



Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2022)

Febrer 2024

Preparat per:

inèdit

Per a:



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Agència de
Residus de
Catalunya

Crèdits del treball:

Treball desenvolupat per **inèdit**, estudi d'ecoinnovació estratègica que treballa per a la transició cap a un futur intel·ligent, pròsper i sostenible i que s'alinea amb les organitzacions del demà acompanyant-les a gestionar el canvi que planteja l'economia circular, i per l'**Agència de Residus de Catalunya**.

inèdit



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural**



**Agència de
Residus de
Catalunya**

I amb la col·laboració de l'**Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC)**.



**Oficina Catalana
del Canvi Climàtic**

Contacte:

Telèfon: 93.268.3476

info@ineditnova.com

www.ineditnova.com

Índex del document

Índex del document	1
Índex de taules	2
Índex de figures	3
Abreviatures	4
Resum executiu	5
1. INTRODUCCIÓ: RESIDUS I CANVI CLIMÀTIC	11
1.1. Objectiu del treball.....	11
2. METODOLOGIA DE CàLCUL	12
2.1. Eina de càlcul: CO ₂ ZW®.....	12
2.2. Incorporació de dades de Catalunya a la CO ₂ ZW®.....	23
3. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA	38
3.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2022).....	38
4. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	49
5. REFERÈNCIES	52

Índex de taules

Taula 1. Factors de caracterització del metà i òxid nitrós segons els informes d'avaluació de l'IPCC.....	14
Taula 2. Generació de residus per habitant a Catalunya	24
Taula 3. Composició dels residus a Catalunya (any 2022).....	25
Taula 4. Composició de la bossa tipus a Catalunya considerada en anys previs	26
Taula 5. Recollida selectiva a Catalunya (t)	28
Taula 6. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya.....	29
Taula 7. Impropis a la FORM a Catalunya.....	30
Taula 8. Vies de tractament de la fracció Resta a Catalunya.	32
Taula 9. Vies de tractament de la FORM a Catalunya.	33
Taula 10. Característiques de les plantes de TMB de la resta a Catalunya.....	34
Taula 11. Destí del rebuig de TMB a Catalunya.....	35
Taula 12. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya.	36
Taula 13. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya.....	37
Taula 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció Resta i rebuig a Catalunya (2022).	44
Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2022).....	46
Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2022)	47

Índex de figures

Figura 1. Logo de l'eina CO ₂ ZW (marca comunitària registrada).....	12
Figura 2. Balanç global de la gestió dels residus municipals 2022 a Catalunya. Font: ARC	17
Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.....	19
Figura 4. Índex de Rottegrade de les caracteritzacions de bioestabilitzat (un índex d'1 indica un producte immadur, mentre que un índex a partir de 4 indica maduresa o estabilitat).	20
Figura 5. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta.....	21
Figura 6. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2022).....	38
Figura 7. Petjada de carboni de Catalunya (2022): impactes directes, indirectes i evitats	39
Figura 8. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2022) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.	40
Figura 9. Origen de les emissions directes, indirectes i evitades del tractament de residus municipals de Catalunya (2022).	41
Figura 10. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva (any 2022). 41	
Figura 11. Visió global dels resultats de petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2022).	42
Figura 12. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció Resta a Catalunya (2022). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu	44
Figura 13. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2022). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu.....	45
Figura 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2022). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu	46
Figura 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2022). Unitats: kg CO ₂ eq/tona residu.....	47
Figura 16. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2022)	48

Abreviatures

ACV	Anàlisi de Cicle de Vida
ARC	Agència de Residus de Catalunya
CDR	Combustible Derivat de Residus
CH ₄	Metà
CO ₂	Diòxid de carboni
CO ₂ eq	Equivalent de diòxid de carboni
DA	Digestió anaeròbia
DC	Dipòsit Controlat
FIRM	Fracció Inorgànica dels Residus Municipals
FORM	Fracció Orgànica dels Residus Municipals
FV	Fracció Vegetal
GEH	Gasos amb Efecte d'Hivernacle
IPCC	Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic
MOR	Matèria orgànica recuperada
N ₂ O	Òxid de dinitrogen
PVE	Planta de Valorització Energètica
TMB	Tractament mecànic-biològic
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona

Resum executiu

La gestió i tractament dels residus municipals contribueix a l'**escalfament global** degut a les emissions directes i indirectes de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH). Les emissions generades directes tenen lloc a les plantes de tractament de residus, com serien per exemple les emissions de combustió de materials plàstics en els processos d'incineració, o de descomposició de la matèria orgànica en processos biològics, o la combustió de combustibles. Les emissions indirectes fan referència a aquelles emissions que tenen lloc fora de les plantes de tractament, com la producció d'electricitat. Per una altra banda, la valorització material i energètica dels residus permet evitar emissions, substituint diferents fonts energètiques i matèries primeres. La diferència entre les emissions generades i les evitades seria el balanç de la **Petjada de Carboni** i es pot expressar en quilograms o tones de diòxid de carboni (CO₂) equivalents.

L'Agència de Residus de Catalunya (ARC) té l'objectiu de quantificar les emissions generades, evitades i la Petjada de Carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya, com a **instrument útil per a la planificació i la presa de decisions encaminades a la mitigació del canvi climàtic**.

Per al càlcul de la petjada de carboni dels residus es fa ús de l'eina de càlcul CO₂ZW[®], desenvolupada pel grup de recerca en Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra, ICTA-IRTA-inèdit) i adaptada al context català de la gestió de residus. Aquesta eina permet comptabilitzar les emissions associades a la gestió dels residus municipals, amb una visió d'anàlisi de cicle de vida (ACV) (veure Figura A). Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una **visió global de tot el sistema de gestió de residus** i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'ARC. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, els quals desagreguen les emissions segons els sectors que les generen (transport, energia, instal·lacions de combustió, residus, etc.), només consideren les emissions directes de cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant les dècades anteriors.

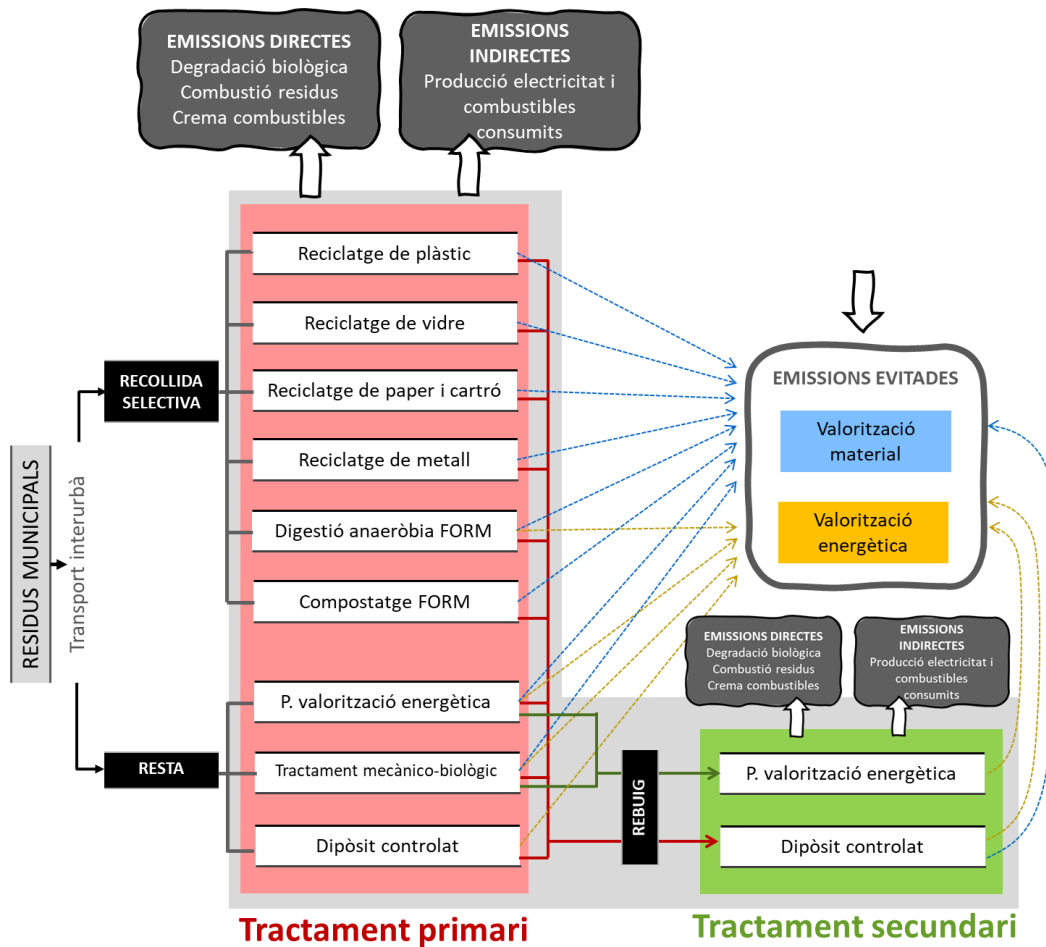


Figura A. Abast de l'estudi.

Petjada de carboni del conjunt de Catalunya (2022)

El present informe presenta els **resultats de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya per l'any 2022**. La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2022 és de **1.003.500 t CO₂eq**, el qual representa una emissió de **129 kg CO₂eq/habitant** i de **261 kg CO₂eq/tona** de residu generat (Figura B).

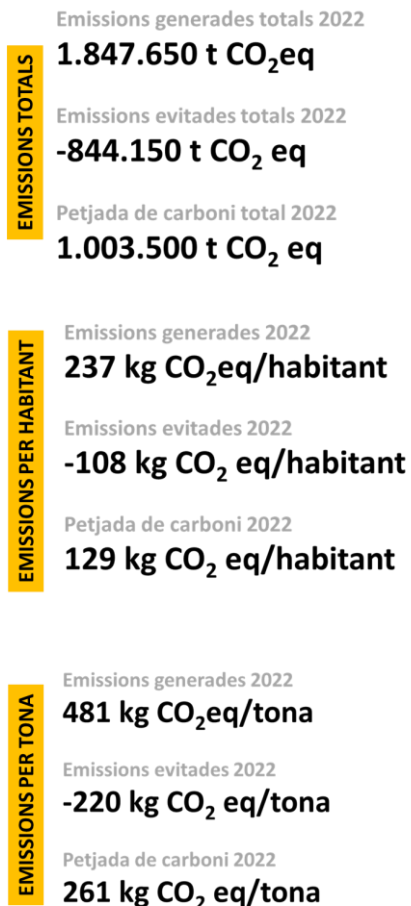


Figura B. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2022)

Com en anys anteriors, la principal font d'emissions són els **dipòsits controlats**, els quals emeten grans quantitats de metà tot i la captació de biogàs. Els residus que entren a dipòsit controlat (ja sigui com a fracció Resta o com a rebuig) contribueixen a un 62% dels impactes generats pel tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc es troben les emissions de les PVE, amb un 29% de les emissions totals generades. Per altra banda, la recollida selectiva sobretot d'envasos lleugers, però també de paper i cartró, tèxtil i vidre contribueix a evitar una part important de la petjada de carboni. Tota la **valorització material i energètica** dels residus (gràcies a la recollida selectiva, però també als TMB i PVE) permet contrarestar aproximadament un 46% de les emissions generades.

Petjada de carboni per fraccions de residus i vies de gestió

Si s'analitzen els resultats per una tona de residu, per cadascuna de les fraccions de residus i tenint en compte tant els tractaments primaris com els secundaris, la via de gestió amb més impacte per **la resta i el rebuig** seria el dipòsit controlat, ja que les emissions generades en aquestes instal·lacions són considerablement superiors, mentre que les emissions evitades només són significatives per TMB i PVE (Figures C i D).

Les emissions generades per **la fracció orgànica dels residus sòlids municipals (FORM)** en dipòsit controlat serien entre quatre i sis vegades superiors a les que es generen en tractaments de compostatge o digestió anaeròbia, respectivament. La via de gestió amb una petjada de carboni més petita per la FORM és la digestió anaeròbia, gràcies a unes menors emissions per descomposició i a la recuperació energètica en el procés de digestió (Figura E).

Finalment, per **la resta de fraccions de recollida selectiva** el reciclatge és la via de tractament preferible. Cal destacar les significants emissions generades pel paper i cartró en dipòsit controlat, i dels plàstics en les PVE (Figura F).

