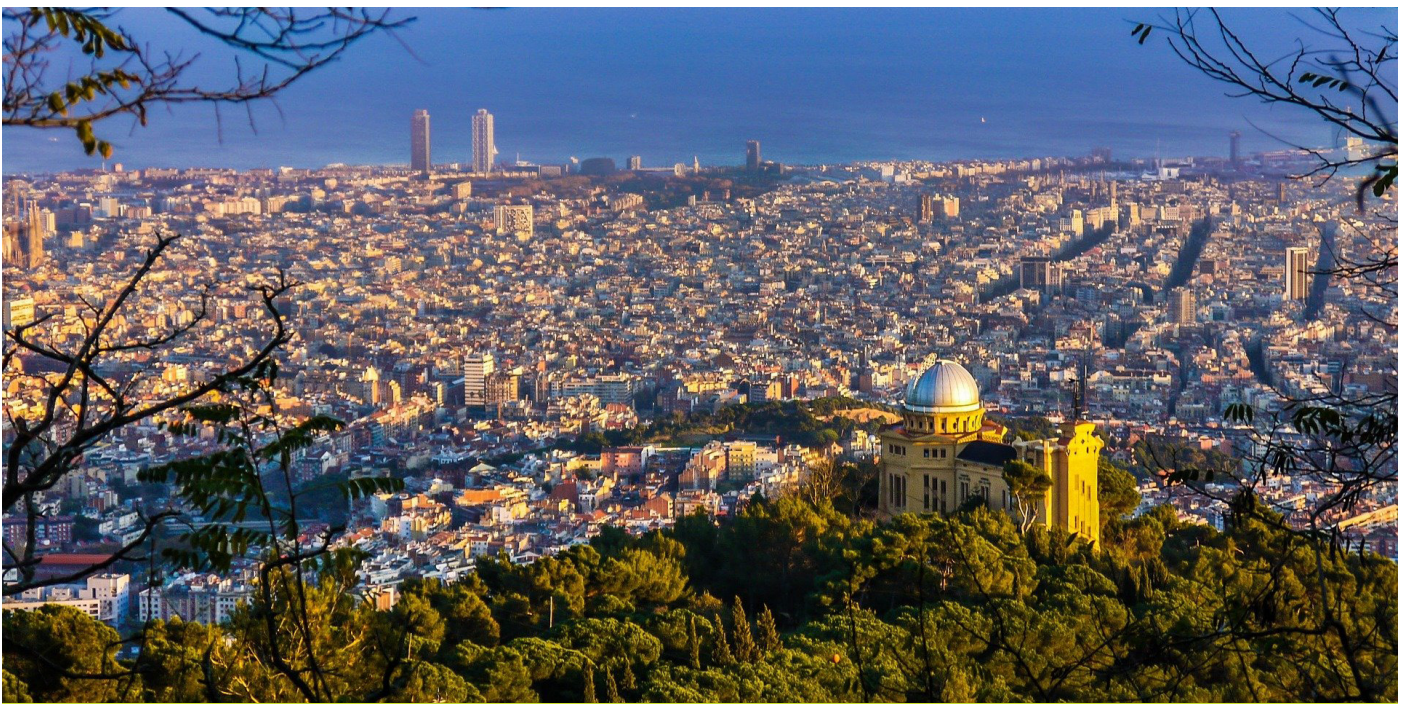


INFORME
JULIOL
2023

Fundació ENT
C/ Josep Llanza, 1-7, 2n 3a
08800 Vilanova i la Geltrú
+34 93 893 51 04
info@ent.cat | www.ent.cat



ESTUDI SOBRE LA MINERIA URBANA A BARCELONA I LA MITIGACIÓ DEL CANVI CLIMÀTIC ASSOCIADA



Estudi sobre la mineria urbana a Barcelona i la mitigació del canvi climàtic associada

Aquest informe és un encàrrec efectuat per l'Observatori del Deute en la Globalització (client).

Com citar aquest estudi:

Martinez-Sanchez, V., Puig-Ventosa, I. (2023) Estudi sobre la mineria urbana a Barcelona i la mitigació del canvi climàtic associada.

Autoria

Dra. Verònica Martínez Sánchez

Dr. Ignasi Puig Ventosa

Contribucions

Redacció: Dra. Verònica Martínez Sánchez

Revisió interna: Dr. Ignasi Puig Ventosa

Revisió externa: Alfons Pérez López

Maquetació de l'estudi: Raimon Ràfols Florenciano



Fundació ENT

C/ Josep Llanza, 1-7, 2n 3a
08800 Vilanova i la Geltrú
+34 93 893 51 04
info@ent.cat | www.ent.cat



@ENTmediambient



ENTmediambient



ENT Environment & Management



ENT environment & management

Amb el suport de:



ÍNDEX

1 INTRODUCCIÓ	4
2 POLÍTIQUES PÚBLIQUES DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA	5
3 MARC NORMATIU DELS RESIDUS	6
3.1 Plaques fotovoltaïques	6
3.2 Bateries de vehicles elèctrics	7
4 INVENTARIS D'EQUIPS MUNICIPALS	8
4.1 Instal·lacions fotovoltaïques	8
4.2 Flota de vehicles elèctrics municipals	8
5 GENERACIÓ, RECOLLIDA I GESTIÓ DE RESIDUS	10
5.1 Plaques fotovoltaïques municipals	10
5.2 Bateries de vehicles elèctrics	12
6 POTENCIAL DE LA MINERIA URBANA ALS EQUIPS MUNICIPALS DE BARCELONA	14
6.1 Instal·lacions fotovoltaïques	14
6.2 Bateries de cotxes elèctrics	15
7 BARRERES I OPORTUNITATS DE LA MINERIA URBANA	16
7.1 Mitigació de canvi climàtic	16
7.2 Creació de llocs de treball	17
7.3 Seguretat de matèries primeres	17
7.4 Naturalesa del residu a gestionar	18
8 CONCLUSIONS	19
REFERÈNCIES	21

1 INTRODUCCIÓ

Segons les últimes estimacions del Panell Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC), les **emissions continuades de gasos d'efecte hivernacle provocaran un augment de l'escalfament global, amb la millor estimació d'arribar als 1,5 °C a curt termini. Cada increment de l'escalfament global intensificarà perills múltiples i concurrents.** Només reduccions profundes, ràpides i sostingudes d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) conduirien a una desacceleració perceptible de l'escalfament global en unes dues dècades, i també a canvis perceptibles en la composició de l'atmosfera en pocs anys (IPCC, 2023).

Cada cop més països i empreses dediquen **esforços a reduir les seves emissions de GEH dels seus sistemes energètics** mitjançant un desplegament massiu de tecnologies d'energia neta, moltes de les quals al seu torn depenen de minerals crítics com ara coure, liti, níquel, cobalt i de terres rares (IEA, 2021).

A mesura que les transicions cap a energies renovables s'acceleren a nivell mundial i els panells solars, les turbines eòliques i els cotxes elèctrics es despleguen a una escala creixent, **els mercats de minerals clau podrien estar subjectes a la volatilitat dels preus, la influència geopolítica i fins i tot les interrupcions del subministrament** (Carrara et al., 2023; IEA, 2021). Així doncs, un sistema energètic en evolució requereix una seguretat en termes sobretot de subministrament.

La **mineria urbana pot ajudar a aconseguir aquesta seguretat, contribuint al subministrament de matèries primeres mitjançant l'exploració, extracció i refinament de recursos antropogènics** (Fraunhofer ISI, 2020). Entre aquests recursos es troben tot tipus de productes de llarga vida, edificis, infraestructures i residus. La mineria urbana intenta gestionar no només els residus d'avui, sinó també anticipar i capturar el valor que contenen els residus del demà (Fraunhofer ISI, 2020).

La mineria urbana no només pot ajudar a assegurar les matèries primeres per a la transició energètica, sinó també pot contribuir a **la protecció del medi ambient a llarg termini, la conservació dels**

recursos i proporcionar beneficis econòmics (Cossu and Williams, 2015). Una limitació clau de la mineria urbana és que la seva contribució no pot satisfer la demanda actual de matèries primeres (Fraunhofer ISI, 2020) i que els recursos necessaris per portar-la a terme no són menors.

El Pla Clima de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2018) juntament amb altres polítiques de l'Ajuntament de Barcelona inclouen **mesures d'impuls a les energies renovables i mobilitat més sostenible en equipaments municipals.**

L'**objectiu** d'aquest projecte és fer una **estimació del potencial de mineria urbana** lligada als materials presents, principalment, a les **plaques fotovoltaïques i les bateries de vehicles elèctrics municipals de la ciutat de Barcelona.**

2 POLÍTIQUES PÚBLIQUES DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA

Barcelona, com moltes altres ciutats arreu del món, és plenament conscient de l'amenaça que el canvi climàtic representa. El 26 d'octubre de 2018 es va aprovar a Barcelona el Pla Clima en Plenari del Consell Municipal, complint així amb un dels compromisos adquirits en el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia signat el 2017 (Ajuntament de Barcelona, 2018). El 15 de gener de 2020, la ciutat de Barcelona va **declarar l'emergència climàtica i l'execució de mesures claus es va accelerar**.

Entre les diferents polítiques destaca l'aposta per una **mobilitat elèctrica** amb mesures com, per exemple, Ajuda Pla MOVES III per comprar una moto elèctrica (Endolla Barcelona, 2023). Una altra àrea política important per a l'Ajuntament de Barcelona és **l'eficiència energètica**. La ciutat ha emprès una sèrie d'iniciatives destinades a reduir el consum d'energia i augmentar l'ús de fonts d'energia renovable, en particular, el Programa d'impuls a la generació d'energia solar a Barcelona (2017-2019) i edicions posteriors (2020-2030).

També ha implementat un programa per a la renovació d'edificis públics amb tecnologies eficients en energia i ha instal·lat panells solars en terrats per generar electricitat i ha fomentat la instal·lació de sistemes d'energies renovables en edificis privats a través d'incentius fiscals i altres formes de suport. A més a més, el **Pla Estratègic de Sostenibilitat Interna de la Gerència de Seguretat i Prevenció (PESI GSP)** inclou mesures com ara la instal·lació de panells solars a les instal·lacions de la Gerència per aconseguir energia renovable i la incorporació de criteris socials i ambientals en les compres i contractacions.

Com a part d'aquesta transició, **cal també preveure la gestió dels residus generats per aquests equips quan arriba el final de la seva vida útil**. Els impactes ambientals d'aquesta fase de cycle de vida no són menors per obviar-los. Per exemple, els impactes ambientals del reciclatge dels panells solars en base de silici (els més comuns) representa entre un 13% i un 25% dels impactes ambientals de tot el cycle de vida d'aquestes tecnologies (Maani et al., 2020).



