Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2021)

Març 2023

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.**

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

Contacte:

Telèfon: 93.268.3476
info@ineditinnova.com
www.ineditinnova.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. Eina de càlcul: $CO_2ZW^{®}$ 12

1.2. Objectius 13

2. METODOLOGIA DE CÀLCUL – L'EINA $CO_2ZW^{®}$ I L'ABAST DE L'ESTUDI 14

2.1. Millores metodològiques aplicades a l'eina $CO_2ZW^{®}$ per al seu ús per a Catalunya (2021) 20

2.2. Incorporació de dades de Catalunya a la $CO_2ZW^{®}$ 26

2.3. Càlcul de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya 38

3. PETJADA DE CARBONI DE LA GESTIÓ DELS RESIDUS MUNICIPALS DEL CONJUNT DE CATALUNYA 39

3.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2021) 39

4. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS 49

5. REFERÈNCIES 51

Índex de taules

Taula 1. Actualització dels factors d'emissió del compostatge i digestió anaeròbia 21

Taula 2. Actualització dels factors de caracterització del metà i òxid nitrós 21

Taula 3. Generació de residus per habitant a Catalunya 27

Taula 4. Composició de la bossa tipus a Catalunya. 28

Taula 5. Composició de la bossa tipus a Catalunya considerada en anys previs 29

Taula 6. Recollida selectiva a Catalunya (t) 30

Taula 7. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya. 31

Taula 8. Impropis a la FORM a Catalunya. 32

Taula 9. Vies de tractament de la fracció resta a Catalunya. 33

Taula 10. Vies de tractament de la FORM a Catalunya. 34

Taula 11. Característiques de les plantes de TMB de la resta a Catalunya. 35

Taula 12. Destí del rebuig de TMB a Catalunya. 36

Taula 13. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya. 36

Taula 14. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya. 37

Taula 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2021). 44

Taula 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2021). 46

Taula 17. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2021) 47

Índex de figures

Figura 1. Logo de l'eina CO_2ZW (marca comunitària registrada) 12

Figura 2. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global..... 17

Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta..... 18

Figura 4. Balanç global de la gestió dels residus municipals 2021 a Catalunya. Font: ARC 23

Figura 5. 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). 24

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 (2021)..... 39

Figura 7. Petjada de carboni de Catalunya (2021): impactes directes, indirectes i evitats 40

Figura 8. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2021) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades. 41

Figura 9. Origen de les emissions directes, indirectes i evitades del tractament de residus municipals de Catalunya (2021). 41

Figura 10. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva (any 2021). 42

Figura 11. Visió global dels resultats de petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2021). 42

Figura 12. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu 44

Figura 13. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu..... 45

Figura 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu 46

Figura 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu..... 47

Figura 16. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2021) 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_2eq	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_2O	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 gasoil o de descomposició de la matèria orgànica. 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 s'expressa en quilograms o tones de diòxid de carboni (CO_2) 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 $CO_2ZW^{®}$, 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), que inclou els impactes directes, indirectes i evitats, de totes les fases de tractament. És a dir, tant la primera planta que rep el residu (tractament primari) com les plantes que gestionen el rebuig de la primera (tractament secundari), així com el transport interurbà fins a la planta de tractament primari (però no la recollida).

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.

El present informe presenta els **resultats de la petjada de carboni dels residus municipals de Catalunya per l'any 2021**, any en què s'ha fet una aposta per actualitzar el mètode de càlcul per adaptar-se als criteris més recents i a les fonts d'informació més actualitzades.

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. Això representa un canvi metodològic important, que dificulta la comparació dels resultats amb la sèrie històrica prèvia. Aprofitant aquest moment de canvi, s'ha considerat oportú implementar altres **canvis metodològics**, que s'han anat identificant al llarg del treball dels darrers anys, per millorar la precisió del càlcul. D'aquesta manera, l'eina de càlcul CO2ZW® s'ha adaptat per tal de:

- Adaptar-se a les directrius més recents de l'IPCC
- Incorporar més dades del context de gestió de residus català
- Tenir en compte l'estabilitat del bioestabilitzat que arriba a dipòsit controlat
- Alinear-se amb el mètode definit per al càlcul de la petjada de carboni dels residus industrials de Catalunya.