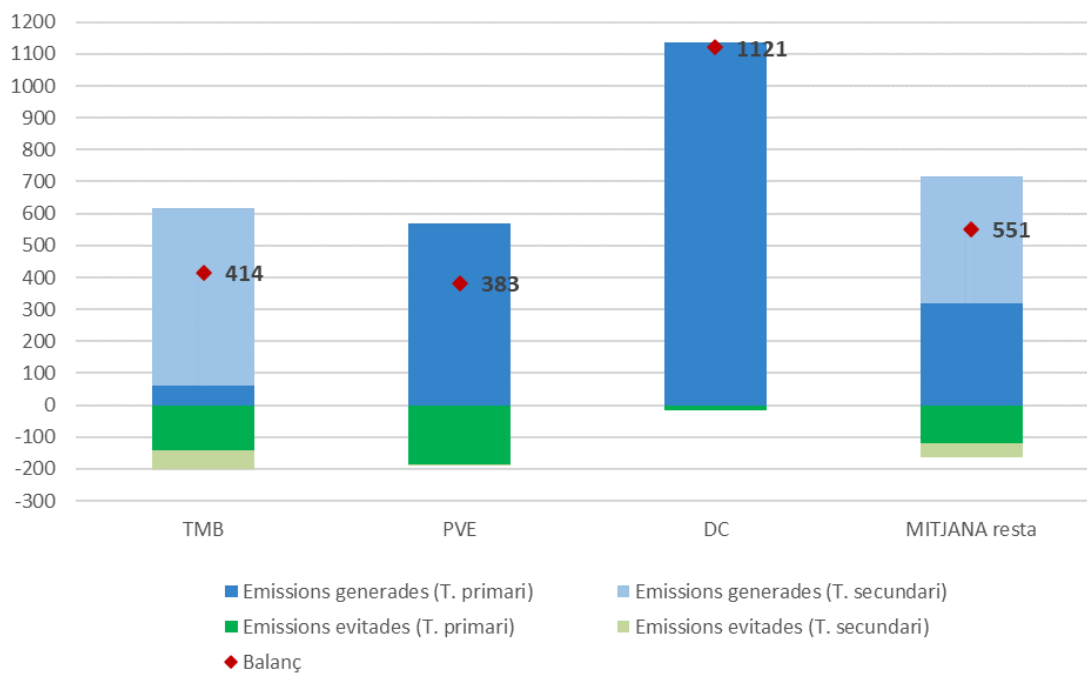


Figura C. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció Resta a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

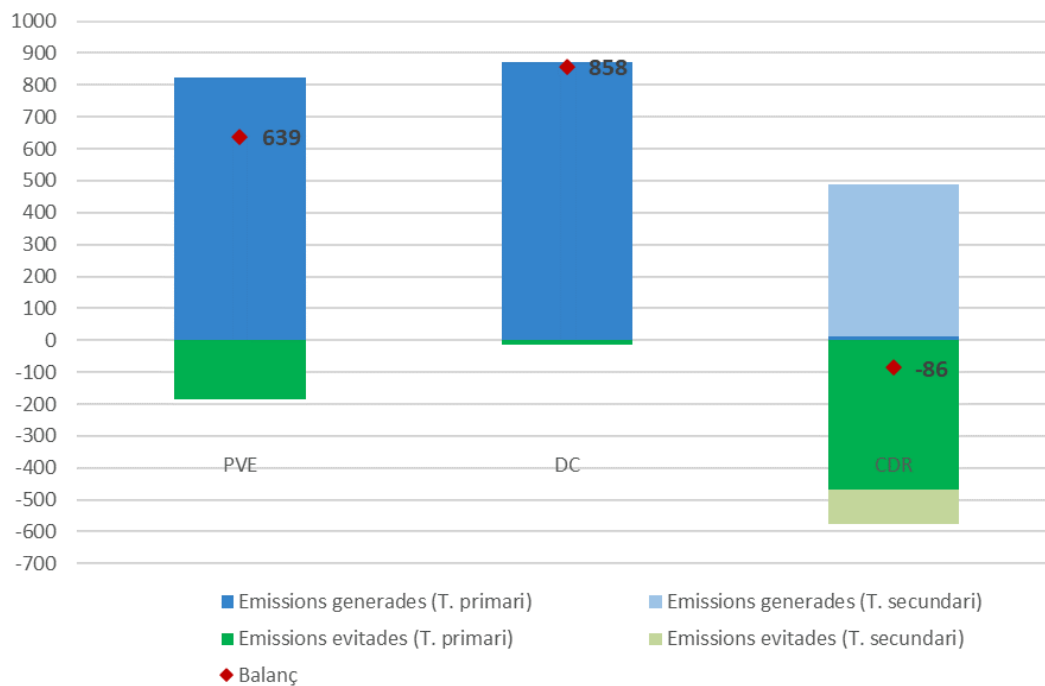


Figura D. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

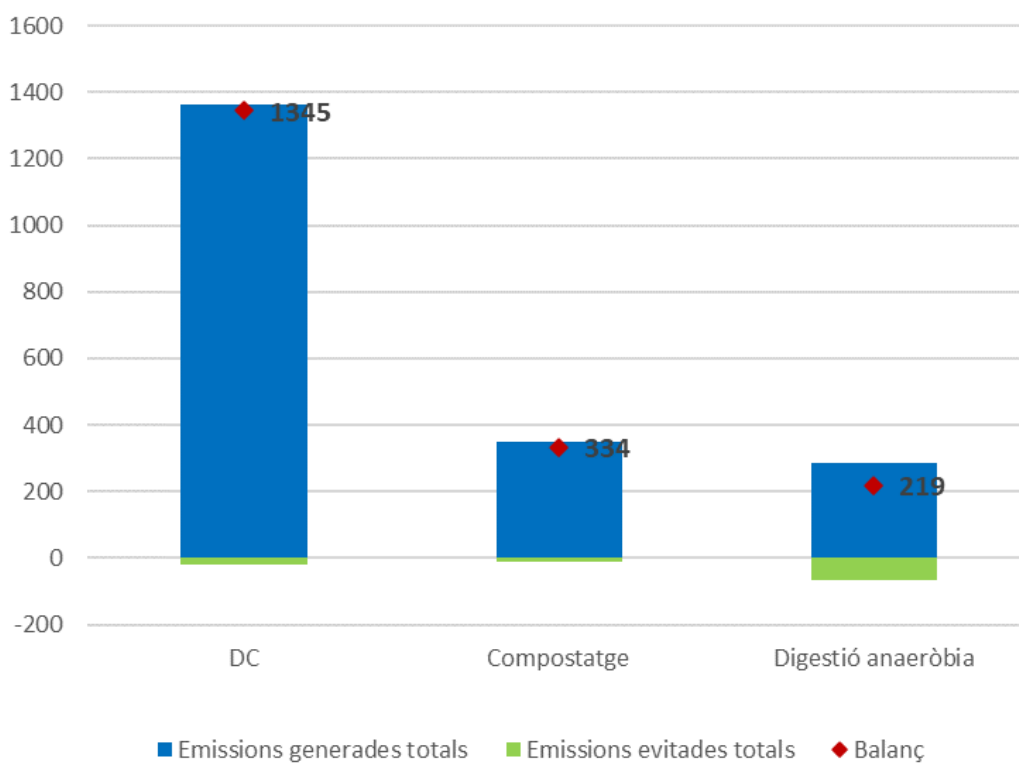


Figura E. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

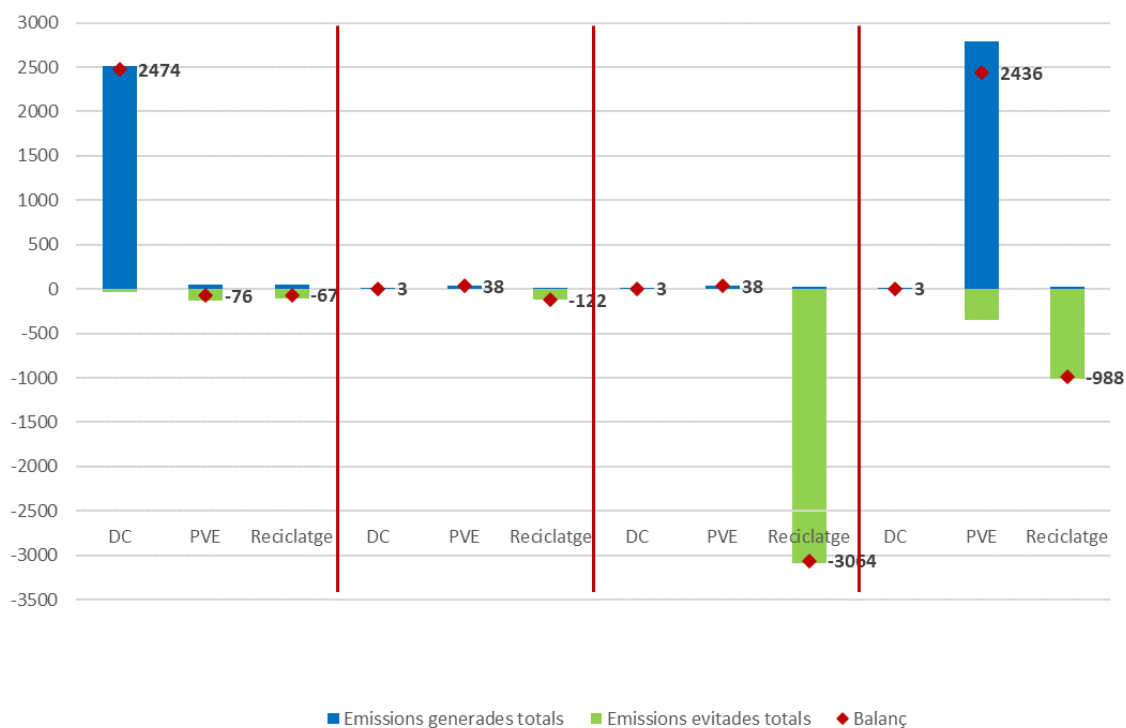


Figura F. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

En tots els casos, cal tenir en compte que en aquest estudi s'avalua la petjada de carboni, és a dir l'efecte dels tractaments en canvi climàtic. **Altres categories d'impacte ambiental** (com la toxicitat, l'acidificació, l'esgotament dels recursos, etc.) podrien mostrar una altra escala de preferència.

Recomanacions

Per tal de reduir la petjada de carboni, **els municipis i altres ens responsables de la gestió dels residus municipals** poden implementar mesures per la prevenció en la generació de residus, per augmentar les ràtios de recollida selectiva i la reducció d'impropis, i per reduir la quantitat de fracció Resta que va directament a dipòsit controlat.

A nivell de les **plantes de TMB** cal incrementar l'estabilització de la matèria orgànica recuperada a la sortida, i segregar el rebuig en funció del contingut en biodegradables (aquest flux en dipòsit controlat genera les màximes emissions) i del contingut de plàstic (aquest flux en PVE genera les màximes emissions).

En els dipòsits controlats, és clau limitar el contingut de biodegradables d'entrada i millorar la captació de biogàs. Mentre que a les PVE, s'hauria de limitar el contingut de plàstic d'entrada.

1. INTRODUCCIÓ: RESIDUS I CANVI CLIMÀTIC

La gestió dels residus municipals, que inclou processos de transport i tractament de residus, contribueix a les **emissions de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH)**, les quals depenen tant de la generació de residus per càpita com de les vies de gestió dels mateixos. El total d'emissions de GEH es coneix també com petjada de carboni, la qual és una mesura agregada dels diferents GEH expressada en unitats de CO₂ equivalent (CO₂eq).

D'acord amb l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, el sector residus contribueix a aproximadament el 6% de les emissions de GEH de Catalunya per a l'any 2021 (OCCC 2023). L'activitat que més va contribuir a aquestes emissions va ser la deposició de residus als abocadors, responsable de més de tres quartes parts de les emissions en aquest sector. El gas majoritari en el sector dels residus va ser el metà.

Totes les pràctiques de gestió de residus generen GEH, tant de forma directa (p. ex., les emissions del procés de degradació biològica dels residus) com indirecta (p.ex., a través del consum d'electricitat). No obstant això, l'impacte o benefici global de la gestió dels residus depèn de l'emissió neta de GEH, tenint en compte tant les emissions generades com les potencialment estalviades. En aquest sentit, el sector dels residus es troba en una posició única per passar de ser una font d'emissions globals a esdevenir una **via de reducció d'emissions de GEH**. Una visió holística de la seva gestió permet entendre les conseqüències positives del sector residus en les emissions de GEH de diferents sectors com l'energia, silvicultura, agricultura, mineria, transport i manufactura, a partir de la valorització material i energètica dels residus (UNEP 2010).

Les estimacions de les emissions de GEH de les pràctiques de gestió de residus es poden estimar basant-se en la **metodologia de l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV)** (UNEP 2010), que permet obtenir útils avaluacions dels impactes potencials i els beneficis de diferents opcions de tractament. El pensament en cicle de vida i les eines quantitatives com l'ACV proporcionen un suport informat i rigorós per a una presa de decisions amb criteris ambientals en la gestió dels residus (Comissió Europea 2011).

1.1. Objectiu del treball

El present projecte té per objectiu quantificar la Petjada de Carboni de la gestió (transport i tractament) dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2022, aplicant l'eina de càlcul CO₂ZW® (veure apartat següent per a més detalls) actualitzada amb els elements metodològics pertinents i el context de gestió de residus de Catalunya.

2. METODOLOGIA DE CÀLCUL

2.1. Eina de càlcul: CO₂ZW[®]

La CO₂ZW[®] és una eina d'anàlisi ambiental per a la identificació i quantificació de les emissions de GEH (petjada de carboni) produïdes al llarg del cicle de vida de la gestió dels residus municipals. Es tracta d'una eina pública resultat del projecte europeu '*Low Cost Zero Waste Municipality*' (1G/MED08-533 ZERO WASTE) (Figura 1), desenvolupada pel grup de recerca Sostenipra de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Es tracta d'una eina de referència, validada amb altres models de càlcul de la gestió i tractament dels residus municipals en el context europeu (Seigné-Itoiz et al. 2013).



Figura 1. Logo de l'eina CO₂ZW (marca comunitària registrada)

L'eina pot ser emprada per calcular les emissions de GEH de qualsevol sistema de gestió i tractament de residus municipals a escala local, regional o nacional. A més, l'eina conté dades de context específiques per a Catalunya, Espanya, Grècia, Eslovènia i Itàlia i mitjanes europees per una sèrie de paràmetres rellevants per al càlcul de les emissions de GEH dels residus.

Dues de les virtuts d'aquesta eina per al present projecte són:

- Està desenvolupada sota un enfocament de cicle de vida, el qual contempla –entre altres- les emissions futures dels dipòsits controlats així com les emissions evitades gràcies a la recuperació material i energètica dels residus.
- Permet integrar dades del context català per tal de calcular la petjada de carboni d'acord amb els escenaris reals, reduint la incertesa del model de càlcul.

Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, els quals desagreguen les emissions segons els sectors que les generen (transport, energia, instal·lacions de combustió, residus, etc.), només consideren les emissions directes de cada instal·lació i, en el cas dels dipòsits controlats, consideren els GEH que s'emeten en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant les dècades anteriors.

Principals característiques de l'eina CO2ZW®

Les principals característiques de la CO₂ZW® en relació al present projecte són:

- Perspectiva global de tot el sistema de gestió de residus municipals.
- Visió d'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV), la qual inclou impactes directes i indirectes, i emissions presents i futures derivades dels residus generats en l'actualitat.
- Inclusió de les emissions evitades de la valorització energètica i material, d'acord amb recomanacions de la Comissió Europea (European Commission 2011) i els estàndards ISO 14040 i ISO 14069.
- Adaptació a les dades locals.
- Factors d'emissió del tractament de residus basats en IPCC.