3 MARC NORMATIU DELS RESIDUS

3.1 Plaques fotovoltaïques

La gestió dels residus dels panells fotovoltaïcs a l'Estat Espanyol ve marcada pel **Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y Electrónicos**. Aquest RD transposa la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y el Consejo 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Segons aquest RD, (des del 2018) els aparells elèctrics i electrònics (AEE) es classifiquen en 7 categories (en el lloc de 10 com es venia fent fins a llavors) en funció del seu ús i de les seves característiques. Els panells fotovoltaïcs grans (amb una dimensió exterior superior a 50 cm) formen part de la **categoria 7 (RAEE-7)**.

El RD 110/2015 manté la **Responsabilitat Ampliada del Productor (RAP)**, establerta per l'anterior RD de RAEE, de manera que el fabricant de l'AEE té l'obligació de finançar la gestió dels residus que procedeixin dels seus aparells. Al 2023, el MITERD ha optat per continuar calculant els objectius com els anys precedents, és a dir "**el objetivo será como mínimo, el 65% de la media del peso de los AEE introducidos en el mercado en los tres años precedentes**", fins que es disposi d'informació més consistent sobre el funcionament de la metodologia per a l'estimació dels residus generats establerta per la Comissió Europea (MITERD, 2023).

Segons la resolució del MITERD, l'objectiu de RS de RAEE-7 al 2023 per habitant al territori espanyol correspon a **3,84 kg/habitant** (MITERD, 2023). Tot i que els objectius apliquen a l'Estat i a les CCAA, podem estimar l'objectiu que hauria de complir la ciutat de Barcelona en funció de la seva població (veure Taula 1).

Taula 1: Quantitats de RAEE-7 posades al mercat a l'Estat Espanyol i els objectius de recollida separada a l'Estat, Catalunya i Barcelona

	Població (MM hab)	Quantitats posades al mercat (t)			Objectiu RS (t)
		2022	2020	2021	
Estat	47,4	221.998,2	169.438,2	448.893,1	182.071,4
CAT	7,7				29.885,1
BCN	1,6				6.274,9

Font: Elaboració pròpia amb les dades publicades a MITERD (2023).

Actualment a l'Estat hi ha **12 Sistemes Col·lectius de Responsabilitat Ampliada del Productor (SCRAP)** formats pels productors d'AEE per donar compliment a la RAP de RAEE, però només alguns gestionen la categoria 7 i tenen objectius mínims de recollida selectiva en funció de la posada al mercat dels productors adherits a cada SCRAP.

Les quantitats de RAEE-7 gestionades pels SCRAPs són molt menors als objectius mínims establerts al RD perquè **no hi ha tants panells solars fora de servei com preveu el RD per recollir**. Segons ECOLEC, al 2021 els venciments eren provocats per danys ambientals o meteorològics, en algun cas per final de vida útil, però les quantitats a gestionar estaven molt per sota de les 71.000 tones establertes com objectiu al 2021 (ECOLEC, 2021). Aquesta forma de quantificar els objectius de recollida selectiva en funció de les quantitats posades al mercat en els 3 anys precedents es problemàtica per mercats en creixement de productes amb vides útils llargues. Actualment s'estan instal·lant molts panells, però aquests tenen una vida útil de 25-30 anys. Aquest és un problema a nivell de directiva, ja que la metodologia utilitzada per establir objectius de RAEE-7 hauria de considerar les particularitats de la posada al mercat d'aquest tipus de RAEE en lloc del mètode genèric de la resta de RAEE que tenen un mercat de reposició més comú (p.e. neveres).

Els SCRAPs de RAEE, no només tenen objectius mínims de recollida, sinó també de valorització. Els objectius mínims aplicables a partir del 15 d'agost

de 2018 de **valorització de RAEE-7 són del 85% i de preparació per a la reutilització i reciclatge del 80%**. Segons RECYCLIA, entitat que agrupa a les fundacions Ecopilas, Ecofimática, Ecoasimelec i Ecolum, en el reciclatge actual de panells solars a l'estat ja recuperava el 88% en massa dels panells solars des del 2017 (Recyclia, 2018, 2017).

Tot i que encara no aplica, a nivell normatiu, és important mencionar dos nous reglaments europeus que afectaran al sector fotovoltaic, **el reglament d'ecodisseny i el reglament d'etiquetatge energètic**, que s'esperaven pel primer semestre del 2023. Les mesures incloses en aquests reglaments seran d'aplicació directa a tots els Estats Membres i s'espera que incloguin mesures per millorar l'eficiència, durabilitat, reparabilitat i reciclabilitat dels productes en general i també opcions per millorar la qualitat del procés de fabricació i la petjada de carboni dels mòduls fotovoltaics. També s'espera que aquestes mesures proporcionin una referència comuna pels consumidors i requisits d'informació per part dels fabricants per a un rendiment energètic més elevat a llarg termini i faciliti el reciclatge i la reparació (European Commission, 2022).

3.2 Bateries de vehicles elèctrics

La gestió dels residus de bateries de vehicles elèctrics a l'Estat espanyol ve marcada pel **Real Decreto 710/2015, de 24 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos**.

Aquest RD transposa la Directiva 2013/56/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2013, por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores.

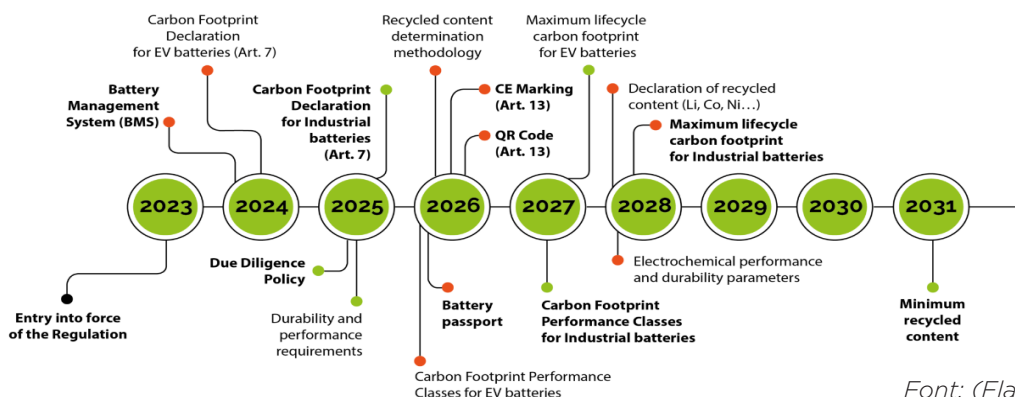
El Real Decreto 106/2008, d'1 de febrer (modificat pel Real Decreto 710/2015) estableix que els costos de les operacions de recollida selectiva, transport, classificació, emmagatzematge temporal, tractament i reciclatge dels residus de piles i acumuladors han de ser sufragats pels productors de piles i acumuladors. Per complir amb la **RAP**, els productors d'aquests productes han d'inscriure's al Registre Integrat Industrial d'àmbit estatal, secció piles i acumuladors (RII-RPA) i declarar anualment les quantitats de piles i bateries que han posat al mercat. També hauran de constituir un sistema individual de RAP o adherir-se a un SCRAP.

L'SCRAP principal per piles i acumuladors a l'Estat espanyol és Fundación Ecopilas, però també hi ha altres SCRAPs amb quotes de mercats menors (p.e. European Recycling Platform).

El RD 710/2015 estableix a l'article 14.1.c que a partir del 31 de desembre del 2018, la recollida anual de piles, acumuladors i bateries d'automoció ha de ser de com a mínim el **98% en pes de les piles, acumuladors i bateries d'automoció venudes als usuaris l'any precedent al de la recollida**.

A nivell normatiu és important mencionar que al juny del 2023 es preveia la publicació de la **nova regulació europea sobre bateries** que tindrà efecte directe a tots els Estats Membres. L'objectiu d'aquesta norma és millorar el progrés tecnològic de les bateries i reduir el seus impactes ambientals (Flash Battery, 2023) i pot comportar canvis rellevants en la gestió de residus. La Figura 1 mostra les mesures que es preveuen dins d'aquesta regulació.

Figura 1: Previsió de mesures que inclourà la EU batteries regulation



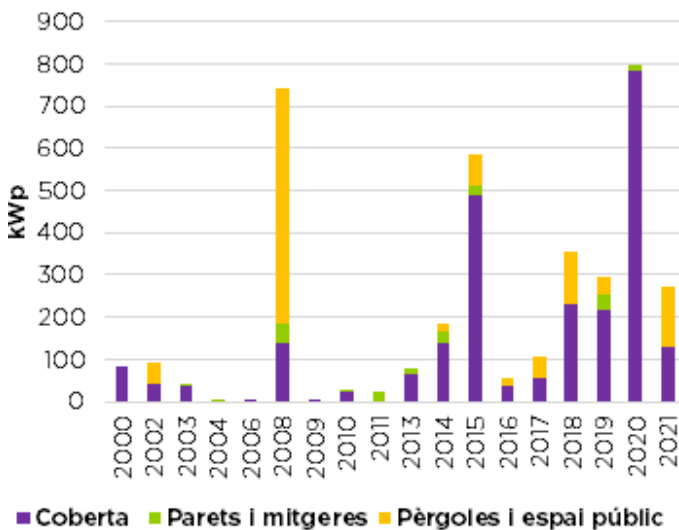
Font: (Flash Battery, 2023)

4 INVENTARIS D'EQUIPS MUNICIPALS

4.1 Instal·lacions fotovoltaiques

Segons l'Agència d'Energia de Barcelona, la ciutat té actualment 19 pèrgoles a l'espai públic, i més de 100 edificis municipals (amb coberta, façana o mitgera solar) que representen una **potència instal·lada de 3.753 kWp** i una generació anual d'energia de 4.643 MWh (Agència d'Energia de Barcelona, 2023). Els anys en els que més potència es va instal·lar van ser el 2008, el 2015 i el 2020 (veure Figura 2).

Figura 2: Potència Instal·lada per any a la ciutat de Barcelona en espais públics i edificis municipals (kWp)



Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'Agència d'Energia de Barcelona (Agència d'Energia de Barcelona, 2023).

Segons l'acció 9.1. del Pla d'acció per l'emergència climàtica publicat al novembre del 2021, l'objectiu de l'Ajuntament és incorporar **6 MWp** més de generació fotovoltaica al parc municipal per l'any 2025 (Ajuntament de Barcelona, 2021).