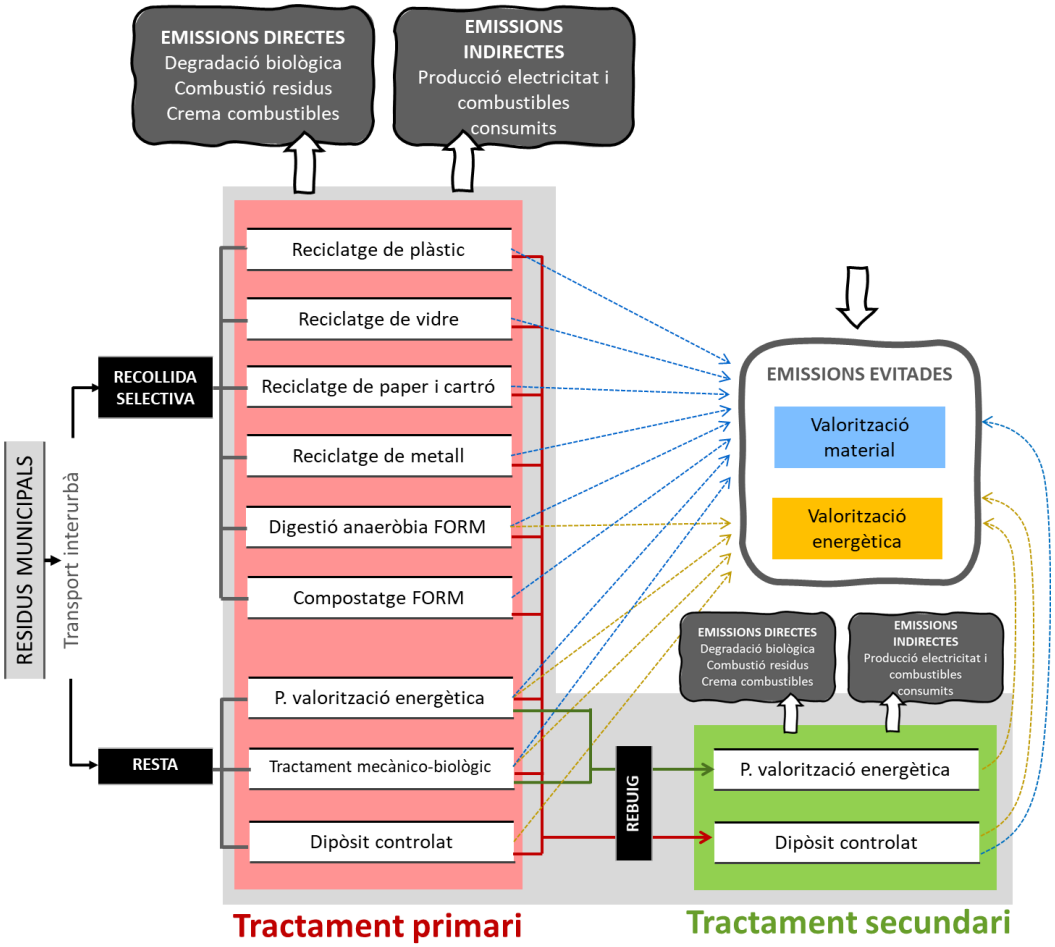


Figura A. Abast de l'estudi.

Petjada de carboni del conjunt de Catalunya (2021)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2021 és de **1.141.650 t CO_2eq**, el qual representa una emissió **de 147 kg CO_2eq/habitant** i de **283 kg CO_2eq/tona** de residu generat (Figura B).

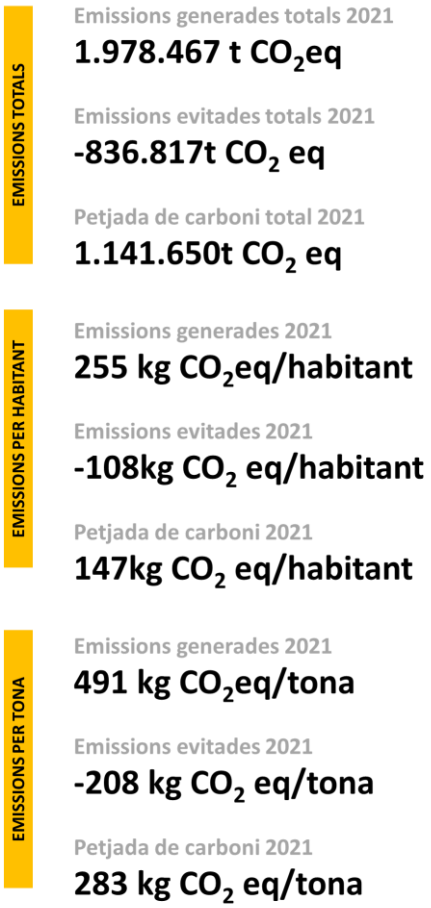


Figura B. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2021)