Aspectes metodològics bàsics

A continuació es resumeixen els principals aspectes metodològics considerats a l'eina.

Impactes ambientals directes, indirectes i evitats

Es consideren tots els GEH considerats pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) per a l'elaboració dels inventaris nacionals: diòxid de carboni (CO₂), òxid de dinitrogen (N₂O) i metà (CH₄) (IPCC 2006). A més a més, també es consideren altres gasos amb potencial efecte hivernacle quan aquests són rellevants. En el cas del CO₂ biogènic de la degradació biològica i/o combustió dels residus, es considera neutral, d'acord amb les especificacions de les directrius per als inventaris nacionals d'emissions.

Per tal de convertir tots els GEH en unitats de CO₂eq, l'eina utilitza els **factors de caracterització** del Cinquè Informe de l'IPCC, que s'utilitzen per al càlcul de la contribució al canvi climàtic de l'any 2022 i següents, d'acord amb les indicacions de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

Els impactes de petjada de carboni es desagreguen en impactes directes, indirectes i evitats.

- Els impactes directes fan referència a aquelles emissions que tenen lloc a les plantes de tractament de residus. En el cas de les emissions de la degradació biològica i de la combustió dels residus, s'utilitzen els valors de referència proposats per l'IPCC (IPCC 2006) i tenint en compte els diferents ajustaments a la metodologia (*'refinements'* i *'corrigendas'*) aplicats fins al moment.
- Els impactes indirectes fan referència a aquelles emissions que tenen lloc fora de les plantes de tractament de residus però que estan associades a la seva operació (p.e. producció d'electricitat, fabricació de combustibles, etc.) (emissions aigües amunt o *'upstream'*).
- Els impactes evitats fan referència a les emissions que s'eviten gràcies a la recuperació de materials i energia, la qual substitueix altres fonts energètiques o matèries primeres en

diferents sectors de l'economia. Els valors per a les emissions evitades s'obtenen de diferents fonts d'informació internacionals i públiques, i s'alineen amb els mètodes habituals del marc de treball de l'Anàlisi de cicle de Vida (ISO 14040), tenint en compte en la mesura del possible la realitat de la valorització dels residus catalana.

Alineació amb les directrius més recents de l'IPCC

- Actualització dels factors de caracterització

A partir del any 2021, d'acord amb el Reglament Delegat (UE) 2020/1044 de la Comissió Europea, en els informes que els Estats membres presentin amb dades de l'any 2021 i anys següents, els factors de caracterització relatius als Gasos amb Efecte d'Hivernacle que s'hauran d'utilitzar són els publicats en el 5è informe d'avaluació de l'IPCC.

Taula 1. Factors de caracterització del metà i òxid nitrós segons els informes d'avaluació de l'IPCC

Gas	Factor de caracterització Quart Informe IPCC	Factor de caracterització Cinquè Informe IPCC
Metà (CH ₄)	25	28
Òxid nitrós (N ₂ O)	298	265

- Fraccions de la composició adaptats als models de l'IPCC

Es redefeixen les fraccions de la caracterització de la composició dels residus per tal de considerar totes les fraccions biodegradables (tenint en compte els seus efectes en cas d'arribar a dipòsit controlat), així com les fraccions que emeten carboni fòssil en la combustió (el qual afecta els processos de combustió). A la pràctica, implica incorporar la categoria 'tèxtil sanitari (bolquers i similars)' i 'fracció vegetal'.

- Model de càlcul en dipòsit controlat

Es consideren totes les fraccions biodegradables identificades per l'IPCC i els factors més recents de l'IPCC¹, amb un horitzó temporal de 81 anys (màxim permès per l'eina de càlcul de l'IPCC).

¹ Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos. Disponible [aquí](#).

Modelització de les dades sobre generació de residus i composició

La generació i composició dels residus són paràmetres rellevants per al càlcul de la petjada de carboni, ja que determinen en gran mesura les emissions de GEH de les plantes de tractament que els reben. L'eina permet introduir dades locals de generació de residus i composició de la bossa tipus, així com dades de la fracció Resta i del rebuig de les plantes de tractament de resta (TMB). Aquesta és una de les novetats introduïdes per primera vegada per al càlcul de la petjada de carboni dels residus de l'any 2021, fa un any, ja que prèviament l'eina modelitzava automàticament la fracció Resta i el rebuig de TMB a partir de les dades de recollida selectiva i la modelització de la recuperació de materials i estabilització de la matèria orgànica en el tractament de la fracció Resta.

Per a la definició de les composicions, l'ARC defineix directament la composició dels residus (bossa tipus, fracció Resta i rebuig de TMB) a partir de modelitzacions i dades de caracteritzacions, reduint així incerteses. Aquestes composicions s'introdueixen manualment a la calculadora CO2ZW. Alhora, l'entrada de dades permet diferenciar la composició del rebuig de TMB amb destí dipòsit controlat o valorització energètica (per quan es distingeixi el destí en funció de la composició). Alhora, es caracteritzen millor les entrades a tractament finalista, combinant les caracteritzacions del rebuig de TMB (CER 191212), amb dades d'altres fluxos amb destí finalista.

Recollida i transport

L'eina permet calcular les emissions de la recollida i transport dels residus, considerant uns factors d'emissió per defecte sota una visió de cicle de vida. Per tant, permet tenir en compte les emissions relacionades amb l'operació dels vehicles (consum de combustibles i l'extracció i refinatge dels mateixos) així com les emissions implicades en la construcció i manteniment dels vehicles i carreteres (Spielmann et al. 2007).

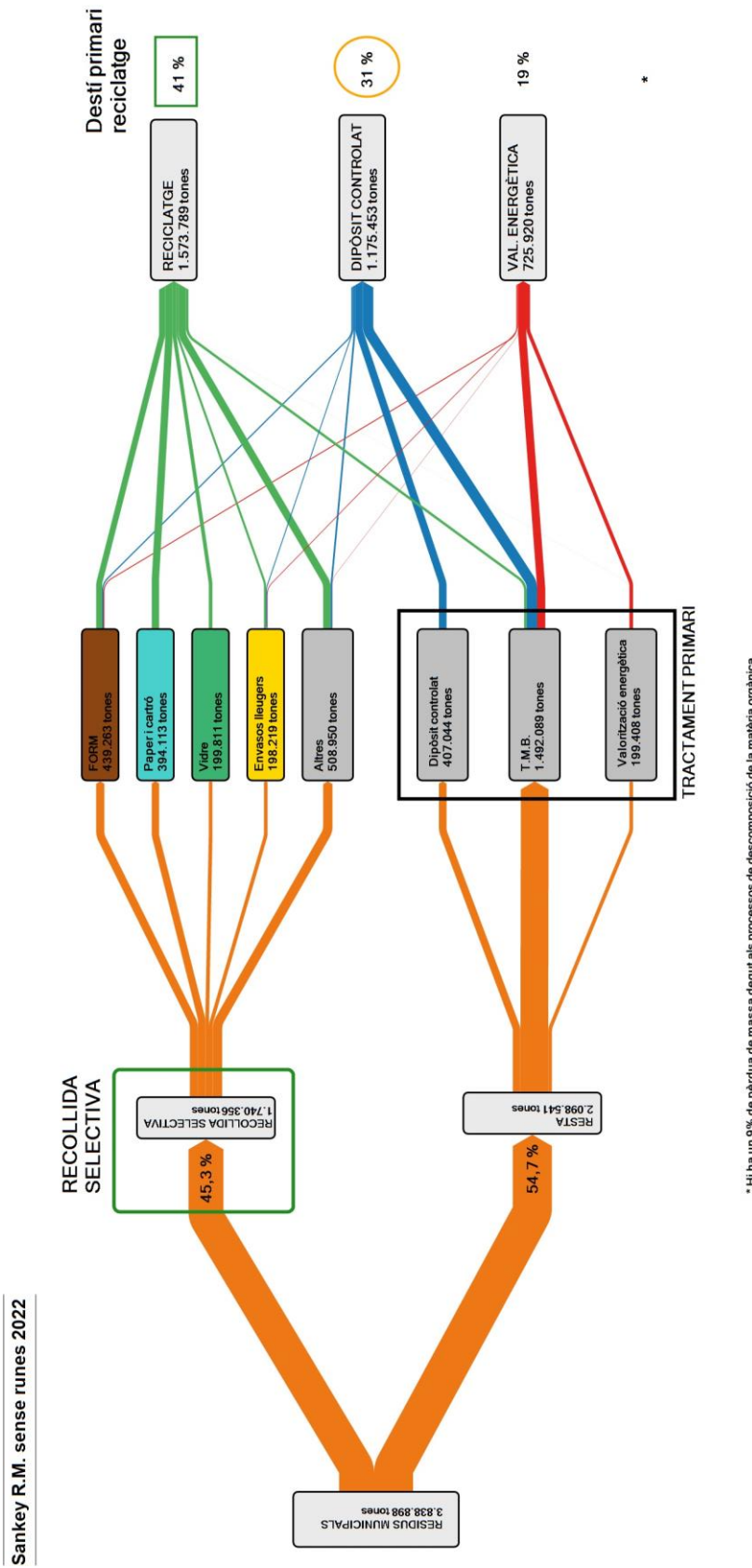
En el cas del càlcul de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya, es fa una estimació del transport inter-urbà a partir dels càlculs fets per a l'any 2020, que es basen en les dades dels ens locals a escala municipal² (dades que no han estat disponibles per a l'any 2022). L'estimació considera que les distàncies recorregudes per els residus des dels municipis fins les plantes de tractament es mantenen constants, amb una distància promig de 22km per al conjunt de fraccions de residus i per a tot el territori. Per que fa a la recollida dels residus (transport intra-urbà), no s'ha modelitzat per manca de dades.

² Veure la secció 3.3. del document "Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2020)" per a més detall, disponible [aquí](#).

Contrast de les dades de fluxos modelitzats per l'eina amb les dades del balanç global de Catalunya

La versió original de l'eina CO2ZW® modelitza tots els fluxos de residus, a partir de les indicacions de la generació i destí primari dels residus. Això no obstant, es modifica el funcionament de l'eina per tal de tenir en compte les modelitzacions pròpies de l'ARC pel que fa al flux de residus entre instal·lacions i tractaments (diagrames de fluxos o Sankey). S'incorporen millores en la modelització dels fluxos de fracció rebuig d'entrada a tractaments finalistes (dipòsit i valorització energètica), per tal d'alinear el model de càlcul de l'eina CO2Z® amb els models desenvolupats per l'Agència de Residus de Catalunya.

Figura 2. Balanç global de la gestió dels residus municipals 2022 a Catalunya. Font: [ARC](#)



Tractament de residus i modelització de les instal·lacions

Els mètodes de tractament de residus inclosos en la CO₂ZW® representen les principals tecnologies de gestió dels residus municipals a Europa. S'inclouen:

- *Plantes de triatge i afí* per a les fraccions següents: paper i cartró, envasos plàstics, envasos metàl·lics, vidre, tèxtils i fusta³.
- *Tractament biològic* de la Fracció Orgànica dels Residus Municipals (FORM) i la Fracció Vegetal (FV). L'eina contempla els processos de compostatge (en piles i en túnel) i de digestió anaeròbia.
- *Tractament mecànic-biològic (TMB)* de la fracció Resta (planta que combina processos mecànics i biològics per a l'estabilització de la fracció Resta i l'aprofitament de materials/energia).
- *Valorització energètica*: es considera una PVE que incinera els residus i produeix calor i electricitat.
- *Dipòsit controlat (DC)*. Es considera que l'índex de captació de biogàs dels dipòsits controlats és variable i, per tant, l'usuari pot modificar el valor de referència establert per a cada país. Alhora, l'eina permet calcular les emissions dels dipòsits controlats d'acord amb dues possibilitats: (a) emissions segons la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals (IPCC 2006), la qual considera les emissions dels dipòsits controlats en l'any en curs –que depenen dels residus depositats durant els 50 anys anteriors-, i (b) emissions futures dels residus depositats en l'any en curs, les quals no depenen de la gestió dels residus en el passat i, per tant, tenen més interès en la planificació i definició de polítiques de gestió dels residus. En el cas dels càlculs del present treball, s'ha acordat utilitzar el segon enfocament (emissions futures).

Es modelitzen les instal·lacions de tractament dels residus amb dades específiques de les instal·lacions catalanes quan és possible. Això inclou la incorporació de dades dels gestors de residus, per a les plantes de TMB (materials i energia valoritzats, rebuig generat, consum d'energia, producció de compost), de les plantes de tractament de la FORM (compost i energia valoritzats), de les PVE (energia tèrmica i elèctrica produïdes, consum d'energia, materials valoritzats), de les plantes de triatge d'envasos (materials recuperats) i de la gestió de tèxtil (rebuig generat).

³ No es considera la valorització d'altres fraccions de residus recollides selectivament, tals com els RAEE, els voluminosos o els especials.