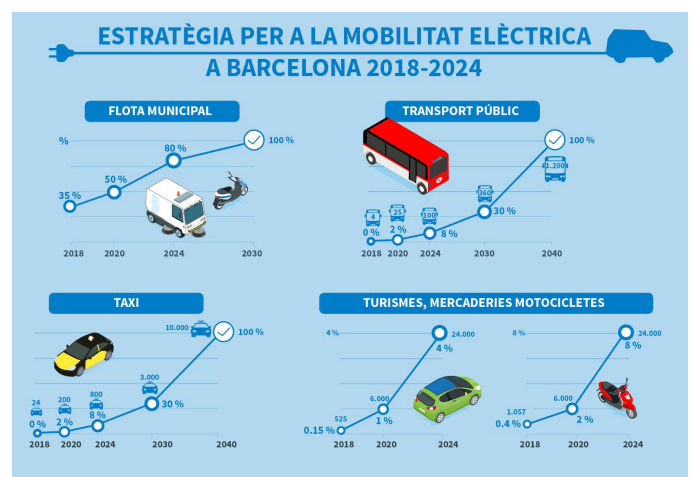
4.2 Flota de vehicles elèctrics municipals

Segons l'informe de vehicles 2021 de l'Ajuntament de Barcelona, el 30% dels 3.097 vehicles inventariats, entre flota pròpia i contractes de serveis amb ús de vehicles, són elèctrics. Entre aquests vehicles hi ha flota lleugera (motocicletes, ciclomotors, turismes, quadricicles, furgons, furgonetes i camionetes) i flota pesada (microbusos, camions, vehicles amb maquinària i camions especials).

L'increment de vehicles elèctrics a la flota municipal és un dels objectius recollits a l'Estratègia per la Mobilitat Elèctrica de l'Ajuntament de Barcelona 2018-2024 (veure Figura 3). S'espera que el 80% de la flota municipal sigui elèctrica al 2024 i el 100% al 2030.

Assumint que la flota municipal de l'Ajuntament es manté en nombre de vehicles i que es compleixen els objectius d'electromobilitat municipal, **al 2030 hi hauran uns 3.097 vehicles elèctrics a la flota municipal.**

Figura 3: Objectius d'electromobilitat inclosos a l'Estratègia per la Mobilitat Elèctrica de l'Ajuntament de Barcelona 2018-2024



Font: (Ajuntament de Barcelona, 2023)

Actualment, les **bateries d'ions de liti** són les més utilitzades en vehicles elèctrics (EEA, 2016; Lallana et al., 2023). Dins d'aquesta tipologia, podem diferenciar entre les bateries d'òxid de liti-cobalt (LCO),

níquel-cobalt-òxid d'alumini (NCA), níquel-manganès-òxid de cobalt (NMC). Les bateries NMC es classifiquen segons la química del càtode, amb diferents proporcions entre el manganès, cobalt i níquel: el càtode de les bateries NMC 111 conté un àtom de manganès i cobalt per cadascun de níquel, a les NMC 611 conté dos àtoms de manganès i cobalt per cada sis àtoms de níquel, i a les NMC 811 conté un àtom de manganès per cada vuit de níquel (Lallana et al., 2023). Aquests tipus de bateries tenen una capacitat més alta d'emmagatzematge i una vida útil més llarga que altres tipus de bateries, però perden capacitat al llarg del temps i fan el vehicle més pesat i costós (EEA, 2016).

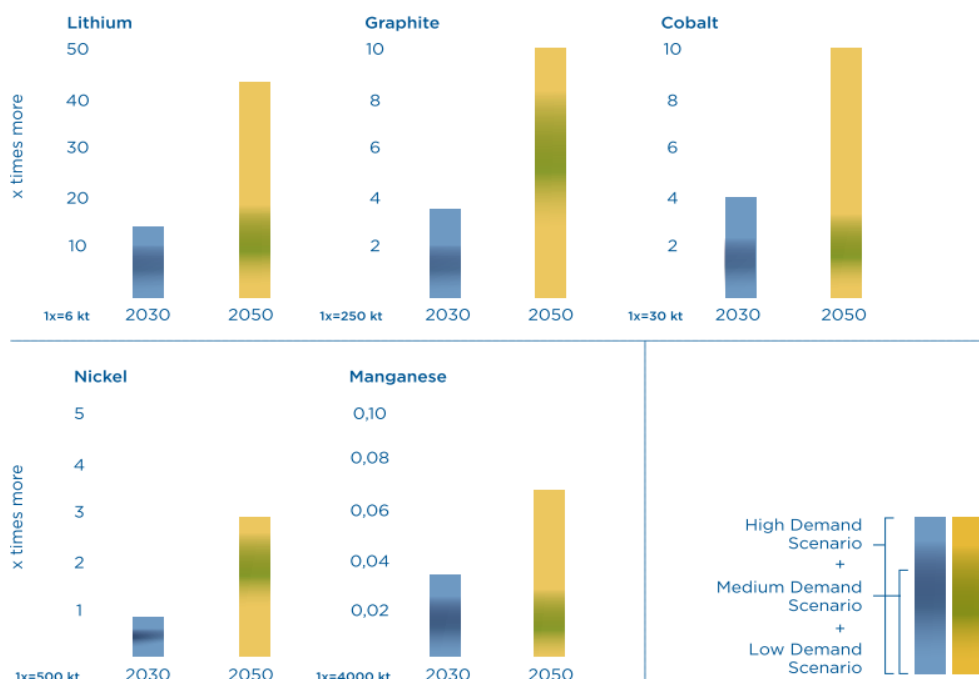
Si assumim que les bateries d'ions de liti tenen una **vida útil d'entre 8 i 10 anys** (Drabik and Rizos, 2018; Grijelmo et al., 2022), que els fabricants de cotxes elèctrics preveuen que la vida d'aquests sigui d'entre 15 i 20 anys (La Vanguardia, 2023) i que el recanvi de bateries és possible per a tots els vehicles de la flota municipal, es podria assumir que de mitjana **cada vehicle elèctric utilitzarà dues bateries durant la seva vida útil**. De totes maneres, cal tenir present que aquesta és una primera aproximació en base als anys que donen de garantia per recanvi de bateries, però sembla que les bateries estan trigant més temps del previst a degradar-se i podria ser que només una bateria servís per tota la vida útil del vehicle (La Vanguardia, 2023; Recurrent Auto, 2023).

Fent una primera aproximació podríem dir que el **consum de bateries de liti de la flota actual de l'Ajuntament serà d'unes 6.194 unitats** durant la vida útil d'aquests vehicles. La capacitat d'aquestes bateries dependrà del tipus de vehicle i l'any de compra. Per fer una primera aproximació s'assumirà una capacitat mitjana de **40 kWh** com a Drabik and Rizos (2018).

La fabricació de les bateries de liti requereix diverses **matèries primeres**, algunes de les quals tenen **gran importància econòmica i possibles riscos de subministrament** (JRC, 2017). El liti és la matèria primera més crítica per a la bateria d'ions de liti. Independentment de la química de la bateria, aquestes sempre contenen liti, al càtode i a l'electròlit (Grijelmo et al., 2022).

L'augment previst de les vendes de vehicles elèctrics, en les que s'espera que les vendes de vehicles elèctrics representin més del 50% de la quota global de mercat de vehicles el 2030 (Grijelmo et al., 2022), farà augmentar la demanda de bateries d'ions de liti i els materials necessaris per a la seva fabricació. Grijelmo et al. (2022) estima que la **demanda que més creixerà serà la del liti**, i que aquesta es multiplicarà per 40 del 2020 al 2050, **però també la d'altres elements** (veure Figura 4). Europa importa la majoria d'aquestes matèries primeres i és vulnerable per l'escassetat de recursos geològics de minerals importants, sobretot els crítics (Torrubia et al., 2023).

Figura 4 Consum addicional de materials per bateries de vehicles elèctrics només en 2030 i 2050 comparat amb el consum actual a la EU



Font: Figura 20 de (Grijelmo et al., 2022)

5 GENERACIÓ, RECOLLIDA I GESTIÓ DE RESIDUS

5.1 Plaques fotovoltaïques municipals

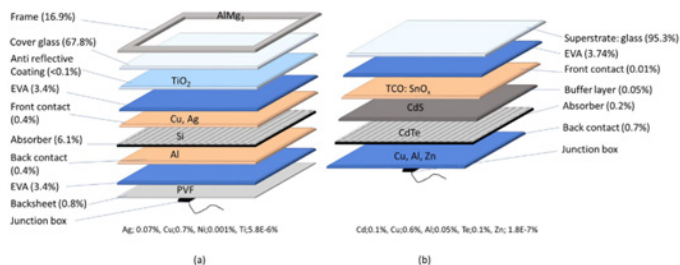
Actualment hi ha **diferents tipus de panells solars en el mercat** i la quota de mercat ha variat bastant en els anys (Taula 2). Tot i que es preveu que la quota de mercat de les noves tecnologies creixi, s'espera que els productes principals mantinguin el domini del mercat fins al 2030, especialment els panells c-Si (IRENA, 2016). La variació no només és a nivell de cel·la (veure Taula 2), sinó també a nivell de mòdul (60 cel·les vs 72 cel·les), eficiència, potència (entre 260 i 400 Wp/mòdul), etc. Cada tipus de panell té materials, composicions i estructura diferents (veure exemple a la Figura 5).

Taula 2: Quota de mercat dels panells solars per tipus de tecnologia (2014-2030)

Technology		2014	2020	2030
Silicon-based (c-Si)	Monocrystalline	92%	73.3%	44.8%
	Poly- or multicrystalline			
	Ribbon			
	a-Si (amorph/micromorph)			
Thin-film based	Copper indium gallium (di)selenide (CIGS)	2%	5.2%	6.4%
	Cadmium telluride (CdTe)	5%	5.2%	4.7%
	Other			
Other	Concentrating solar PV (CPV)	1%	1.2%	0.6%
	Organic PV/dye-sensitised cells (OPV)		5.8%	8.7%
	Crystalline silicon (advanced c-Si)		8.7%	25.6%
	CIGS alternatives, heavy metals (e.g. perovskite), advanced III-V		0.6%	9.3%

Font: Table 7 de IRENA (2016)

Figura 5: Estructura i composició en massa típica dels panells solars de base de silici (a) i de tel·luri de cadmi (b)



Font: Figura 1 de Maani et al. (2020).

EVA = Ethylene Vinyl Acetate, TCO = Transparent Conducting Oxide, PVF= Poly Vinyl Fluoride

La quantitat de residus generada per MW de panells solars depèn del tipus de panell, però com a mitjana en diferents estudis utilitzen el factor de **75 tones de residu per MW** estimat a Sander et al. (2007).