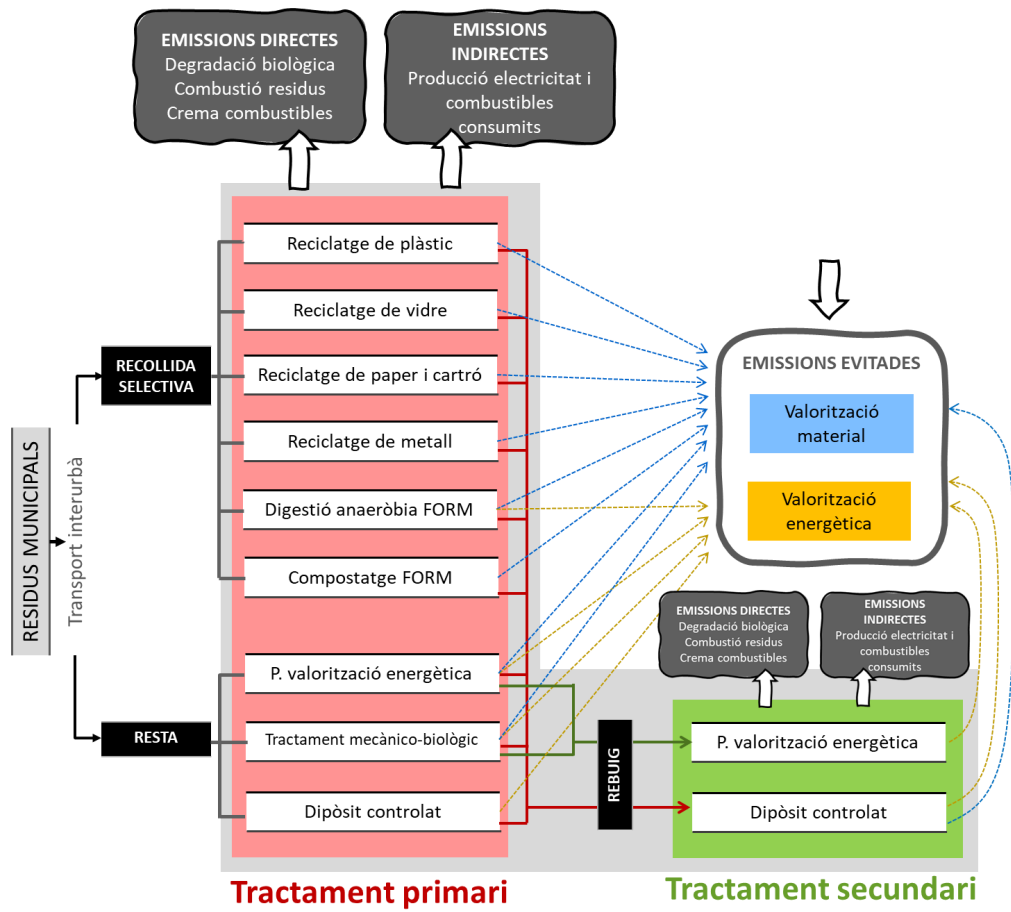


Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.

Revisió de la consideració d'estabilitat del bioestabilitzat en els dipòsits controlats

El model de càlcul de l'IPCC no contempla una fracció de residus específica d'entrada a dipòsit que es pugui assimilar al bioestabilitzat, que surt com a rebuig de les plantes de TMB i pot acabar en els dipòsits controlats catalans. A la pràctica, el potencial de transformació en metà d'aquesta fracció dependrà de la seva estabilitat biològica, i per tant, es trobarà en algun punt entre les emissions de la matèria orgànica fresca (sense tractar) i els materials inerts (o una fracció orgànica plenament estabilitzada). Tenint en compte les analítiques de bioestabilitzat disponibles per a l'any 2022 (amb l'anàlisi del grau d'estabilitat i de l'índex de Rottegrade), per al conjunt de plantes de TMB catalanes, es considera que cada tona de bioestabilitzat emetrà en el dipòsit controlat un 50% respecte les emissions que tindria una tona de matèria orgànica fresca. Per establir aquest percentatge es tenen en comte els resultats de l'índex de Rottegrade, així com el grau d'estabilitat promig i les emissions considerades amb mètodes respiromètrics.

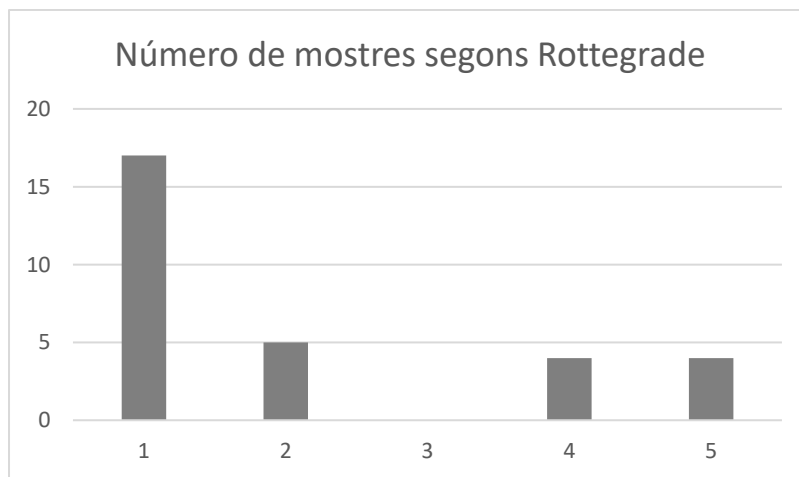


Figura 4. Índex de Rottegrade de les caracteritzacions de bioestabilitzat (un índex d'1 indica un producte immadur, mentre que un índex a partir de 4 indica maduresa o estabilitat).

Alineació dels factors d'impacte evitat amb el mètode dels residus industrials

Els factors d'impacte evitat associats a la valorització material i energètica es calculen seguint el model de càlcul aplicat als residus industrials⁴ de Catalunya, en el marc d'un encàrrec elaborat per l'ARC, per tal de alinear ambdós enfocaments metodològics.

En aquest model de càlcul es considera que la valorització material i energètica derivada de la gestió dels residus permet reintroduir a l'economia uns determinats recursos que permeten reduir la dependència de matèries primeres verges. Per tant, s'estima que cada tona de materials recuperats o cada unitat d'energia recuperada permet estalviar unes emissions de

⁴ Informe de resultats sobre la petjada de carboni de la gestió dels residus industrials de Catalunya 2021.

GEH equivalents. Per a calcular les emissions estalviades, es té en compte quins recursos es substitueixen amb la valorització i per tant deixen de fabricar-se. L'eina CO2ZW® s'ha adaptat per tal d'utilitzar factors d'impacte evitat actualitzats per tal d'utilitzar informació més recent i que tingui en compte en la mesura del possible el context català de gestió de residus.

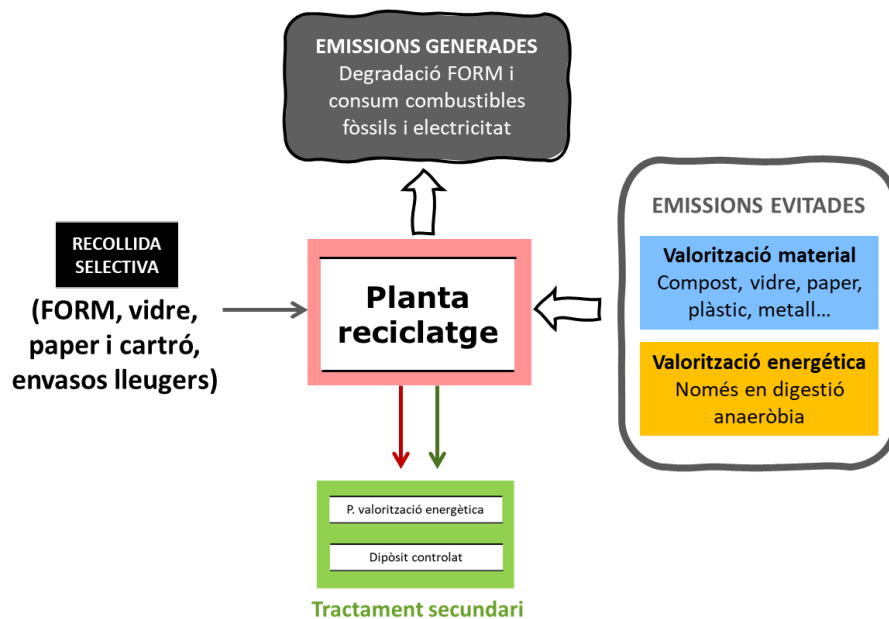
És necessari remarcar que aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya.

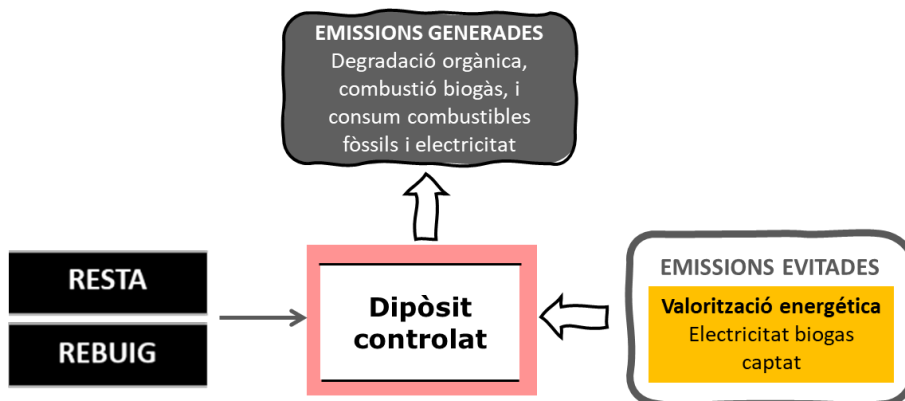
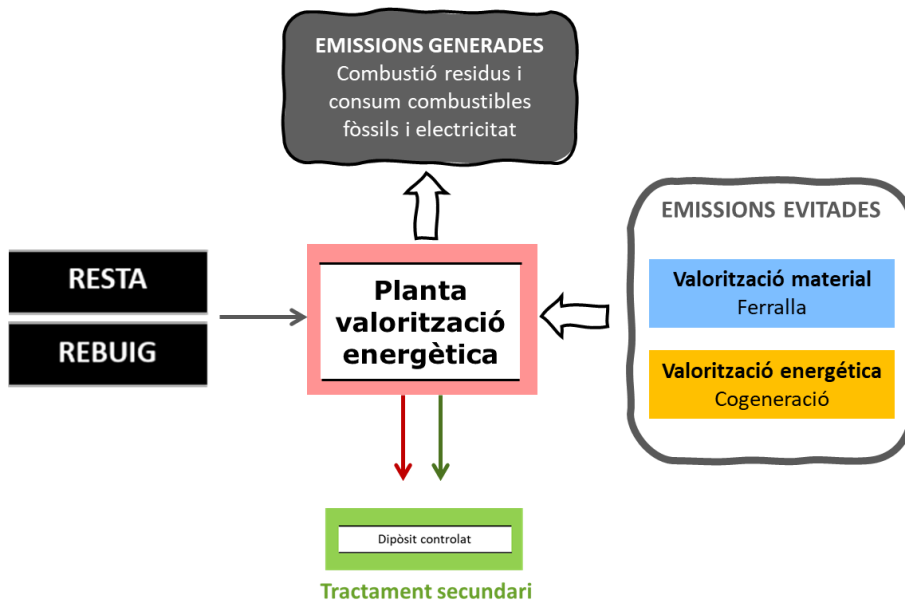
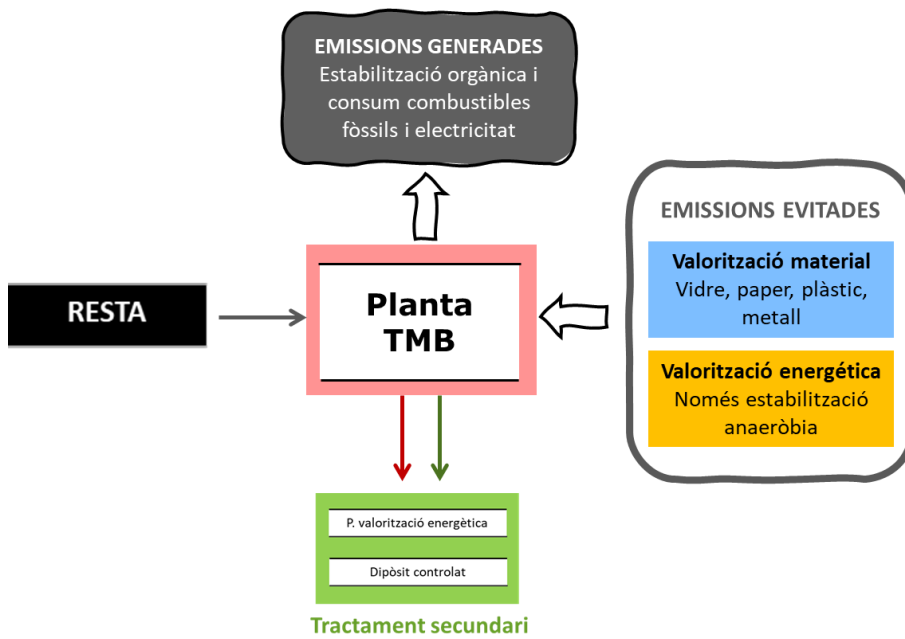
Fluxos de residus considerats

Per cada fracció de residus, es consideren tant el tractament del flux primari, com el secundari.

- **Flux primari:** tractament/gestió a la primera instal·lació on es tracta el residu.
- **Flux secundari:** tractament del flux de rebuig que es genera durant el tractament/gestió del flux primari. Principalment, rebuig de les plantes TMB, plantes reciclatge...

Figura 5. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta.





2.2. Incorporació de dades de Catalunya a la CO₂ZW[®]

La calculadora CO₂ZW[®] conté informació per defecte de Catalunya, Espanya, Eslovènia, Grècia i Itàlia per als següents paràmetres⁵:

- Residu generat per habitant (tones/any)
- Composició de la bossa tipus
- Vies de tractament de la resta i del rebuig de TMB
- Vies de tractament de la FORM
- Ràtio de recollida selectiva de les diferents fraccions
- Percentatge d'impropis a la FORM
- Captació de biogàs als dipòsits controlats
- Eficiència de les instal·lacions de tractament de residus (instal·lacions de triatge i reciclatge, plantes de compostatge, TMB, valorització energètica)
- Factor d'emissió de GEH de l'electricitat

En aquesta fase del treball s'actualitza la informació de referència de Catalunya per l'any 2022 a la calculadora, de manera que es pugui disposar de l'eina adaptada al context actual de gestió dels residus municipals a Catalunya. Amb aquestes dades introduïdes a la calculadora, es pot calcular la petjada de carboni total de Catalunya.