La composició d'aquests residus és bastant variable perquè cada productor té el seu propi disseny i tecnologia.

Com es pot veure a la Taula 2, la **tecnologia dominant fins avui són de base de silici cristal·lí (c-Si)**. Aquests panells es componen principalment de materials no perillosos (més del 90%) com vidre i alumini, però també inclouen materials perillosos, com plom i plata (Taula 3). Altres tecnologies menys comunes tenen altres tipus de metalls com el cadmi (en panells de tel·luri de cadmi) o el gal·li i el tàntal (en tecnologies més modernes).

Taula 3 Composició en massa de panells de silici típics donades varies publicacions

Material	Categoria del material	(IRENA, 2016)	(Tao et al., 2020)
Vidre	No perillós	76%	74%
Al	No perillós	8%	10%
Si	No perillós	5%	-3%
Polimers	No perillós	10%	-6.5%
Sn	Perillós	Traces	0,12%
Pb	Perillós	Traces	<0,1%
Cu	No perillós	1%	0,6%
Ag	Perillós	0,1%	<0,006%

Font: Elaboració pròpia

La vida útil del panell solar també depèn del tipus de tecnologia. **La mitjana utilitzada a molts estudis és de 30 anys** (p.e. (Graulich et al., 2021; IRENA, 2016)). Els fabricants dels panells més antics preveien una vida útil d'entre 20-25 anys amb una pèrdua d'eficiència entre un 1-2% anual, però a la pràctica s'està veient que la pèrdua d'eficiència és menor i les instal·lacions després de 20 anys continuen tenint rendiments de més del 90% de la potència inicial (Fundación ECOLEC, 2023). Les tecnologies noves tenen una vida útil més llarga, segons els fabricants després de 25-30 anys els panells solars continuen operant a més del 90% de potència inicial (Fundación ECOLEC, 2023).

Els panells es retiren quan ja han arribat a final de vida (o quan instal·lar-ne de nous és més rendible per grans productors), o si s'han trencat per condicions meteorològiques adverses o per mort prematura (defecte de fabricació que s'identifica normalment durant la instal·lació). Normalment **les recollides dels residus dels panells solars fora de servei es fan a demanda dels instal·ladors**, és a dir, quan s'instal·len nous mòduls i es retiren els antics, s'avisava a l'SCRAP corresponent per a que faci la recollida. Aquesta es fa amb camions que recullen els panells directament on estaven instal·lats.

Un cop es retiren i recullen hi ha tres opcions de gestió de residus principals: **1) reutilització, 2) reciclatge** i 3) dipòsit. L'alternativa de dipòsit comporta perills ambientals (derivats del lixiviat de plom, plata i estany, entre d'altres) i una pèrdua innecessària de recursos (JRC, 2016).

S'estima que fins al **80% del flux de residus de panells fotovoltaics generats actualment** (i en els propers 5 anys) són panells amb defectes de producció o amb danys durant el transport o en la instal·lació i que aproximadament 2/3 d'aquests mòduls fotovoltaics es **poden reparar o renovar i reutilitzar** (Circusol, 2023). A més a més, molts mòduls continuen funcionant després de 25-30 anys de vida nominal, però amb eficiències més baixes, superiors al 80% de les eficiències originals garantides pels fabricants (IRENA, 2016; Tao et al., 2020).

La reutilització d'aquests mòduls, després d'una etapa de control de qualitat i una renovació, pot ser una oportunitat per crear un mercat secundari de panells usats i la creació de llocs de treballs en la preparació per a la reutilització (IRENA, 2016; Tao et al., 2020). D'altra banda, la **viabilitat econòmica de la reutilització planteja dubtes pel preu competitiu dels mòduls nous** (cada vegada amb preus més baixos) **i la major eficiència dels mòduls nous en comparació als antics**, actualment són entre 4 i 5 vegades més eficients que anteriorment (PV CYCLE, 2021; Tao et al., 2020).

Segons Tsanakas et al. (2020), la R+D en reparació/renovació de mòduls fotovoltaics fora de servei i/o fallits segueix sent escassa, i les bones pràctiques i els serveis comercials per a proves/recertificació de fiabilitat i comercialització de mòduls fotovoltaics de segona vida no estan ni estandarditzats ni consolidats en qualsevol PSS (Product Service System) o model de negoci. Un dels objectius del projecte europeu CIRCUSOL és formalitzar les cadenes de valor de reutilització, reparació i renovació de la indústria fotovoltaica (Circusol, 2023).

L'empresa alemanya Rinovasol va obrir al 2021 un **centre de fabricació, reparació i reutilització de panells solars a Pamplona**. A banda de tenir una capacitat de producció de 50 MW de panells nous, a la planta reben panells usats, els arreglen, els certifiquen i els tornen a posar al mercat, amb una nova fitxa tècnica i 5 anys de garantia. En aquells casos en què el panell no es pot recuperar, s'envia a la seva planta a Alemanya per reciclar les matèries primeres (Grijelmo et al., 2022).

Les **tecnologies de reciclatge** de panells solars es poden categoritzar en *Bulk recycling*, recuperació dels materials amb més contingut en massa com el vidre, l'alumini i el coure (Wade et al., 2017) i *High value recycling*, recuperació no només dels *bulk materials*, sinó també de semiconductors i metalls amb concentracions molt baixes (*trace metals*) (Wade et al., 2017).

Actualment, **la majoria de residus de panells fotovoltaics es processen amb bulk recycling** que permet la recuperació de vidre, alumini i coure per als panells c-Si que es poden recuperar amb rendiments acumulats superiors al 85% de la massa total del panell mitjançant un reciclatge purament mecànic (IRENA, 2016; Recyclia, 2017). Aquest seria el procés que fan PV Cycle a Europa, SEIA als Estats Units (Tao et al., 2020) i també a la majoria de plantes de reciclatge de panells solars a l'Estat espanyol (Fundación ECOLEC, 2023).

El reciclatge mecànic per si sol, sense la combinació amb reciclatge químic i/o tèrmic, produeix materials amb **nivells d'impuresa alts i preus de revenda baixos** (JRC, 2016). Per exemple, el Silici de les plaques solars es pot recuperar amb diferents qualitats i el preu de venda varia en funció del grau de puresa (veure Taula 4).

Taula 4: Ingressos per venda de diferents qualitats de Silici recuperat a 30 d'octubre del 2019.

Si quality	Purity (%)	Weight (kg)	Price (\$/kg)	Value (\$/module)
Ferro-Si	75	0.68	0.45 ²³	0.31
Metallurgical-grade Si	99	0.62	1.50 ²³	0.93
Solar-grade Si	99.9999	0.56	7.58 ¹⁸	4.24
Second-grade Si	99.9999	0.56	5.52 ¹⁸	3.09

Font: (Tao et al. 2020)

Segons Fundación ECOLEC (2023), actualment a l'Estat espanyol hi ha:

Una planta amb autorització definitiva per reciclar panells solars, **Solar Recycling** que opera des del 2020 a València i podria tractar 12 kt/any (La Vanguardia, 2022; Solar Recycling, 2023).

També hi ha **tres plantes que estan operant amb autorització provisional**, una a la zona de Lloret de Mar, una a Albacete i una altra a Saragossa (planta de FCC) on el vidre que es recupera s'utilitza en una fàbrica de vidre propera.

També hi ha **dos projectes de plantes de reciclatge** que incorporen mètodes químics, per recuperar metalls amb més qualitat. Una planta serà el Centro Europeo de Reciclaje Fotovoltaico (CERFO, 2023), a Andorra (Terol) amb tecnologia francesa ROSI (EIT, 2023; ROSI, 2023), per un reciclatge d'alta qualitat. L'altra planta de reciclatge seria la incorporació d'una línia de reciclatge de panells solars dins d'una planta de recuperació de metalls rars (com el Galí i el Tàntal), de plaques electròniques a l'Aragó (Rad, 2020).

Les **quantitats potencialment recuperables en el reciclatge** de panells solars de base de silici per MW on es combinen reciclatge mecànic amb químic i/o tèrmic varia molt entre publicacions (veure la Taula 5).

Taula 5: Material i quantitats recuperables de panells solars de base de silici en diferents estudis

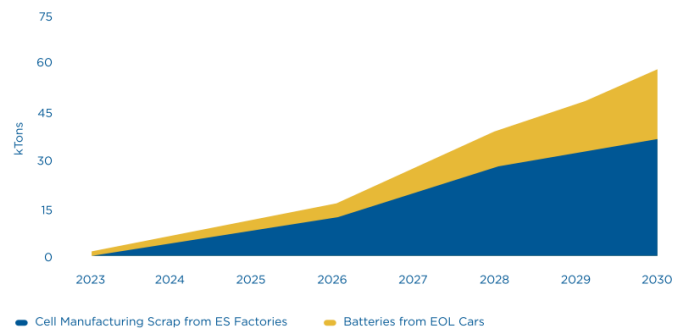
Tones/ MW	(Wade et al., 2017)	(Latunussa et al., 2016)	(Maani et al., 2020)	(Tao et al., 2020)
Vidre	61,06	47,26	56,38	50,00
Polímers	6,41			
Alumini	4,74	12,58	14,06	6,89
Silici	1,87	2,39	5,22	1,87
Coure	0,46	0,30	0,64	0,41
Plata	0,01	0,03	0,06	0,02
Altres materials	0,05		0,20	0,15
	74,60	62,57	76,57	59,34

Font: Elaboració pròpia en base a les dades de cada publicació. Nota: Només (Wade et al., 2017) reporta les quantitats recuperables per MW de panell. (Latunussa et al., 2016) reporta per tona de panell, (Maani et al., 2020) per m² de panell i (Tao et al., 2020) per panell. Per convertir a MW de panell s'han utilitzats els paràmetres donats a (IRENA, 2016) per panells típics de c-Si (és a dir, 270W, 18,6kg, 1,64m²).

5.2 Bateria de vehicles elèctrics

La generació de residus de bateries a l'Estat espanyol es preveu que comenci a créixer en els propers anys (Figura 6) i que gran part d'aquesta generació no sigui de bateries de final de vida sinó residus en la fabricació de bateries a Espanya (àrea blava de la Figura 6).

Figura 6: Previsió de generació de residus de bateries a Espanya, 2023-2050



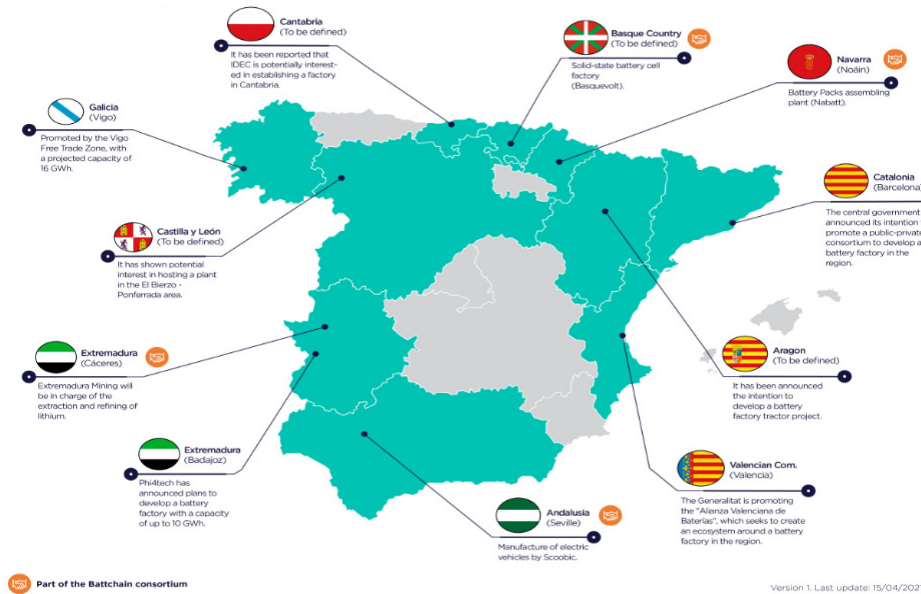
Font: Figura 24 de (Grijelmo et al., 2022)

L'any 2022, la Fundación Ecopilas va **recollir un total de 116.052 kg de bateries de vehicles elèctrics** a l'Estat espanyol: 100.048 kg de cotxes elèctrics, 11.885 kg de motos elèctriques i 4.199 kg de bicicletes elèctriques (Ecopilas, 2022).

Les previsions de creixement de demanda de bateries per vehicles elèctrics i la necessitat d'obtenir materials crítics per a les seves fabricacions ha despertat **l'interès sobre reciclatge de bateries en els fabricants**. Actualment els principals projectes de reciclatge de bateries estan lligats a gigafactories, per exemple ReVolt a Suècia i SungEel a Korea (Grijelmo et al., 2022).

Es preveu que l'any 2030 la demanda anual de bateries a Espanya s'aproximi als 75 GWh (Grijelmo et al., 2022). Tot i que per cobrir aquesta demanda es necessitarien entre 2-3 gigafàbriques en el territori espanyol, hi ha més de 5 governs regionals treballant per implantar aquest tipus de plantes en el seu territori (veure Figura 7).

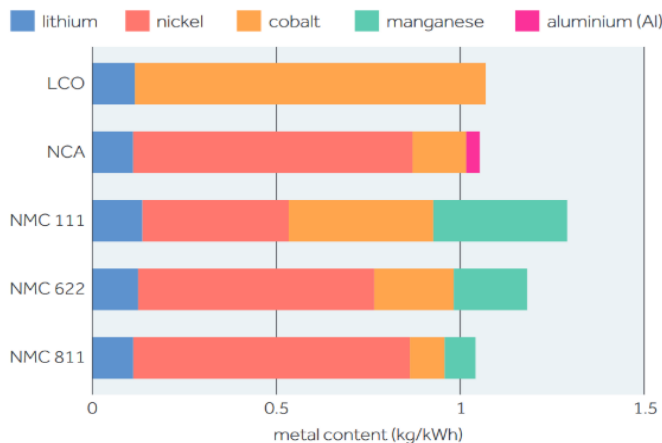
Figura 7: Plans de gigafàbriques a l'Estat espanyol



Font: Figura 20 de (Grijelmo et al., 2022)

Tot i que la intensitat material dels metalls continguts en les bateries d'ions de liti varia amb la tipologia (veure Figura 8), de mitjana, les bateries de liti de vehicles elèctric contenen: **1.163 g d'Alumini per kWh, 400 g de Níquel per kWh, 116 g de Cobalt per kWh i 73 g de Liti per kWh** (Drabik and Rizos, 2018).

Figura 8: Quantitat de liti, níquel, cobalt, manganès i alumini contingut en diferents tipus de bateries d'ions de liti



Font: Figura 2 de (Lallana et al., 2023). Notes: bateries d'òxid de liti-cobalt (LCO), níquel-cobalt-òxid d'alumini (NCA), níquel-manganès-òxid de cobalt (NMC). Les bateries NMC es classifiquen segons la química del càtode, amb diferents proporcions entre el manganès, cobalt i níquel: el càtode de les bateries NMC 111 conté un àtom de manganès i cobalt per cadascun de níquel, a les NMC 611 conté dos àtoms de manganès i cobalt per cada sis àtoms de níquel, i a les NMC 811 conté un àtom de manganès per cada vuit de níquel (Lallana et al., 2023)

Hi ha dos tipus principals de reciclatge de bateries, un es basa en la pirometal·lúrgia i l'altre en la hidrometal·lúrgia (Grijelmo et al., 2022). Amb el dos mètodes

es poden recuperar el liti, el níquel, el cobalt i el coure, però amb **eficiències de recuperació** diferents.

La combinació de processos **pirometal·lúrgics i hidrometal·lúrgics**, aconsegueix una taxa de reciclatge del 57% per al liti, 94% per al cobalt i 95% per al níquel (Drabik and Rizos, 2018).

Un procés purament **hidrometal·lúrgic** pot aconseguir una taxa de reciclatge del 94% per al liti, gairebé el 100% per al cobalt i del 97% per al níquel (Drabik and Rizos, 2018).

Actualment, hi ha **dues iniciatives de reciclatge de bateries de liti a Espanya**, cadascuna amb una capacitat de reciclatge de 10 - 15 kt (Grijelmo et al., 2022):

BeePlanet Factory, empresa amb seu a **Navarra** fabrica sistemes d'emmagatzematge d'energia **reutilitzant bateries d'ions de liti de vehicles elèctrics** per instal·lacions fotovoltaïques i eòliques aïllades de la xarxa elèctrica (BeePlanet, 2023) i preveu construir una instal·lació de reciclatge amb tecnologia vinculada a un fabricant asiàtic de cèl·lules (Grijelmo et al., 2022).

Projecte d'Endesa i Urbaser per construir una **planta de reciclatge a Cubillos del Sil (Lleó)**, en col·laboració amb el fabricant de cèl·lules suec Northvolt (Grijelmo et al., 2022).

També hi ha diferents projectes europeus treballant amb la recuperació de materials crítics de les bateries de VE amb socis i pilots a l'Estat espanyol: [BATRAW](#), [BATERURGIA](#) i [FREE4LIB](#).

6 POTENCIAL DE LA MINERIA URBANA ALS EQUIPS MUNICIPALS DE BARCELONA

El potencial de la mineria urbana a la ciutat de Barcelona en relació amb les polítiques de transició energètica analitzades (plaques solars i bateries de vehicles elèctrics municipals) s'ha estimat amb dades bibliogràfiques. La interpretació d'aquests resultats s'ha de fer amb cautela ja que la realitat de la gestió d'aquests equips quan arribi el seu final de vida útil a Catalunya és encara incerta.

6.1 Instal·lacions fotovoltaïques

En base als inventaris municipals descrits a l'apartat 4.1, al 2025 hi hauran instal·lats uns 9.723 kW de panells solars municipals a Barcelona. A partir del mateix any s'espera que s'acabi la vida útil de les primeres instal·lacions municipals (instal·lades a l'any 2000), però segurament aquestes instal·lacions encara podran produir energia amb eficiències superiors al 90% de les originals i la seva vida es pugui allargar fins que tinguin una eficiència menor o reemplaçar-les per tecnologies noves més eficients i les velles mirar de reutilitzar-les en altres zones.

Per fer unes primeres aproximacions podem suposar que les tecnologies instal·lades són les més comunes, és a dir, les base de silici (c-Si) amb marc d'alumini i 60 cèl·lules amb potència de 270 Wp i un pes de 18,6 kg (IRENA, 2016). En els MW instal·lats hi haurà un potencial de mineria urbana que dependrà del tipus d'instal·lació i es podrà aprofitar en major o menor mesura en funció de les tecnologies disponibles en aquell moment. Suposant que tots els MW instal·lats es recolliran separatament i que les tecnologies instal·lades són les més comunes, **el material potencialment recuperable en aquests equips** agafant els valors màxims, mínims i mitjans de la Taula 6 **estarà entre 590 i 850 tones**.

Taula 6: Material potencialment recuperable a les plaques solars municipals instal·lades entre 2000 i 2025

	Tones/MW			Tones totals		
	Màxim	Mitjana	Mínim	Màxim	Mitjana	Mínim
Vidre	61,06	53,67	47,26	595,51	523,48	460,90
Polímers	6,41	1,60	0	62,52	15,63	0
Alumini	14,06	9,57	4,74	137,17	93,32	46,23
Silici	5,22	2,84	1,87	50,91	27,66	18,21
Coure	0,64	0,45	0,30	6,27	4,42	2,94
Plata	0,06	0,031	0,01	0,60	0,32	0,10
Altres materials	0,20	0,10	0,05	1,97	0,98	0,49
	87,66	68,27	60,64	854,93	665,80	591,38

Font: Elaboració pròpia

Cal tenir present que els residus associats als 9 MW de panells solars no es generaran tots a l'hora, sinó que la generació anual dependrà del ritme de desmantellament i segurament la corba de la generació de residus en el temps reproduïx la corba de la instal·lació de panells en el temps amb un decalatge d'uns 25-30 anys. És per això que **es preveu que la generació sigui variable en els anys amb pics a gestionar 30 anys més tard que els pics d'instal·lació**.

La qualitat i la puresa del material recuperat dependrà del tipus de reciclatge que s'apliqui. Si només s'aplica reciclatge mecànic com s'està fent actualment a la majoria de plantes, el Silici recuperat conté Alumini, Plata i altres materials de manera que només es pot vendre com a ferro-Si amb un contingut mínim de Silici del 75% per 0,45 \$/kg (Taula 4).

Cal remarcar, que les quantitats incloses a la Taula 6 representen les quantitats potencialment recuperables de 9 MW de panells solars, però **només un terç d'aquests panells ja estan instal·lats**, la resta formen part dels 6 MW que l'Ajuntament preveu instal·lar abans del 2025.

6.2 Bateria de cotxes elèctrics

En base a la informació donada en els apartats 4.2 i 5.2 d'aquest estudi sobre la flota de vehicles municipals de l'Ajuntament de Barcelona, les característiques de les bateries i la seva gestió de residus, i assumint una recollida del 100% de les bateries, s'estima que el **material potencialment recuperable de les bateries de la flota de vehicles elèctrics municipals estarà al voltant de 418 tones totals** (veure Taula 7).