⁵ El projecte europeu Zero Waste, desenvolupat entre els anys 2011 i 2012, va permetre recollir les dades per defecte d'Espanya, Eslovènia, Grècia i Itàlia. L'escenari Catalunya ha estat creat específicament en el context del projecte de càlcul de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya, iniciat l'any 2013 de la mà de l'Agència de Residus de Catalunya.

Dades a nivell de Catalunya 2022

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2022, així com per anys previs amb finalitats comparatives. La font d'informació per les dades de Catalunya és l'ARC.

Generació de residus per habitant

La **generació de residus per habitant** a Catalunya es mostra a la Taula 2, tenint en compte que la població de Catalunya el 2022 ascendeix a 7.793.611 habitants i la generació total de residus municipals és de 3.838.900 tones. Aquest any no es comptabilitzen les runes al total de residus generats a Catalunya, per tant el valor baixa considerablement. Amb runes, la generació de residus per habitant i dia seria 1,40 kg. Tot i així, **s'observa una reducció** d'aquest indicador.

Taula 2. Generació de residus per habitant a Catalunya

Any	Generació de residus (kg/habitant·dia)
2022	1,35 ¹
2021	1,42
2020	1,40
2019	1,44
2018	1,43
2017	1,40
2016	1,36
2015	1,35
2014	1,33
2013	1,30
2012	1,35

¹ Per l'any 2022 no s'inclouen runes en l'indicador de generació de residus per càpita.

Composició dels residus

La composició dels residus és un element clau en la modelització de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de la gestió dels residus. A partir de 2021, s'ha considerat una nova classificació de les fraccions que componen els residus, per tal d'afegir fraccions com la poda (fracció vegetal), el tèxtil sanitari (bolquers i similars) o les cel·luloses, les quals permeten una millor modelització de les emissions en processos de degradació biològica i/o combustió. Alhora, es consideren dades experimentals (reals) de la composició de la bossa tipus, de la fracció Resta, i del rebuig que es genera en les plantes de TMB.

La Taula 3 mostra la composició dels residus.

Taula 3. Composició dels residus a Catalunya (any 2022).

Fracció	Bossa tipus (2022)¹	Fracció Resta (2022)¹	Rebuig TMB (2022)¹
Matèria orgànica	26,6%	29,6%	7,6%
Poda (fracció vegetal)	5,7%	4,3%	0,0%
Paper & cartró	17,9%	14,7%	17,1%
Plàstic	14,1%	17,7%	29,2%
Vidre	7,7%	4,1%	0,5%
Metalls	2,4%	3,0%	1,4%
Fusta	7,1%	1,8%	1,0%
Tèxtils	6,4%	10,1%	19,6%
Tèxtil sanitari (bolquers i similars)	2,2%	3,8%	6,5%
Cel·luloses	2,1%	3,4%	2,2%
Altres	8,0%	7,6%	14,8%
Total	100%	100%	100%

¹ Estimacions desenvolupades per l'Agència de Residus de Catalunya (ARC).

Si comparem la bossa tipus de l'any 2022 amb la considerada en l'any 2021 (Taula 4) **s'observen petits canvis**. Respecte a la sèrie històrica, la caracterització és més afinada, ja que s'identifica millor què hi ha en la bossa tipus i permet distingir millor les fraccions. A la pràctica, s'observen els següents canvis entre 2021 i 2022, tots ells molt menors:

- Lleuger augment de la matèria orgànica (l'any 2022 la matèria orgànica i la fracció vegetal juntes suposen el 32,3%, comparat amb el 31,8% de 2021)
- Augment del paper i cartró (passa d'17,4% a 17,9%)
- Augment del plàstic (de 13,5 a 14,1%)
- Disminució dels tèxtils (de 6,7 a 6,4%).

A la taula següent es pot observar la bossa tipus també de la sèrie històrica prèvia (2014-2020), amb la qual s'observen diferències més substancials, també associades a les diferents fraccions considerades.

Taula 4. Composició de la bossa tipus a Catalunya considerada en anys previs

Fracció	Catalunya (2021)	Catalunya (2014-2020)¹
Matèria orgànica	31,8%	37,3%
Paper & cartró	17,4%	11,7%
Plàstic	13,5%	10,3%
Vidre	7,4%	7,7%
Metalls	2,4%	2,4%
Fusta	7,5%	6,2%
Tèxtils	6,7%	4,1%
Cautxú i cuir	0,0%	0,0%
Altres	11,3%	20,2%
Total	100%	100%

¹ PRECAT 2013-2020. Estudi de composició de la bossa tipus de residus municipals a Catalunya.

Recollida selectiva

El model de recollida selectiva predominant a Catalunya considera les fraccions de vidre, paper i cartró, envasos lleugers (inclou materials plàstics, metàl·lics i brics) i matèria orgànica. A més a més, es recullen selectivament altres fraccions a través de les deixalleries i altres sistemes de recollida (p.e. recollida de tèxtils, voluminosos o de ferralla). S'han recollit selectivament 1,74 milions de tones, valor que baixa respecte l'any 2021 perquè aquest any no s'inclouen les runes. Si no es considera l'efecte de les runes, **la recollida selectiva millora** respecte 2021 amb un increment del 0,6%. De fet, l'any 2022 és l'any amb el percentatge més alt de recollida selectiva de la sèrie històrica. No obstant d'això, no s'arriba a assolir els objectius de reciclatge de materials marcats per la Directiva Marc de Residus de la UE per 2020 (50%).

L'eina CO₂ZW[®] assigna un impacte evitat als diferents materials recuperats, de manera que les dades de recollida selectiva de les principals fraccions (vidre, envasos lleugers, paper i cartró, matèria orgànica, tèxtil i fusta) es transformen automàticament en materials. Per aquest motiu, el contenidor d'envasos lleugers es desagrega en tres materials: un 73% correspon a envasos plàstics, un 18% a envasos metàl·lics i un 9% brics (d'acord amb les estimacions de l'ARC). Per la seva banda, els brics es descomponen en un 74% de paper i cartró, un 21% de plàstic i un 5% de metall (Tetrapak). La Taula 5 mostra la quantitat de residus recollits selectivament a Catalunya (per materials).

Taula 5. Recollida selectiva a Catalunya (t)

Any	Total (t)	Vidre (t)	Plàstic (t)	Metall (t)	Paper i cartró (t)	Matèria org. (t)	Fusta (t)	Tèxtil (t)	Altres (t)
2022	1.740.359 ⁵	199.811	151.875 ¹	46.717 ²	407.314 ³	562.281 ⁴	82.939	20.744	268.678 ⁵
2021	1.877.615	189.716	142.524 ¹	46.072 ²	425.019 ³	554.055 ⁴	84.587	20.455	415.186
2020	1.823.417	184.100	141.408 ¹	41.997 ²	423.800 ³	544.364 ⁴	72.715	19.399	390.413
2019	1.816.931	203.329	126.619 ¹	41.997 ²	416.702 ³	537.316 ⁴	75.777	18.521	396.671
2018	1.661.077	192.085	121.671 ¹	39.986 ²	325.028 ³	518.000 ⁴	71.063	21.675	371.569
2017	1.536.947	182.760	111.320 ¹	36.325 ²	305.775 ³	482.851 ⁴	64.913	9.674	343.328
2016	1.436.044	166.136	106.565 ¹	34.288 ²	272.922 ³	471.833 ⁴	58.877	7.849	317.573
2015	1.442.005	158.878	102.316 ¹	31.095 ²	307.059 ³	480.833 ⁴	52.232	6.148	303.446
2014	1.400.001	162.447	97.324 ¹	29.449 ²	280.082 ³	484.433 ⁴	46.986	5.976	293.302
2013	1.362.513	158.241	95.540 ¹	28.875 ²	270.924 ³	481.894 ⁴	45.679	5.877	275.482
2012	1.457.764	169.117	101.319 ¹	31.185 ²	327.031 ³	488.428 ⁴	52.594	6.658	281.433

¹Inclou els envasos plàstics del contenidor groc i la part de plàstics del brics.

²Inclou els envasos metàl·lics del contenidor groc, la ferralla de les deixalleries i la part metàl·lica dels brics.

³Inclou la recollida selectiva de paper i cartró i la part de paper i cartró dels brics.

⁴Inclou la FORM, la fracció vegetal (residus verds) i l'autocompostatge.

⁵Aquest any, no es comptabilitzen les runes, que abans s'inclouien com Altres. Per tant el total baixa respecte l'any 2021.

La Taula 6 mostra els índex de recollida selectiva (en proporció a la quantitat total de materials generats de cada fracció, segons la composició de la bossa tipus). Es pot observar la mencionada millora en l'índex de recollida selectiva, que assoleix el 45,3% respecte el 44,7% previ (l'índex sense runes de 2021). Els índexs per materials (el percentatge que es mostra és el ràtio entre la quantitat recollida selectivament i la quantitat existent a la bossa tipus) de l'any 2022 respecte l'any previ milloren lleugerament, excepte per al Paper i cartró que disminueix. El percentatge de recollida selectiva de Altres no és comparable amb l'any previ ja que aquest any s'exclouen les runes.

Taula 6. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya.

Any	Total (%)	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)	Matèria orgànica (%)	Fusta (%)	Tèxtil (%)	Altres (%)
2022	45,3 ¹	67,5	28,1	50,7	59,4	45,4	30,5	8,5	57,0
2021	46,6	63,6	26,2	46,8	60,6	43,3	27,9	7,6	77,7
2020	45,9	60,3	34,7	50,4	90,9	36,8	29,5	11,9	48,2
2019	44,9	65,3	30,5	44,0	87,8	35,6	30,2	11,1	48,1
2018	41,8	62,8	29,8	42,6	69,7	34,9	28,8	13,3	45,8
2017	39,9	61,7	28,2	40,0	67,7	33,6	27,2	6,1	43,8
2016	38,5	58,0	27,9	39,0	62,4	34,0	25,5	5,1	41,8
2015	38,9	55,8	27,0	35,6	70,7	34,8	22,7	4,0	40,2
2014	38,4	57,9	26,0	34,2	65,4	35,6	20,8	4,0	39,4
2013	38,0	63,0	26,2	12,5	41,9	37,3	50,9	4,1	34,2
2012	39,1	64,7	26,7	13,0	48,7	36,4	56,4	4,5	33,7

¹ Aquest any s'exclouen les runes del càlcul de la recollida selectiva.

Impropis en la FORM

La Taula 7 mostra el contingut d'impropis en la FORM recollida selectivament.

Taula 7. Impropis a la FORM a Catalunya.

Any	Impropis a la FORM (%)
2022	10
2021	11
2020	12
2019	11
2018	13
2017	12
2016	14
2015	13
2014	13
2013	14
2012	15

Vies de tractament de la fracció Resta

La fracció de residus Resta, que inclou tot allò que no és recollit selectivament, es pot destinar a tres opcions: TMB, dipòsit controlat i PVE (veure Taula 8). S'assimila també a fracció Resta els residus recollits amb el model de FIRM (Fracció Inorgànica de Residus Municipals).

Des del any 2021, les dades s'obtenen a partir de la informació facilitada per les plantes, en lloc de les dades reportades pels ens municipals.

- Per a les opcions de TMB, es consideren les dades de les plantes.
- Per a la valorització energètica, s'utilitzen les dades de les 3 incineradores catalanes operatives durant l'any 2022, a les que se sumen les dades facilitades per els ens locals de residus destinades a la incineradora d'Andorra i a preparació de combustible derivat de residus (CDR) per altres gestors.
- Al no disposar de dades de qualitat dels dipòsits controlats que permetin una comparació amb els destins informats pels ens locals, es calcula la quantitat a dipòsit restant les quantitats tractades en TMB i PVE del total de la fracció Resta recollida i reportada pels ens locals.

Per aquest any 2022, és destacable el mínim històric de fracció Resta enviada a dipòsit controlat, per sota del 20%, i el màxim històric amb destí TMB, que supera per primera vegada el 70%.

Taula 8. Vies de tractament de la fracció Resta a Catalunya.

Any	TMB (%)	Dipòsit Controlat (%)	PVE (%)
2022	70,9 ¹	19,8	8,7
2021	68,4 ¹	23,5	8,2
2020	69,1	22,9	8,0
2019	69,2	23,4	7,4
2018	65,9	25,0	9,0
2017	61,9	29,1	9,0
2016	61,0	27,6	11,3
2015	58,0	30,6	11,4
2014	55,7	33,2	11,1
2013	52,4	36,7	10,8
2012	50,3	38,2	11,5

¹Una part es gestiona per via d'estabilització anaeròbia (31%) i l'altra per estabilització aeròbia (69%).

Vies de tractament de la FORM

Les plantes de compostatge i biometanització tracten matèria orgànica provinent de la recollida selectiva (FORM). La FORM es pot destinar a cinc opcions de gestió: planta de compostatge en piles, planta de compostatge amb túnel, TMB via compostatge (ja no és una opció utilitzada), biometanització en instal·lacions TMB però separat del flux de la fracció Resta, i planta de biometanització. També existeix el compostatge domiciliari i comunitari, o autocompostatge. El destí de la FORM es mostra a la Taula 9.

Referent a la FORM es fan servir les dades de cada planta, tenint en compte transferències entre unes i altres. La quantitat total de la recollida selectiva de FORM és una mica més alta que el total de les tones finalment tractades, el qual segurament es deu a pèrdues en les transferències i variacions de bàscula entre una planta i altra.

Taula 9. Vies de tractament de la FORM a Catalunya.

Any	Planta compostatge piles (%)¹	Planta compostatge túnel (%)	Compostatge TMB (%)	Biometanització TMB (%)	Planta biometanització (%)
2022	45,4	16,9	0,0	24,1	13,6
2021	47,9	16,6	0,0	21,6	13,8
2020	49,9	16,0	0,0	21,7	12,3
2019	43,7	19,8	0,0	23,1	13,4
2018	35,5	19,2	0,0	30,1	15,1
2017	36,0	18,6	0,0	30,3	15,1
2016	42,0	14,2	0,0	29,1	14,7
2015	39,1	14,9	0,0	30,6	15,4
2014	40,8	13,3	0,8	29,9	15,2
2013	40,1	12,9	0,7	30,8	15,5
2012	39,5	12,9	0,7	31,7	15,2

¹Inclou autocompostatge.