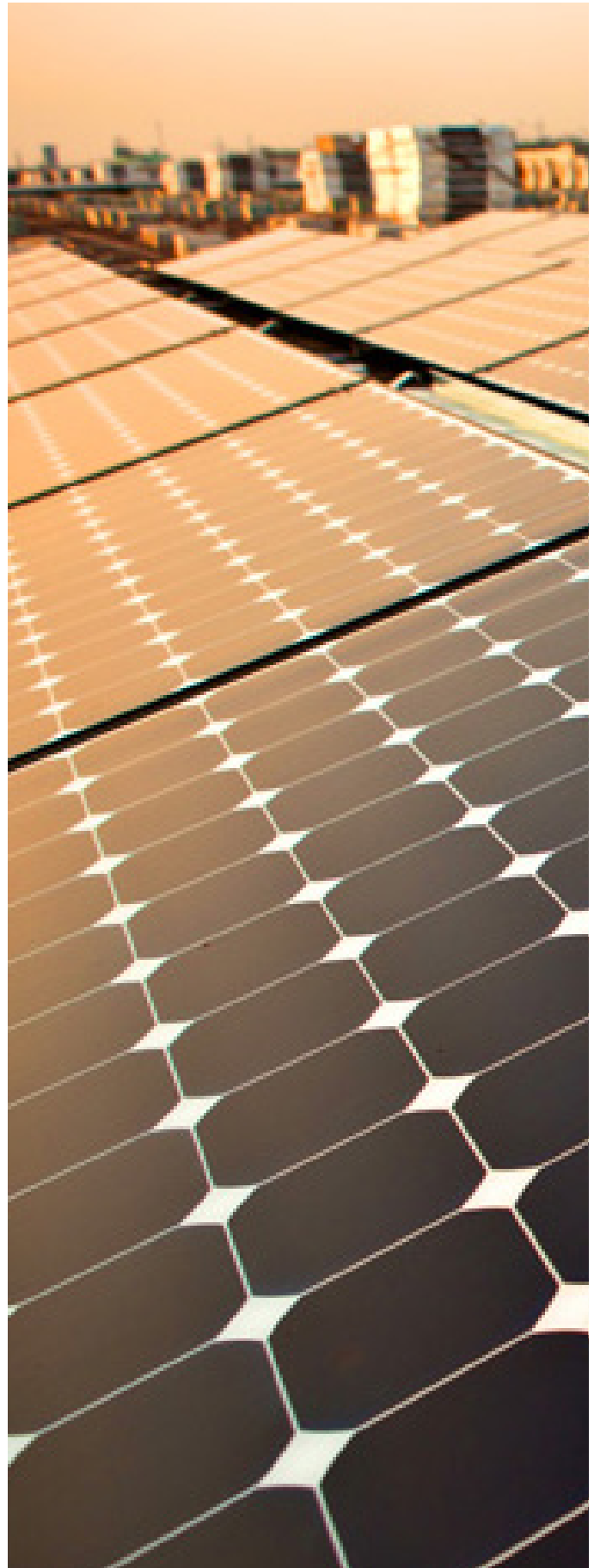
Taula 7: Material potencialment recuperable a les bateries de vehicles elèctrics de la flota municipal al 2030

	g/kWh		Kg/bateria		Tones totals	
	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim
Alumini	1139,74	1139,74	45,59	45,59	282,38	282,38
Cobalt	109,04	114,84	4,36	4,59	27,02	28,45
Liti	41,61	68,62	1,66	2,74	10,31	17,00
Níquel	380,00	388,00	15,20	15,52	94,15	96,13
	1670,39	1711,20	66,82	68,45	413,86	423,97

Font: Elaboració pròpia

El màxim representa un procés de reciclatge purament hidrometal·lúrgics i el mínim un procés combinat piro i hidrometal·lúrgics amb les eficiències de recuperació donades a (Drabik and Rizos, 2018).

Com en el cas dels panells solars, **el flux de residus de les bateries de liti dels vehicles elèctrics de la flota municipal serà variable en el temps**, però en aquest cas s'espera que el cicle sigui més ràpid que en cas fotovoltaic. Tot i que inicialment es preveu que la primera bateria estigui fora de servei després dels primers 8 anys d'ús i la segona bateria als 16 anys, aproximadament al final de vida útil del vehicle, pot ser que aquestes bateries tinguin una vida útil bastant més llarga que la prevista pels fabricants (La Vanguardia, 2023; Recurrent Auto, 2023).



7 BARRERES I OPORTUNITATS DE LA MINERIA URBANA

El potencial de mineria urbana en els equipaments municipals és petit en comparació al que hi ha en els equips de tot el territori, però la seva explotació és més senzilla i, tot i tenir barreres, podria comportar diferents tipus de beneficis.

7.1 Mitigació de canvi climàtic

Existeixen molts estudis públics d'Anàlisi de Cicle de Vida de **panells fotovoltaics**, però l'etapa de final de vida ha quedat exclosa de molts estudis (Latanussa et al., 2016) i els estudis existents no són suficientment complets. Per exemple.

Latanussa et al. (2016) va estimar que l'impacte de canvi climàtic associat al procés de reciclatge de 1.000 kg de panell solar de base de silici desenvolupat a escala de laboratori al projecte LIFE FRELP corresponia a 370 kg CO_{2eq}. Les contribucions principals d'aquest impacte són: el transport (29%), la incineració d'alguna de les parts dels panells (34%) i el tractament per a la recuperació de metalls (24%). Per saber si aquest reciclatge té un benefici ambiental caldria incloure els impactes de les produccions evitades amb la recuperació de materials que van ser excloses de l'estudi.

Segons Maani et al. (2020) els impactes ambientals agregats (no només de canvi climàtic) de reciclatge de panells c-Si produeixen més impactes ambientals que l'extracció de matèries verges equivalents i, per tant, el reciclatge de panells solars de c-Si analitzat en aquesta publicació (que només recicla vidre, alumini i silici) no resulta ambientalment sostenible.

Respecte a la reutilització de panells solars, en principi, preparar els mòduls fotovoltaics per a la seva reutilització té poques implicacions ambientals negatives (relacionades amb el consum de material i energia), però per estimar els impactes de la reutilització, cal primer determinar amb quina alternativa es vol comparar, és a dir es parteix d'un escenari base sense mòduls i es compara amb l'opció d'instal·lar mòduls reutilitzats? O es compara l'opció entre instal·lar mòduls nous i mòduls reutilitzats?

En primer cas, només es consideraran els beneficis ambientals d'una energia solar produïda amb uns panells solars reutilitzats i impactes de preparació per a la reutilització del mòdul i logística, però en aquest cas no es consideraria la producció evitada de mòduls nous. En el 2n cas, **no només cal considerar la producció evitada de mòduls, també cal considerar que els mòduls reutilitzats tenen una eficiència entre 4 i 5 vegades inferior als mòduls nous**. Per saber si i quants beneficis té la reutilització en aquest cas, caldria estudiar si els beneficis ambientals relacionats en la producció evitada de nous equips compensa els impactes ambientals de tenir una menor producció elèctrica utilitzant panells reutilitzats en comparació amb els nous. Segons (Müller et al., 2006), la recuperació de cel·les solar (l'òbvia de silici) per la seva reutilització en un nou panell mitjançant el procés de reciclatge "Deutsche Solar" d'un mòdul fotovoltaic estàndard, amb 72 cel·lules de dimensió 125 mm-125 mm, Tedlar com a làmina posterior i un marc d'alumini implica una reducció global de l'escalfament global de 59,2 kg CO_{2eq} per la producció evitada de cel·les noves, també en termes d'acidificació (en 0,4 kg SO_{2eq}) i d'esgotament dels recursos en 6,1*10⁻⁸ kg Sb_{eq}.

Sobre la mineria urbana de **bateries de vehicles elèctrics**, IVL (2017) va estimar que per cada kg de bateria de liti reciclada (de mitjana una bateria pesa uns 300 kg (Veolia, 2023)) comporta 1 kg de CO_{2eq} mitigat. La revisió de literatura feta en el mateix estudi estima que la petjada de carboni d'un kWh de bateria de liti està entre 150-200 kg CO_{2eq}. Utilitzant una capacitat mitjana de 40 kWh/bateria es pot estimar que en el millor dels casos (amb un procés de reciclatge purament hidrometal·lúrgics) **reciclar la bateria s'evita com a màxim el 5% de l'impacte de canvi climàtic de la bateria**. Segons el mateix estudi, si el reciclatge es fa amb pirometal·lúrgia, aquest **afegeix càrregues ambientals**.

Amb la literatura revisada (p.e. IVL, 2017; Latanussa et al., 2016; Maani et al., 2020; Müller et al., 2006; Tao et al., 2020) i l'estat dels processos de reciclatge de panells solars i bateries de vehicles elèctrics a l'Estat espanyol és difícil predir i estimar els beneficis ambientals del reciclatge tenint en compte no només els

emissions evitades en les extraccions de material als jaciments sinó també els impactes de la recuperació de materials secundàries amb tractaments químics. La qüestió principal és **quin grau de reciclatge comporta beneficis ambiental** en base a cada tecnologia i les logístiques associades. Els tractaments més avançats permeten extraure més quantitat i qualitat de metalls (com la plata) i doncs comporten beneficis associats a les extraccions evitades de matèries primes, però també impactes associats al consum de materials i energia en els tractaments i generació de residus químics.

7.2 Creació de llocs de treball

La mineria urbana d'aquests equips podria suposar la **creació 63 llocs de treball per cada 1.000 tones de panells solars (IRENA, 2016) i 15 llocs de treball per cada 1.000 tones de bateries de liti** (Drabik and Rizos, 2018). A més a més, també suposaria llocs de treball relacionats amb: desenvolupament tecnològic i formació de professionals per realitzar recollides i desmantellaments per poder recuperar el màxim del material dels equips.

A més a més, també hi ha una oportunitat de creació de llocs de treball en la preparació per a la reutilització.

7.3 Seguretat de matèries primeres

El reciclatge dels panells fotovoltaics i bateries de liti pot desbloquejar un estoc de matèries primeres i components valuosos que poden vendre's als mercats locals, augmentant així la seguretat de subministrament de matèries primeres per la indústria local. Mitjançant la recuperació d'aquests materials, especialment els metalls crítics, es pot reduir la dependència d'una cadena de subministrament fràgil i susceptible a conflictes externs. Així, es podria millorar la resiliència del territori davant una transició energètica (Torrubia et al., 2023).

Actualment, el reciclatge de panells solars i bateries de vehicles elèctrics **no són viables econòmicament** a l'Estat espanyol perquè: 1) hi ha poca quantitat de residus (Fundación ECOLEC, 2023; JRC, 2016) i 2) la venda de materials recuperats no cobreixen els costos del reciclatge (Drabik and Rizos, 2018; Tao et al., 2020). A més a més, la volatilitat dels preus dels materials fa que la viabilitat del reciclatge segueixi sent incerta.

L'encariment de les matèries primeres, el creixement de la demanda d'aquests equips i l'interès en la fabricació "Made in Europe" pot fer canviar aquestes estimacions. De moment, el que s'està veient als dos sectors és un **interès creixent dels propis fabricants en el reciclatge dels seus equips** per poder recuperar materials per a les seves pròpies produccions. Aquest és el cas d'una empresa de Xina que està fent proves pilot per reciclar els seus propis panells. Un cop tinguin el procés tecnològic completament desenvolupat, ficaran plantes de reciclatge en els països on es generen els residus i importaran el material recuperat per re-introduir-lo en la seva producció (Fundación ECOLEC, 2023).

Aquest interès creixent dels propis fabricants en la recuperació dels materials dels seus propis equips també pot ser motivada per la possible aprovació imminent de la regulació europea per garantir l'accés de la UE a un subministrament segur, diversificat, assequible i sostenible de matèries primeres crítiques¹. Tot i que la proposta de regulació està en procés d'esmenes i la votació final està prevista per setembre 2023, aquesta conté una sèrie de d'objectius quantitatius per al 2030 claus pel sector, com per exemple: 1) almenys el 10% del consum anual d'aquestes matèries ha de venir de la mateixa UE, 2) almenys un 40% de la transformació s'ha de produir dins de la UE, 3) almenys un 15% s'han d'obtenir del reciclatge i 4) no més d'un 65% de cada matèria primera estratègica, en qualsevol fase de la UE, pot procedir d'un sol proveïdor.

La reparació de panells també representa una oportunitat per crear un mercat secundari de panells usats (IRENA, 2016). A l'Estat espanyol ja hi ha un mercat de panell solars (Fundación ECOLEC, 2023; Grijelmo et al., 2022), però **la viabilitat econòmica de la reutilització de panells solars està compromesa** pel baix preu dels mòduls nous i la millora continua en l'eficiència dels panells. La viabilitat econòmica de la reutilització de bateries d'ions de liti és més clara i ja hi ha a l'Estat espanyol almenys una empresa a Navarra (BeePlanet, 2023) dedicada a la fabricació de sistemes d'emmagatzematge d'energia eòlica i fotovoltaica a partir de bateries de vehicles elèctrics fora d'ús.

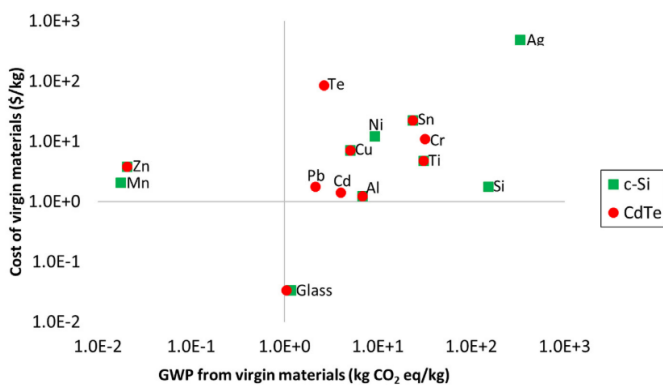
Per reduir la dependència d'aquestes matèries primeres cal fer canvis a nivell de fabricació. Segons IRENA, tenint en compte les tendències actuals en

¹ [Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations \(EU\) 168/2013, \(EU\) 2018/858, 2018/1724 and \(EU\) 2019/1020](#)

R+D i eficiència dels panells, les **aportacions de matèries primeres per a les tecnologies de c-Si i pel·lícula fina es podrien reduir** significativament per l'any 2030. Això disminuiria l'ús de materials perillosos i rars en el procés de producció i, en conseqüència, milloraria la reciclabilitat i el potencial de recuperació de recursos dels panells al final de la seva vida útil (IRENA, 2016).

Alguns investigadors estan treballant per **reduir o fins i tot substituir la plata** en nous panells solars (Crownhart, 2021), pel seu cost ambiental i econòmic (veure Figura 9), però també s'està veient que les tecnologies més modernes utilitzen materials més crítics com el gal·li per incrementar l'eficiència dels mòduls (Fundación ECOLEC, 2023).

Figura 9: Cost de matèries primeres i impacte de canvi climàtic de les matèries utilitzades en panells solars de silici i tel·luri de cadmi



Font: Figura 6 de (Maani et al., 2020)

7.4 Naturalesa del residu a gestionar

Tot i que es preveuen grans quantitats de residus de panells solars i bateries a gestionar, es preveu que **el flux anual sigui variable** amb possibles anys d'escassetat. Per exemple, en els anys en els que hi havia *l'impost del sol* es van instal·lar molt poques plaques solars per l'autoconsum, i aquesta vall en la corba d'instal·lacions també s'espera en la corba de generació de residus (Fundación ECOLEC, 2023; Grijelmo et al., 2022).

L'**alta variabilitat de panells fotovoltaics i bateries de vehicles elèctrics al mercat** dificulta la gestió del residus associats (IRENA, 2016). Aquesta heterogeneïtat de composició aplica a gran parts dels AEE i dificulta la recuperació de metalls crítics (Torrubia et al., 2023). L'estandardització dels equips facilitaria el seu reciclatge (Tao et al., 2020) i milloraria la viabilitat del procés.

Fer una bona **previsió dels fluxos de residus de panells solars** a gestionar cada any és important per dissenyar una xarxa de reciclatge amb capacitat que es pugui adaptar i créixer en funció de les necessitats en lloc de sobredimensionar-la des de l'inici. Per exemple, Solar Recycling té capacitat per tractar 12.000 t anuals de residus de panells solars i doncs podria tractar en 3 anys les 30.000 tones previstes per Recyclia pel 2030. Però hi ha bastantes plantes arreu del territori espanyol amb autoritzacions provisionals i en projecte (Fundación ECOLEC, 2023) i potser no hi haurà residu per a totes. Per optimitzar el reciclatge de les plaques solars caldria dissenyar la xarxa de reciclatge, **de forma coordinada en el territori**, tenint en compte la previsió anual de generació de residus, la **logística associada a la recollida** i les **economies d'escala** necessàries per poder fer un reciclatge d'alta qualitat.

8 CONCLUSIONS

La mineria urbana dels panells solars i bateries de vehicles elèctrics començarà a ser una realitat a Catalunya molt aviat. Aquesta mineria pot ser més o menys eficient i el rol de les administracions i els fabricants d'aquests productes és clau per determinar aquesta eficiència.

Primer, cal que les **empreses fabricants es responsabilitzin de la recuperació dels materials** que necessiten elles mateixes en les seves produccions. Tot i que els fabricants podrien fer-ho de forma voluntària, si no ho fan, les autoritats competents podrien motivar-les amb diferents mesures com per exemple: l'obligació de fer productes reciclables i imposos a l'ús de matèries primeres verges. Aquest responsabilitat és bàsica per complir el principi de qui contamina paga, però també és important remarcar el fet que els productors són els que coneixen més els seus productes i podran (co-)desenvolupar mètodes de reciclatge més fàcilment.

Per poder recuperar el màxim de materials d'aquests equips és important tenir en compte les **economies d'escala en les plantes de recuperació de matèries primes crítiques**. Per la recuperació d'aquests materials es necessita fer grans inversions que només seran rendibles amb un flux important de residus. Tanmateix, les primeres etapes del reciclatge es podrien fer de forma descentralitzada per reduir els impactes de la logística. També per reduir l'impacte ambiental i el cost associat a la logística, caldria que les plantes de reciclatge estiguessin properes a plantes de fabricació que puguin utilitzar el material recuperat. D'aquesta manera les plantes de reciclatge també podrien tractar residus pre-consum i així no dependre tant de les fluctuacions de la generació de residus post-consum. A més a més, com que el reciclatge s'haurà d'adaptar a la variabilitat (en el temps i en el tipus) de residus (veure Carrara et al., 2020), cal que la **infraestructura de les plantes de recuperació de materials sigui modulable i adaptable** a la quantitat i tipus de residus a tractar anualment.

Tot i que l'Ajuntament de Barcelona no té competències per establir obligacions als fabricants ni tampoc capacitat de finançar projectes de reciclatge, sí que pot actuar com a consumidor. Primer, caldria que l'Ajuntament faci un bon ús dels seus equips,

fent un bon manteniment i substitució de components, per tal de **prolongar la vida útil d'aquests**. Amb les seves compres, l'Ajuntament pot donar suport als fabricants que utilitzin bones pràctiques i fer el mercat d'energies renovables més reciclable. L'ajuntament podria també incloure **criteris de reparabilitat i reciclabilitat en els plec de l'Ajuntament**.

Aviat l'Ajuntament hauria de fer una **diagnosi dels equips que té per optimitzar la gestió dels residus tenint en compte criteris ambientals**. Per exemple, caldria fer Anàlisis de Cicle de Vida per estimar quan té sentit renovar o retirar cada instal·lació solar i què fer amb les que quedin fora de servei, tenint en compte no només les diferències de potència entre les instal·lacions instal·lades i les modernes, sinó també els impactes associats a la producció de nous mòduls.

A més a més, caldria que l'Ajuntament promogués la **reutilització de les bateries elèctriques** dels vehicles elèctrics municipals que arribin al final de vida per altres aplicacions menys exigents (com, per exemple, fa l'empresa BeePlanet a Navarra). L'Ajuntament també podria comprar bateries de segona vida per instal·lacions municipals amb necessitats d'emmagatzemar energia solar.

Encara que el rol de l'Ajuntament en la mineria urbana dels equips estudiats està limitat per la manca de competències legals, sí que podria utilitzar la seva **capacitat de lideratge i de traçar camí**, que l'Ajuntament de Barcelona ja ha mostrat en altres àmbits, per influir positivament en les polítiques d'altres ciutats.

Una possible mesura podria ser implementar una de les recomanacions d'Ecologistas en Acción sobre la **creació d'una empresa pública que impulsi la indústria de la recuperació i el reciclatge de minerals** (Lallana-Santos and Evans-Pim, 2022). Com que la rendibilitat econòmica és el major obstacle pel reciclatge de minerals crítics per part de les empreses privades, es podrien portar a terme iniciatives públiques que avancin en la creació d'aquesta indústria.