Eficiència de les plantes de tractament de residus i reciclatge

Les plantes de TMB recuperen materials de la fracció Resta i estableixen parcialment la matèria orgànica. La Taula 10 mostra el perfil de funcionament d'aquestes instal·lacions. El rebuig generat pot seguir tres vies: dipòsit controlat, PVE o preparació de combustibles derivats de residus (CDR), d'acord amb la Taula 11. A partir de les dades de 2020, es descompten els materials recuperats en les plantes de TMB que s'han destinat a tractaments finalistes, i es sumen al rebuig de sortida.

Taula 10. Característiques de les plantes de TMB de la resta a Catalunya.

Any	Recuperació (% en massa respecte l'entrada de resta)					Recuperació matèria orgànica ¹ (%)	Rebuig ² (%)
	P/C	Metall	Vidre	Plàstic	Total		
2022	1,7	2,2	1,0	3,8	8,6	4,7	65,7
2021	1,9	2,1	0,9	4,0	8,9	3,5	67,1
2020	1,7	2,2	0,8	3,7	8,4	3,6	67,1
2019	2,1	2,3	0,7	4,0	9,2	2,6	68,7
2018	2,1	2,2	0,8	4,1	9,3	4,3	74,6
2017	2,2	2,3	0,8	3,6	9,0	5,9	73,9
2016	2,4	2,3	0,9	3,8	9,4	2,2	76,2
2015	2,4	2,3	0,9	3,8	9,3	3,3	75,2
2014	2,2	2,3	0,4	3,2	8,1	4,3	70,4
2013	2,0	2,0	0,4	2,7	7,1	8,5	63,6
2012	1,8	2,0	0,3	3,2	7,3	0,0	69,4

¹Quantitat de bioestabilitzat en relació a les entrades totals. Es considera que aquest bioestabilitzat servirà per rebuig abocadors o talussos, no se li atribueix una qualitat suficient com per a ser considerat compost, i estalviar fertilitzants minerals. Se li atribueix un grau de maduració suficient per considerar-lo estable.

²El rebuig inclou les sortides de residu a Dipòsit Controlat, PVE i a Combustible Derivat de Residu (CDR), en relació a les entrades totals.

Taula 11. Destí del rebuig de TMB a Catalunya.

Any	Dipòsit Controlat (%)	PVE (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
2022	56,7	41,0	2,4
2021	53,9	44,1	2,0
2020	59,4	38,7	1,9
2019	56,1	42,8	1,1
2018	62,9	37,1	0,0
2017	59,0	41,0	0,0
2016	59,9	37,9	2,2
2015	59,2	38,9	2,0
2014	60,6	38,2	1,2
2013	53,9	44,3	1,9
2012	56,4	39,5	4,0

Finalment, l'eficiència de les plantes de reciclatge de les fraccions recollides selectivament de paper i cartró, envasos lleugers i vidre es mostren a la Taula 12. Pel que fa als materials plàstics, es corregeix a la baixa l'eficiència, d'acord amb dades de les plantes de triatge d'envasos lleugers catalanes.

Taula 12. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya.

Any	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)
2022	98	58	98	94
2021	98	58	98	94
2020 i anys previs	98	65	98	95

Factors clau: mix elèctric i biogàs capturat en dipòsits controlats

Alguns factors o variables tenen una incidència substancial en les emissions de GEH del tractament dels residus. Entre aquests, destaca el percentatge de biogàs recuperat en els dipòsits controlats, factor cabdal ja que els dipòsits controlats són el principal generador d'emissions de GEH degut a la descomposició de la matèria orgànica en condicions anaeròbies. No obstant, hi ha incertesa en relació al percentatge de biogàs que es capta, degut a les dificultats en quantificar les emissions generades. La Taula 13 mostra els valors considerats tant pel biogàs capturat com pel potencial d'escalfament global del mix elèctric (el qual depèn de les fonts energètiques utilitzades per a la producció d'electricitat).

Important: el factor de captació de biogàs presenta elevades incerteses, tractant-se d'un factor complex d'estimar i molt variable en funció de cada dipòsit controlat. Actualment l'ARC està fent treball de camp experimental en diferents dipòsits per tal de determinar amb dades locals la captació de biogàs.

Taula 13. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya.

Any	Potencial Escalfament Global Mix elèctric (kg CO ₂ /KWh)	Captació biogàs dipòsits controlats(%)
2022	0,273 ¹	30
2021	0,259 ¹	30
2020	0,250 ¹	30
2019	0,241 ¹	30
2018	0,321 ¹	30
2017	0,392 ¹	30
2016	0,308 ¹	30
2015	0,302 ¹	30
2014	0,267 ¹	30
2013	0,248 ¹	30
2012	0,300 ¹	30

¹ Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC 2023a)

3. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA

Aquesta secció presenta les dades de petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals a Catalunya per l'any 2022.

3.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2022)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2022 és de 1.003.500 t CO₂eq, i representa una emissió de 129 kg CO₂eq/habitant i de 261 kg CO₂eq/tona de residu generat (Figura 6). Aquests valors suposen una millora respecte els resultats de l'any 2021, en què la petjada de carboni va ser de 1.141.650 t CO₂eq, el qual va representar una emissió de 147 kg CO₂eq/habitant i de 283 kg CO₂eq/tona de residu generat

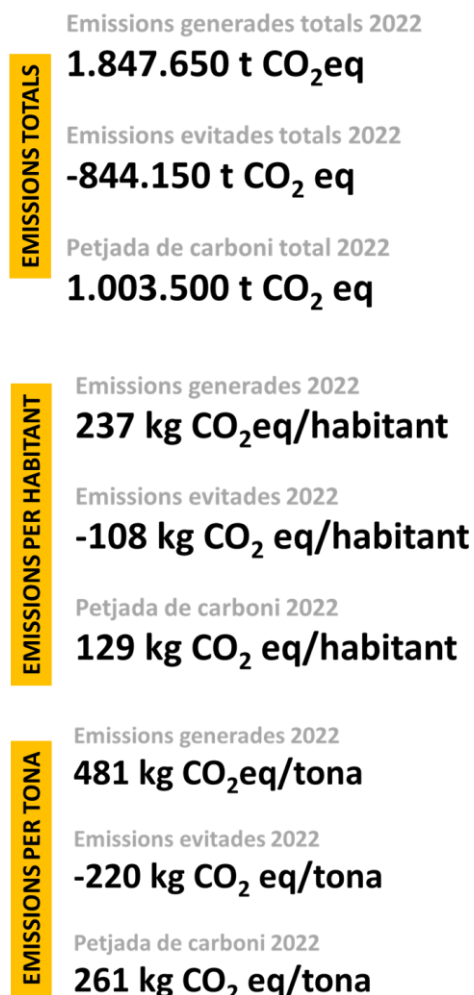


Figura 6. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2022)

La Figura 7 mostra la contribució dels impactes directes, indirectes i evitats. Es pot observar com la pràctica totalitat de les emissions generades són directes, i només una petita part indirectes. Es pot observar que les emissions evitades equivalen a un 46% dels impactes generats i per tant contrarresten part de l'impacte derivat de la gestió dels residus.

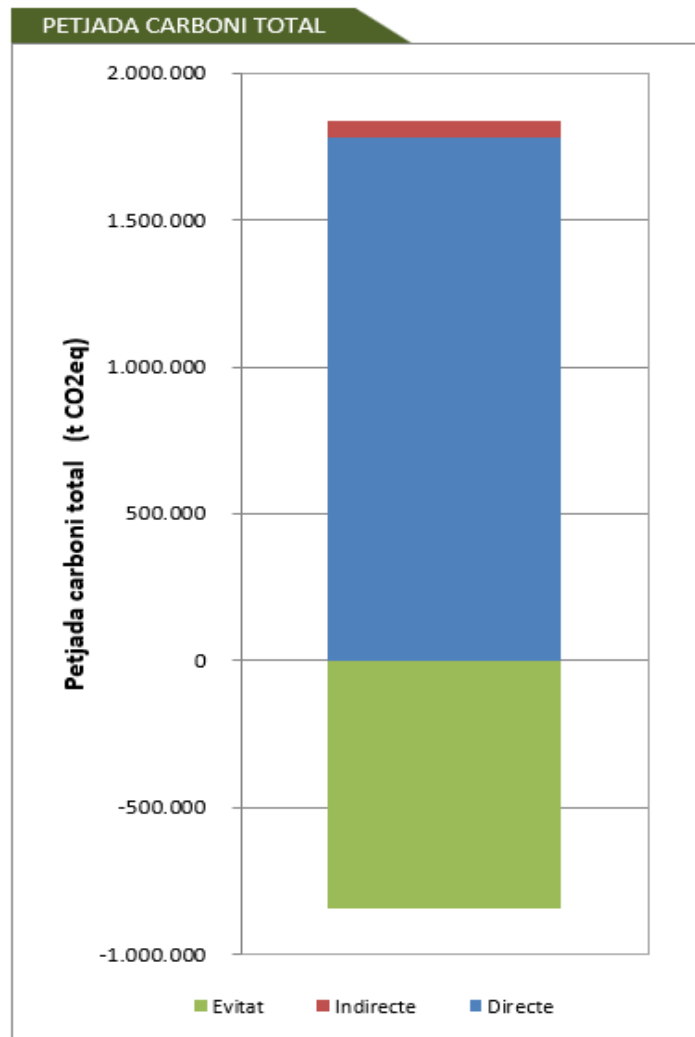


Figura 7. Petjada de carboni de Catalunya (2022): impactes directes, indirectes i evitats

Petjada de carboni per tipus de tractament

La Figura 8 mostra la petjada de carboni per cada tipus de tractament i separant en emissions directes, indirectes i evitades. Cal tenir en compte que en aquest apartat s'analitza cada tipus de tractament o tipus d'instal·lació de forma aïllada. Les emissions associades a la Valorització dels residus de la recollida selectiva (inclou reciclatges, compostatge i DA) i la Rest a TMB corresponen només al tractament primari, o inicial, del residu a les plantes de valorització o de TMB, respectivament. Però aquestes plantes generen un rebuig que cal tractar en altres instal·lacions (seria el tractament secundari o finalista). El Residu a PVE i Residu a DC inclouen la fracció Rest a que va directament a aquestes instal·lacions, però també els rebuigs que es generen a les plantes de valorització de la recollida selectiva (plantes de triatge), a les plantes de TMB i a les PVE.

Es pot observar com el principal element contribuïdor a la petjada de carboni són els residus que entren a dipòsit controlat (ja sigui com a fracció Rest a o com a rebuig), que representa un 62% dels impactes directes del tractament de residus sòlids municipals. En segon lloc es troben les emissions de les PVE, amb una contribució del 31%. Les emissions indirectes representen una part molt petita de les emissions generades, i són bàsicament les emissions associades a la producció de l'electricitat consumida a les plantes de residus. Per altra banda, la valorització de la recollida selectiva contribueix a evitar una part important de la petjada de carboni. Els materials recuperats a les plantes de TMB i la valorització energètica dels residus a les PVE, també contribueixen a les emissions evitades (un 57% de l'impacte evitat s'aconsegueix amb la recollida selectiva, i un 26% amb la valorització a les plantes de TMB) (Figura 9).

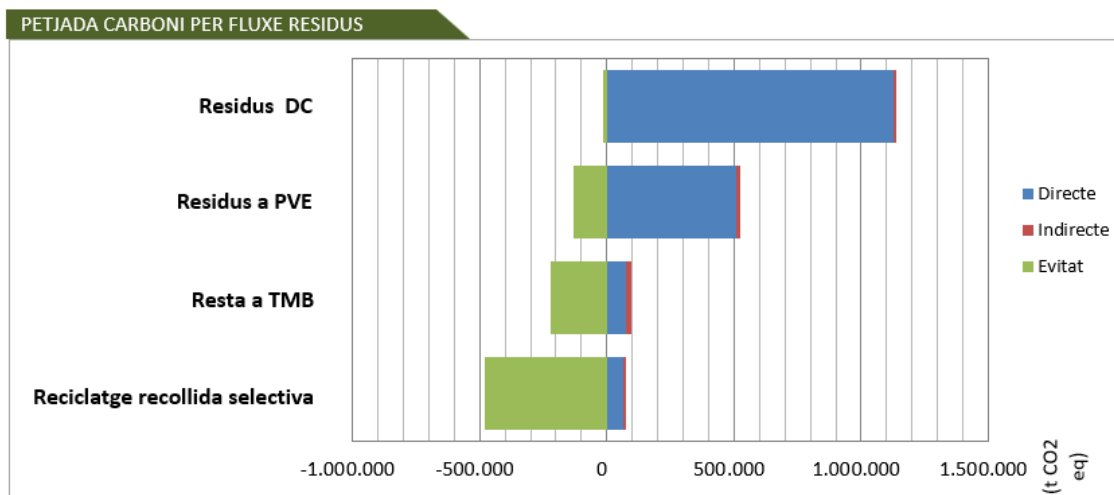


Figura 8. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2022) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.

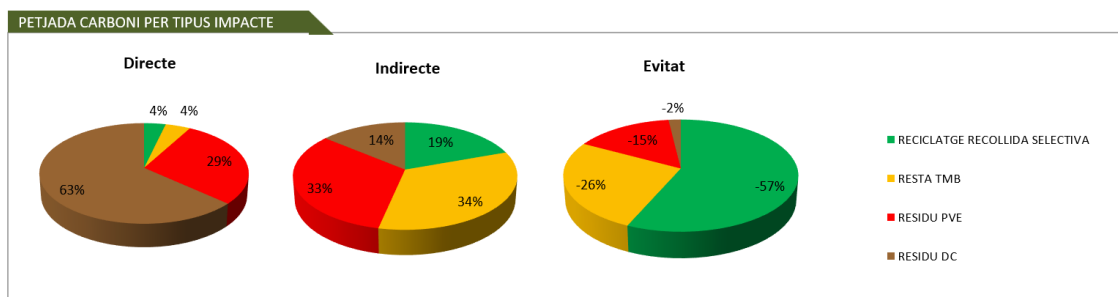


Figura 9. Origen de les emissions directes, indirectes i evitades del tractament de residus municipals de Catalunya (2022).

Valorització de residus de la recollida selectiva

Si posem el focus en la gestió dels residus procedents de la recollida selectiva (Figura 10), veiem que les emissions generades són principalment conseqüència de la gestió de la FORM (un 79% en les plantes de compostatge i un 12% en les de digestió anaeròbia). Cal tenir en compte que tot i rellevants, la gestió d'aquesta fracció en DC suposaria unes emissions extremadament altes i per tant és la millor alternativa possible. En tot cas, les plantes de reciclatge en conjunt presenten unes emissions evitades que són més de 6 vegades superiors a les generades. Les fraccions que contribueixen més a evitar emissions, gràcies a la valorització dels materials recuperats, són els envasos lleugers (plàstics i metalls).

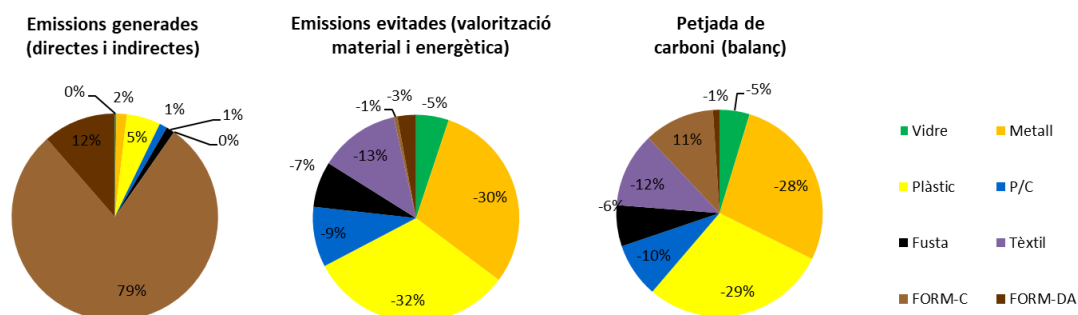


Figura 10. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva (any 2022).

Visió global dels resultats

A continuació la Figura 11 mostra una síntesi dels impactes directes, indirectes i evitats del conjunt de residus municipals de Catalunya.

Resultats expressats en t CO2 eq				
FLUXOS DE RESIDUS	Quantitat de residus (t/any)	Impacte DIRECTE (A)	Impacte INDIRECTE (B)	Impacte EVITAT (C)
RECICLATGE DE LA RECOLLIDA SELECTIVA		66.325	11.054	-478.044
Paper i Cartró, Plàstics, Vidre, Metalls, Fusta i Tèxtil	1.178.079	2.192	5.483	-462.125
Matèria orgànica destinada a produir compost	350.307	59.848	1.476	-2.962
Matèria orgànica destinada a biometanització	211.973	4.285	4.094	-12.957
RESTA A PLANTA DE TRACTAMENT MECÀNIC BIOLÒGIC (TMB)		77.034	19.177	-221.127
Resta total processada a TMB	1.500.843	77.034	18.922	
Sortides de TMB				
Emissions evitades per la recuperació de materials i energia (sense producció de CDR)				-210.206
Combustibles Derivats de Residus (CDR)			255	-10.921
RESIDU A VALORITZACIÓ ENERGÈTICA (PVE)		508.766	18.449	-128.867
Planta de Valorització Energètica	694.611	508.766	18.449	-128.867
RESIDU A DIPÒSIT CONTROLAT (DC)		1.128.574	7.934	-16.111
Dipòsit controlat	1.172.435	1.128.574	7.934	-16.111
TOTAL		1.780.698	56.614	-844.150

Figura 11. Visió global dels resultats de petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2022).

Petjada de carboni per fraccions de residus i vies de gestió

A continuació es presenten els factors d'emissió unitaris per tona per les diferents fraccions de residus i alternatives de gestió per a l'any 2022 i mitjanes de la situació a Catalunya. Les taules mostren els resultats en kg CO₂eq/tona per les diferents fraccions i tractaments.

Per les tres taules presentades en aquest apartat, les emissions generades inclouen els impactes directes (degradació biològica, combustió residus o combustibles fòssils...) i indirectes (producció electricitat), i tant el tractament primari, com el secundari. Per exemple, la resta que es porta a TMB (tractament primari), implica una generació de rebuig que surt de les plantes de TMB i es porta a DC o PVE (tractament secundari). Les emissions evitades inclouen les potencials valoritzacions materials i/o energètiques tant en el tractament del flux primari com del secundari. El detall de què s'ha considerat per cada fracció i via de gestió es pot consultar a la Figura 5.

Cal tenir en compte que en aquest estudi s'avalua la petjada de carboni, és a dir l'efecte dels tractaments en canvi climàtic. Altres categories d'impacte ambiental (com la toxicitat, l'acidificació, l'esgotament dels recursos, etc.) podrien mostrar una altra escala de preferència de tractament.

La resta i el rebuig

La Taula 14, Figura 12 i Figura 13 mostren els factors d'emissió mitjans del tractament de la fracció Resta i rebuig a Catalunya. Les emissions generades per 1 tona de resta es mouen entre els 568 kg CO₂ eq. en la via PVE, i s'arriben a duplicar si va a DC. La diferència és encara major si considerem l'efecte de les emissions evitades, ja que els impactes evitats en la gestió via TMB i PVE està al voltant dels 200 kg CO₂ eq. (essent majors en el cas de TMB), mentre que a DC són pràcticament insignificants. En resum, des d'un punt de vista de petjada de carboni, el tractament amb menys impacte per la resta serien les PVE, seguides dels TMBs, i finalment DC.

En canvi, pel que fa a la gestió del rebuig, les emissions generades per la via PVE i la via DC són força semblants, tenint en compte sobretot el fet d'haver-hi un alt percentatge de materials plàstics en el rebuig de TMB (al voltant del 30%). Això no obstant, la recuperació energètica en aquestes instal·lacions encara ho fa preferible respecte el DC.

La petjada de carboni mitjana ponderada del tractament de la resta és de 551 kg CO₂ eq/tona.

Taula 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció Resta i rebuig a Catalunya (2022).

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç
Resta			
1 t RESTA a TMB	616	-202	414
<i>1 t RESTA a TMB (Anaeròbia)</i>	569	-208	362
<i>1 t RESTA a TMB (Aeròbia)</i>	637	-199	438
1 t RESTA a PVE	568	-186	383
1 t RESTA a DC	1137	-16	1121
1 t RESTA (mitjana)	<u>715</u>	<u>-164</u>	<u>551</u>
Rebuig			
1 t rebuig a PVE	870	-12	858
1 t rebuig a DC	489	-575	-86
1 t rebuig a CDR	616	-202	414

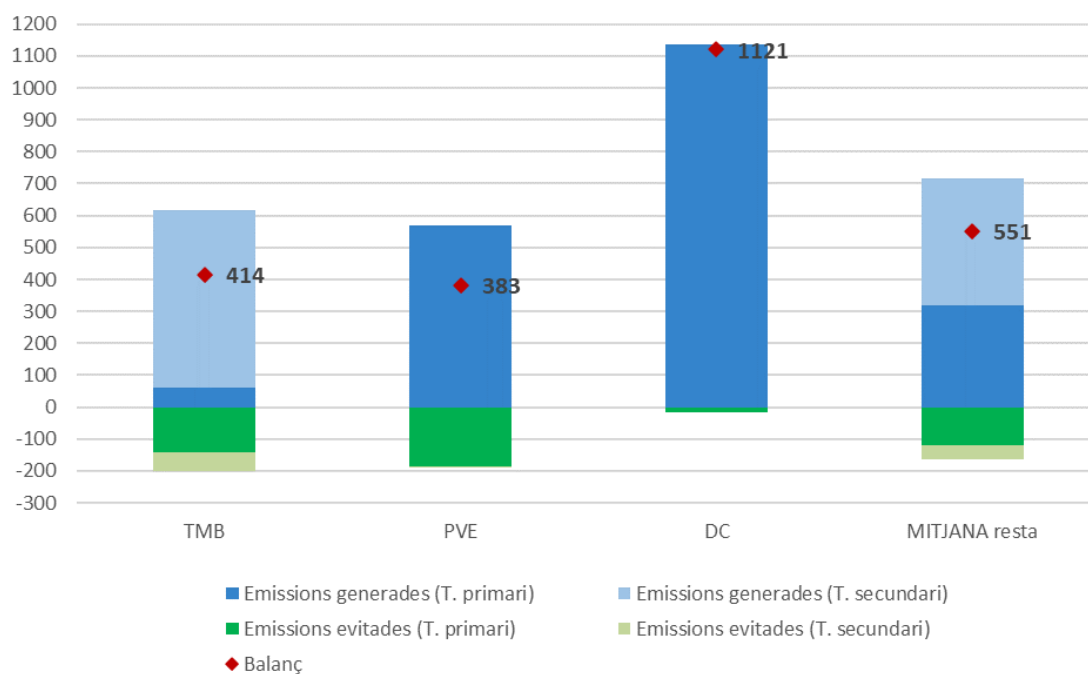


Figura 12. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció Resta a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

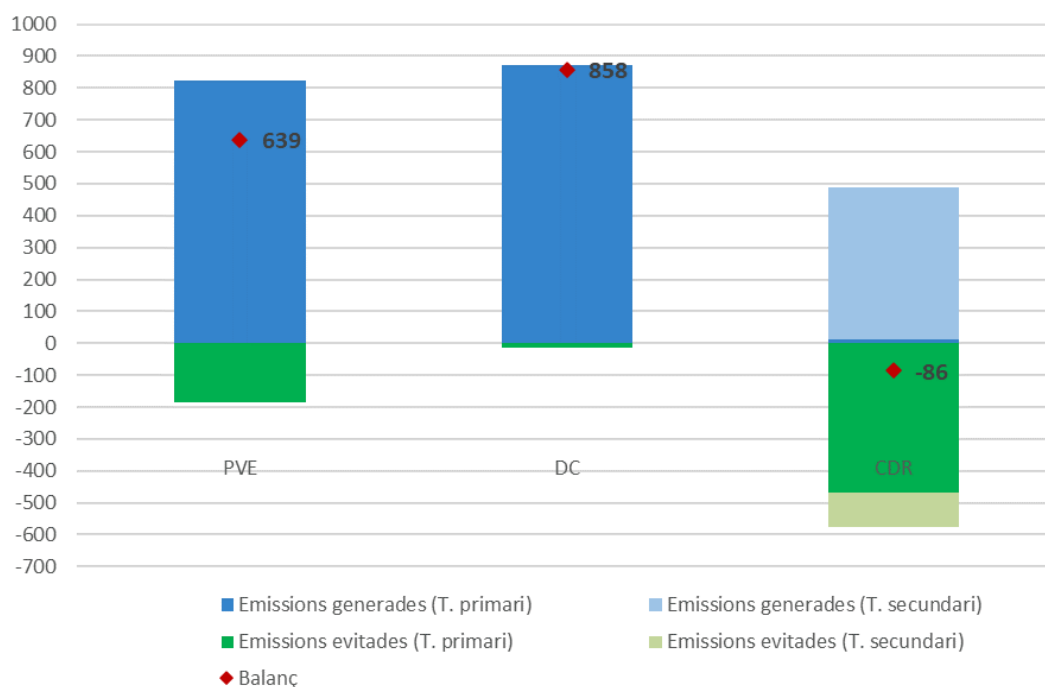


Figura 13. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

Fraccions recollida selectiva

La Taula 15 i Figura 14 mostra els factors d'emissió mitjans del tractament de les fraccions de recollida selectiva excepte la FORM. De manera general, el reciclatge és la via de tractament preferible. Cal destacar les significants emissions generades pel paper i cartró en DC, i dels plàstics en les PVE. En el cas particular del paper i cartró, les vies de reciclatge i valorització energètica presenten resultats comparables. Això no obstant, cal emfatitzar que d'acord amb la jerarquia de gestió de residus, és clarament preferible la valorització material sempre que sigui possible, ja que la valorització energètica és un tractament finalista que acaba amb el recurs.

Taula 15. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2022).