A més a més, l'Ajuntament podria reduir la seva flota de vehicles municipals fent ús de **vehicles elèctrics**

compartits, com la iniciativa Som Mobilitat, o fins i tot compartir alguns dels seus vehicles municipals amb la ciutadania (com fa l'Ajuntament de Vic des del 2020 (Ajuntament de Vic, 2020)). Amb aquest tipus de col·laboració públic-cooperativa es reduiria la demanda de materials crítics associada a la compra de vehicles elèctrics per usos particulars que sovint estan infrautilitzats.



REFERÈNCIES

Agència d'Energia de Barcelona, 2023. Mapa de generació d'energia en edificis municipals | Energia Barcelona | Ajuntament de Barcelona. <https://www.energia.barcelona/ca/mapa-de-generacio-denergia-en-edificis-municipals> (accessed 4.4.23).

Ajuntament de Barcelona, 2023. Estratègia per a la Mobilitat Elèctrica 2018-2024 | Urbanisme, Transició Ecològica, Serveis Urbans i Habitatge. <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/que-fem-i-per-que/mobilitat-sostenible/estrategia-mobilitat-electrica> (accessed 7.14.23).

Ajuntament de Barcelona, 2021. PLA D'ACCIÓ PER L'EMERGÈNCIA CLIMÀTICA 2030.

Ajuntament de Barcelona, 2018. Pla Clima 2018-2030. Pla Clima 162.

Ajuntament de Vic, 2020. L'Ajuntament de Vic incorpora tres cotxes elèctrics de Som Mobilitat a la flota municipal. <https://www.vic.cat/serveis/territori/mobilitat/noticies/12019ajuntament-de-vic-incorpora-tres-cotxes-electrics-de-som-mobilitat-a-la-flota-municipal> (accessed 7.14.23).

BeePlanet, 2023. BeePlanet: almacenamiento de energía con baterías de 2a vida. <https://beepplanetfactory.com/> (accessed 7.14.23).

Carrara, S., Alves-Dias, P., Plazzotta, B., Pavel, C., 2020. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system - Publications Office of the EU.

Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, Á., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington, D. M., Christou, M., 2023. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU: A foresight study. <https://doi.org/10.2760/334074>

CERFO, 2023. CERFO - Reciclaje de Placas Fotovoltáicas <http://cerfo.net/> (accessed 7.14.23).

Circusol, 2023. Second life PV modules. <https://www.circusol.eu/en/topics/second-life-pv-modules> (accessed 5.18.23).

Cossu, R., Williams, I.D., 2015. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. Waste Manag. 45, 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>

Crownhart, C., 2021. Solar panels are a pain to recycle. These companies are trying to fix that. MIT Technol. Rev.

Drabik, E., Rizos, V., 2018. Prospects for electric vehicle batteries in a circular economy, CEPS Research Report.

ECOLEC, 2021. Ecolec organiza el debate «El ciclo de la vida los paneles solares fotovoltaicos: del alba al ocaso» junto a El Español.

Ecopilas, 2022. Memoria Anual Ecopilas 2022 1-23.

EEA, 2016. Electric Vehicles in Europe - 2016 - Approaching adolescence, Amsterdam Roundtables Foundation and McKinsey & Company. <https://doi.org/10.2800/100230>

EIT, 2023. Rosi, the French start-up supported by EIT InnoEnergy, raises EUR 7.4 million. <https://eit.europa.eu/news-events/news/roshi-french-start-supported-eit-innoenergy-raises-eur-74-million> (accessed 7.14.23).

Endolla Barcelona, 2023. Ajuda i Subvenció PLA MOVES III per comprar una moto elèctrica | Endolla Barcelona. <https://endolla.barcelona/ca/noticies/espai-eco/ajuda-pla-moves-iii-comprar-una-moto-electrica> (accessed 7.14.23).

EnergiGUNE, 2021. Spain joins the European trend of gigafactories to manufacture electric vehicle batteries. <https://cicenergigune.com/en/blog/spain-europe-gigafactories-manufacture-electric-vehicle-batteries> (accessed 5.26.23).

European Commission, 2022. COM(2022) 221 final. EU Solar Energy Strategy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN>

Flash Battery, 2023. The new European Battery Regulation. <https://www.flashbattery.tech/en/new-european-battery-regulation/> (accessed 5.26.23).

Fraunhofer ISI, 2020. The promise and limits of Urban Mining. Fraunhofer-Institut Für Syst. 40.

Fundación ECOLEC, 2023. Comunicació personal amb ECOLEC al Maig 2023.

Graulich, K., Bulach, W., Betz, J., Dolega, P., Hermann, C., Bilsen, V., Bley, F., Watkins, E., Stainforth, T., 2021. Emerging waste streams- Challenges and Opportunities. Service under Framework contract EEA/HSR/20/001-3 for the provision of expert assistance to support the European Environment Agency's activities on circular economy and industrial transformation.

Grijelmo, T., Molina, L., Sanz, J., 2022. Wind , PV and batteries recycling in Europe: an opportunity for the recovery of critical raw materials.

IEA, 2021. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Role Crit. Miner. Clean Energy Transitions. <https://doi.org/10.1787/f262b91c-en>

IPCC, 2023. Technical Summary. IPCC Sixth Assessment Report. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

IRENA, 2016. End-Of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. International Renewable Energy Agency and the International Energy Agency Photovoltaic Power Systems.

IVL, 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries A study with focus on Current Technology and batteries for high-duty vehicles., IVL Swedish Environmental Research Institute.

JRC, 2017. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe, Science for Policy report by the Joint Research Centre (JRC). <https://doi.org/10.2760/6060>

JRC, 2016. Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels. Life Cycle Assessment and Implications for Critical Raw Materials and Ecodesign, EUR 27797 Luxembourg (Luxembourg) Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2788/786252>

La Vanguardia, 2023. La vida útil de la batería de un coche eléctrico dura mucho más de lo que se cree. <https://www.lavanguardia.com/motor/vehiculos/coches/20230401/8868643/vida-util-bateria-coche-electrico-dura-mas-cree-pmv.html> (accessed 7.4.23).

La Vanguardia, 2022. Expertos urgen la apertura de más infraestructuras para el reciclaje de RAEE. <https://www.lavanguardia.com/vida/20220810/8459030/expertos-urgen-apertura-mas-infraestructuras-reciclaje-raee.html> (accessed 7.14.23).

Lallana-Santos, M., Evans-Pim, J., 2022. Informe Reciclaje de Metales. La alternativa a la minería 1-23.

Lallana, M., Torrubia, J., Valero, A., 2023. Minerales para la transición energética y digital en España. Parte 1: Estado del arte, revisión de políticas públicas y alternativas.

Latunussa, C.E.L., Ardente, F., Blengini, G.A., Mancini, L., 2016. Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 156, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.020>

Maani, T., Celik, I., Heben, M.J., Ellingson, R.J., Apul, D., 2020. Environmental impacts of recycling crystalline silicon (c-Si) and cadmium telluride (CDTE) solar panels. *Sci. Total Environ.* 735, 138827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138827>

MITERD, 2023. Resolución de la dirección general de calidad y evaluación ambiental por la que se publican los objetivos mínimos estatales y autonómicos de recogida separada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) para el año 2023.

Müller, A., Wambach, K., Alsema, E., 2006. Life cycle analysis of solar module recycling process. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 895, 89-94. <https://doi.org/10.1557/proc-0895-g03-07>

PV CYCLE, 2021. Study of re-used PV modules. <https://pvcycle.org/2021/07/12/study-of-re-used-pv-modules/> (accessed 5.18.23).

Rad, I., 2020. WIREC - WEEE International Recycling "A Sustainable Company."

Recurrent Auto, 2023. Updated: Electric Car Battery Replacement Costs in 2023. <https://www.recurrentauto.com/research/costs-ev-battery-replacement> (accessed 7.4.23).

Recyclia, 2018. Recyclia recuperó 94 toneladas de vidrio y 15 de metales en 2017, tras retirar y reciclar 125 t. De paneles fotovoltaicos.

Recyclia, 2017. El reciclaje de paneles fotovoltaicos permite recuperar el 88% de sus materiales.

ROSI, 2023. Towards a sustainable photovoltaic industry. <https://www.rosi-solar.com/towards-a-sustainable-photovoltaic-industry/> (accessed 7.14.23).

Sander, K., Schilling, S., Reinschmidt, J., Wambach, K., Schlenker, S., Müller, A., Springer, J., Fouquet, D., Jelitte, A., Stryi-Hipp, G., Chrometzka, T., 2007. Study on the Development of a Take Back and Recovery System for Photovoltaic Products Funded By Bmu. Components 1-194.

Solar Recycling, 2023. Solar Recycling Website. <https://solarrecycling.es/> (accessed 7.14.23).

Tao, M., Fthenakis, V., Ebin, B., Steenari, B.M., Butler, E., Sinha, P., Corkish, R., Wambach, K., Simon, E.S., 2020. Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 28, 1077-1088. <https://doi.org/10.1002/pip.3316>

Torrubia, J., Valero, Alicia, Valero, Antonio, Lejuez, A., 2023. Challenges and Opportunities for the Recovery of Critical Raw Materials from Electronic Waste: The Spanish Perspective. *Sustain.* 15. <https://doi.org/10.3390/su15021393>

Tsanakas, J.A., van der Heide, A., Radavičius, T., Denafas, J., Lemaire, E., Wang, K., Poortmans, J., Voroshazi, E., 2020. Towards a circular supply chain for PV modules: Review of today's challenges in PV recycling, refurbishment and re-certification. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 28, 454-464. <https://doi.org/10.1002/pip.3193>

Veolia, 2023. Electric car battery recycling. <https://www.veolia.com/en/pollution/hazardous-waste/recycling-electric-car-batteries> (accessed 7.14.23).

Wade, A., Sinha, P., Drozdak, K., Brutsch, E., 2017. Beyond Waste-the Fate of End-of-Life Photovoltaic Panels From Large Scale Pv Installations in the Eu the Socio-Economic Benefits of High Value Recycling Compared To Re-Use 1507-1514.

Fundació ENT

C/ Josep Llanza, 1-7, 2n 3a
08800 Vilanova i la Geltrú
+34 93 893 51 04

info@ent.cat | www.ent.cat

 @ENTmediambient

 ENTmediambient

 ENT Environment & Management

 ENT environment & management



INFORME

JULIOL
2023

**ESTUDI SOBRE LA MINERIA URBANA
A BARCELONA I LA MITIGACIÓ DEL
CANVI CLIMÀTIC ASSOCIADA**