	<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	1 t P/C	1 t vidre	1 t metall	1 t plàstic
DC	Emissions generades	2510	3	3	3
	Emissions evitades	-36	0	0	0
	Balanç	2474	3	3	3
PVE	Emissions generades	53	38	38	2788
	Emissions evitades	-129	0	0	-352
	Balanç	-76	38	38	2436
Reciclatge	Emissions generades	46	1	27	28
	Emissions evitades	-113	-123	-3090	-1015
	Balanç	-67	-122	-3064	-988

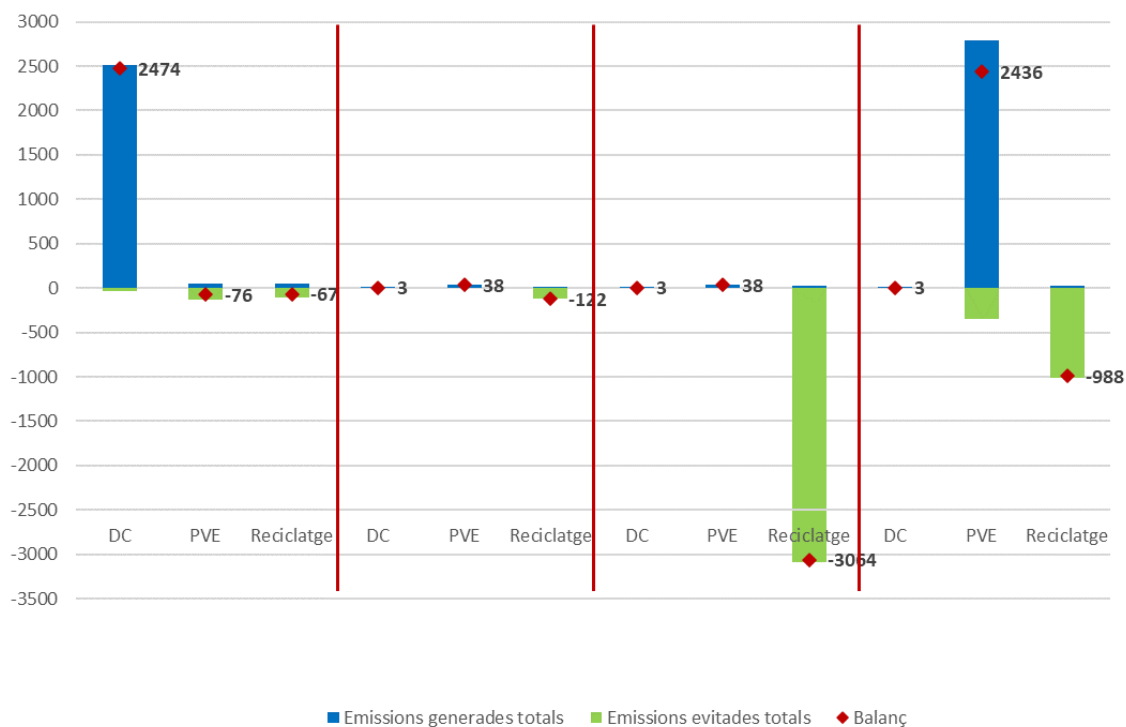


Figura 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

La Taula 16 i Figura 15 presenta els factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals (FORM). Les emissions generades en DC són quatre vegades superiors a les que es generen en tractaments de compostatge o digestió anaeròbia. Les emissions evitades són rellevants en el cas de la digestió anaeròbia gràcies a la valorització energètica, i per aquesta raó seria la via de gestió amb una petjada de carboni més petita per aquesta fracció dels residus.

Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2022)

<i>kg CO₂ eq. / tona de residu</i>	Emissions generades	Emissions evitades	Balanç
DC	1364	-19	1345
Compostatge	347	-13	334
Digestió anaeròbia	285	-65	219

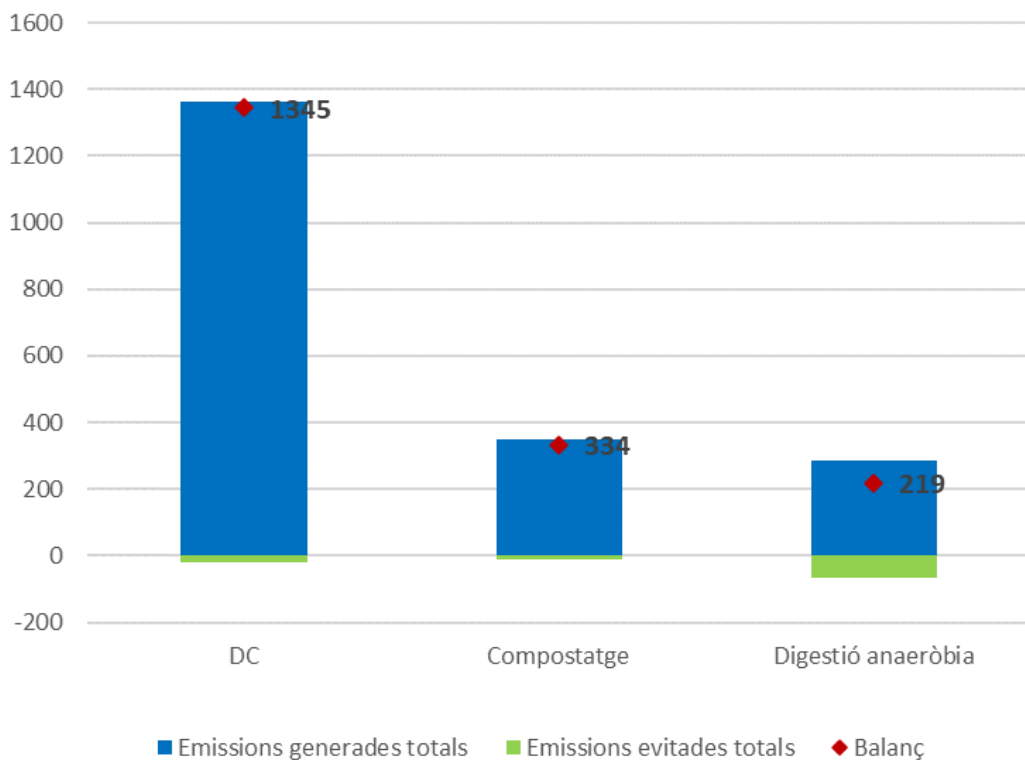


Figura 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2022). Unitats: kg CO₂eq/tona residu

Petjada de carboni del transport interurbà

Del total de la petjada de carboni, el transport interurbà de residus (del municipi a la planta de tractament) ascendeix a 10.338 tones de CO₂eq, el qual representa menys d'un 1% del total d'impactes generats pel tractament (Figura 16). Cal tenir en compte que no s'ha pogut estimar l'impacte de la recollida municipal de residus per manca de dades fiables.

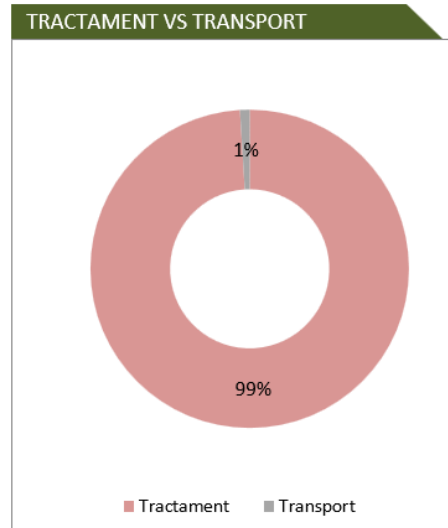


Figura 16. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2022)

4. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

A continuació s'enumeren les conclusions del treball.

- El càlcul de la petjada de carboni ens permet tenir una **visió global de l'impacte de la gestió de residus municipals** amb perspectiva de cicle de vida.
- S'observa una important **generació d'emissions directes** del tractament dels residus, especialment en les operacions que impliquen la degradació biològica de materials biodegradables als dipòsits controlats, i la combustió de materials plàstics en processos d'incineració. Les emissions generades per habitant i any ascendeixen a 237 Kg CO₂eq per a l'any 2022, el qual suposa una millora d'un 7% respecte l'any previ.
- Això no obstant, també s'observa l'important paper dels processos de valorització material i energètica, estretament lligats a la recollida selectiva, però també a la recuperació de materials en els TMBs i la valorització energètica. Aquestes operacions permeten **evitar un impacte** potencial de 108 Kg CO₂eq/habitant·any, valor semblant als estalvis estimats per a l'any previ.
- Els esforços en la millora de la gestió dels residus, començant per la prevenció dels mateixos, permet evitar impactes ambientals significatius. D'aquesta manera, **una adequada gestió dels residus municipals pot contribuir als objectius de les polítiques de canvi climàtic**.
- Els resultats presentats difereixen de l'enfocament de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic, que es realitza sota la perspectiva dels inventaris nacionals d'emissions. Per tant, es comptabilitzen coses diferents i a l'hora de comparar dades cal saber què comparem.
- Els resultats visualitzen el pes dels diferents tractaments de residus i on cal incidir per a que la gestió de residus sigui neutre o negativa en terme d'emissions.
- **El dipòsit de residus és clarament el principal generador d'emissions** tenint en compte els residus biodegradables que hi arriben. De fet, aquestes instal·lacions contribueixen a un 62% de les emissions directes de la gestió dels residus. Per tant, cal reduir o eliminar la deposició d'aquests residus i potenciar la captació del biogàs.
- Els resultats evidencien la importància de la **recollida selectiva com a principal via per evitar la generació d'emissions** i estalviar impactes gràcies a la valorització (li correspon el 57% dels impactes evitats), especialment per fraccions com la FORM i envasos lleugers, però també altres fraccions com el residu tèxtil o el paper i cartró.
- El tractament amb menys emissions per la FORM és la digestió anaeròbia, i per la fracció Resta els TMBs i les PVE són preferibles als DC.
- Els resultats de petjada de carboni es mostren molt sensibles a la **composició dels residus**, especialment quan s'envien plàstics a processos de combustió o material biodegradable en els dipòsits controlats. Per tant, totes les estratègies que evitin aquests destins contribuiran a una millora ambiental.

Recomanacions

A continuació es mostra un llistat de potencials criteris a tenir en compte de cara a la presa de decisions en l'àmbit de la gestió dels residus. Aquests criteris s'agrupen en funció del tipus d'instal·lació.

Actuacions dels municipis i altres ens responsables de la gestió dels residus municipals:

- Implementar mesures per la prevenció en la generació de residus.
- Augment de ràtios de recollida selectiva i reducció d'impropis.
- En definitiva, reduir la quantitat de residus (sigui resta o rebuig) que es gestiona a través de dipòsit controlat.

Plantes de TMB:

- Augment de l'estabilització de la MOR en el tractament de la resta.
- Increment de MOR tractada en estabilització anaeròbia.
- Amb les dues anteriors, es redueixen els impactes en el cas que el rebuig vagi a DC.
- Millorar la recuperació de materials, tot i que conforme la recollida selectiva incrementi, s'espera que el contingut en materials recuperables a la resta es vagi reduint.
- Segregació del rebuig en funció del contingut en biodegradables (aquest flux en DC genera les màximes emissions) i del contingut de plàstic (aquest flux en PVE genera les màximes emissions). Per exemple, es pot intentar evitar la sortida de biodegradables en el rebuig amb processos humits que degradin el paper i cartró.

Dipòsit Controlat:

- Limitació al contingut de biodegradables d'entrada a dipòsits controlats, siguin resta o rebuig.
- Reduir la incertesa en el càlcul de les emissions difuses (és necessari treball de camp experimental per establir el percentatge de captació de biogàs als dipòsits controlats de Catalunya).
- Augmentar la captació de biogàs.

PVE:

- Limitació al contingut de plàstic d'entrada a valorització energètica.

Plantes de reciclatge:

- Prioritzar la valorització material per davant de qualsevol altre destí.
- Millorar la qualitat del compost aconseguit i facilitar circuits pel seu ús en agricultura i jardineria.

Deixalleries:

- Foment de la reutilització i reparació com a via preferent, per davant del reciclatge.

Recollida i transport de residus:

- Ús de vehicles més nets (menys emissions per Km) i optimització de rutes i freqüències per a la recollida municipal.
- Millora en la traçabilitat de rutes de recollida de residus, per tal d'incorporar-ho en el càlcul de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya.

5. REFERÈNCIES

- ARC, 2021. Petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals de Catalunya. Informe 2020. Agència de Residus de Catalunya i inèdit. Disponible a: http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/Informe_CO2ZW_ARC_2020%20v5_2022_04_08.pdf
- ARC, 2022. Principals magnituds 2021 de la gestió de residus municipals. Agència de Residus de Catalunya. Disponible a: http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/Residus%20municipals%202021_Principals%20magnituds_Dossier.pdf
- ARC 2022. Principals magnituds. Materials recuperats a plantes de triatge d'envasos de residus municipals i plantes de tractament de resta 2021. Disponible a: http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/Recuperaci%C3%B3%20de%20Materials%20de%20RM%202021_.pdf
- Cleary, J. 2009. "Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management Systems: a Comparative Peer-reviewed Literature." *Environment International* 35 (8): 1256–1266.
- Comissió Europea. 2011. "Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A Technical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for Waste Experts and LCA Practitioners". JRC Scientific and Technical Reports. Disponible a: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/22582/1/reqno_jrc65850_lb-na-24916-en-n%20_pdf_.pdf (darrer accés: octubre 2015)
- Farreny R, Colman S, Gasol CM, Rieradevall J, Seigné-Itoiz E, Gabarrell X. 2012. "CO2ZW User Guide."
- Font D, Puig I, Gabarrell X. 2012. "Building Waste Management Core Indicators through Spatial Material Flow Analysis: Net Recovery and Transport Intensity Indexes." *Waste Management* 32: 2496–2510.
- Generalitat de Catalunya. "Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya, PROGREMIC 2007-2012." www.progremic.cat.
- IPCC. 2006. "Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero." Disponible a: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/> (darrer accés: octubre 2015)
- OCCC. 2023a. "Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric". Disponible a: https://canvclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/ (darrer accés: febrer 2024).
- OCCC. 2023b. "Emissions de GEH a Catalunya. Període 1990—2021 (infografia)" Disponible a: <https://create.piktochart.com/output/7f32e98b7522-emissions-cat-2021-v2023> (darrer accés: febrer 2024).
- Seigné-Itoiz, E, CM Gasol, R Farreny, X Gabarrell, and J Rieradevall. 2013. "CO2ZW: Carbon Footprint Tool for Municipal Solid Waste Management. Case Study of Spain." *Energy Policy* 56: 626–632.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) . 2007. "Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007". Cambridge University Press. Disponible a: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html (darrer accés: octubre 2015)

- Spielmann M, Bauer C, Dones R, Tuchs Schmid M. 2007. "Transport Services. Ecoinvent Report No. 14."
Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Tetrapak. "Investigating the Life-cycle Environmental Profile of Liquid Food Packaging Systems."
Disponible a:
http://www.tetrapak.com/Document%20Bank/environment/climate/lifecycle_envprofile_liqfoodpack.pdf (darrer accès: octobre 2014).
- UNEP. 2010. Waste Management and Climate Change. Global Trends and Strategy Framework.
Osaka/Shiga. Disponible a:
<http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/Waste&ClimateChange.pdf> (darrer accès: octobre 2015)