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 directes de les PVE, amb un 31% de les emissions 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 42% 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, seguit dels TMBs, i finalment les PVE, ja que les emissions generades en dipòsit controlat 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 més de quatre vegades superiors a les que es generen en tractaments de compostatge o digestió anaeròbia. 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).

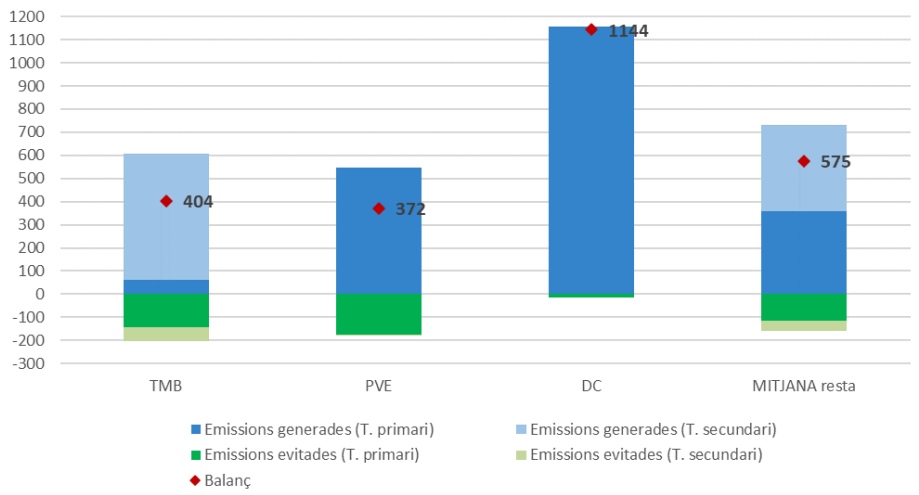


Figura C. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

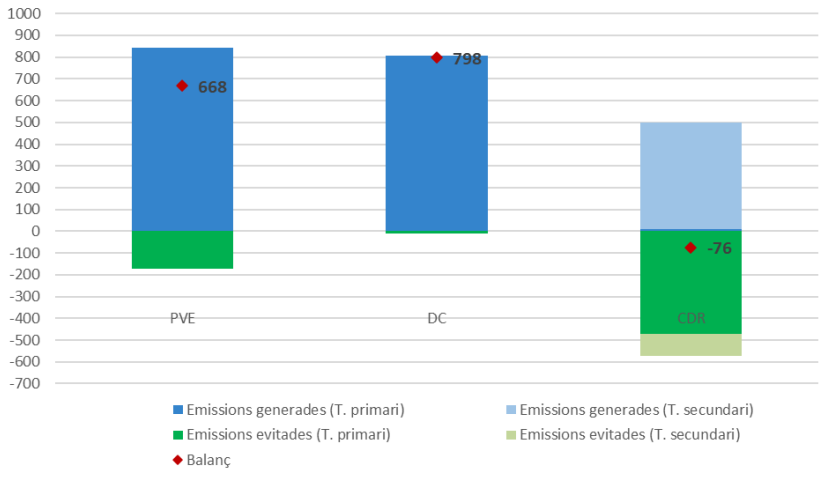


Figura D. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

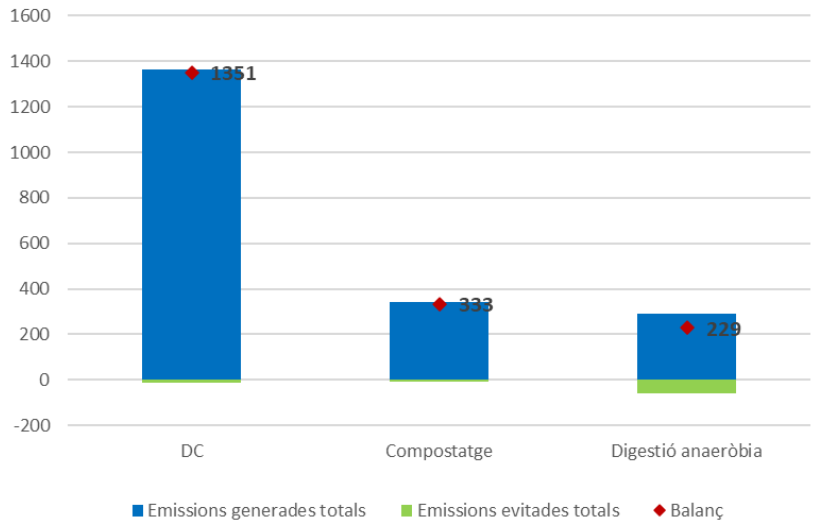


Figura E. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

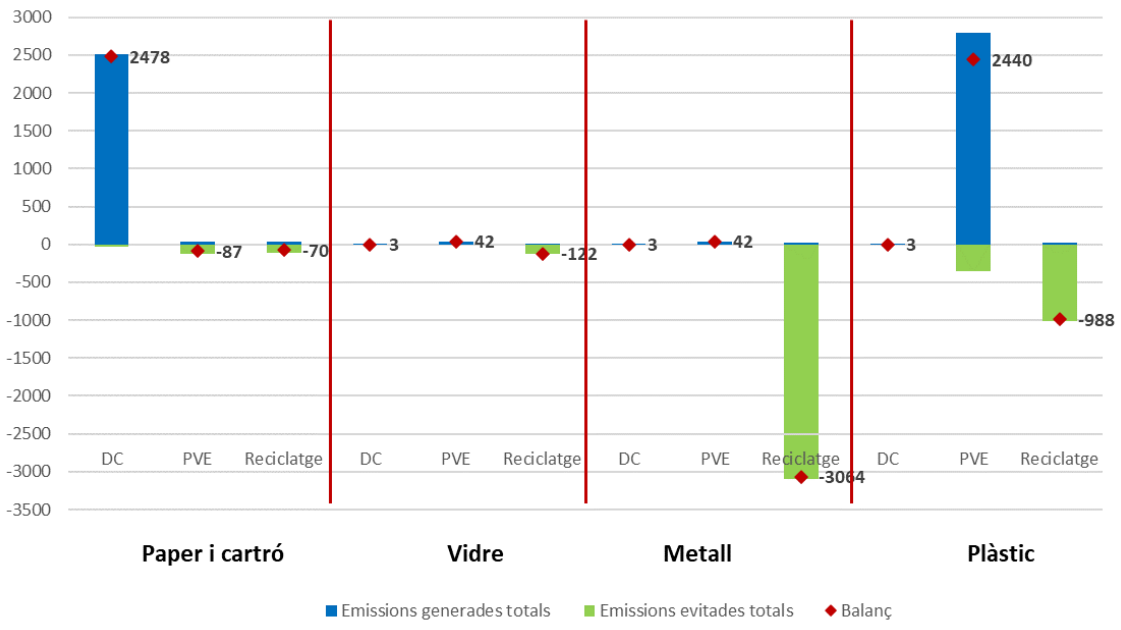


Figura F. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

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 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 CO_2 equivalent (CO_2eq).

A Catalunya les emissions de GEH derivades del tractament i l'eliminació de residus sòlids van representar el 4,6% de les emissions totals del país l'any 2019. 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 (OCCC 2021a).

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 cada vegada més tendeixen a basar-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. Eina de càlcul: CO_2ZW®

La **CO_2ZW®** es una eina pública resultat del projecte europeu '*Low Cost Zero Waste Municipality'* (1G/MED08-533 ZERO WASTE) per al càlcul de les emissions de GEH derivades de la gestió i tractament dels residus sòlids municipals (Figura 1). La CO_2ZW® ha estat 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 (Sevigné-Itoiz et al. 2013).

Figura 1. Logo de l'eina CO_2ZW (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 locals dels municipis i de Catalunya 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.

1.2. Objectius

El present projecte té per objectiu general:

- Quantificar la Petjada de Carboni de la gestió (transport i tractament) dels residus municipals dels municipis de Catalunya, des del seu origen fins al destí final, d'acord amb la situació actual (any 2021), aplicant la CO_2ZW® adaptada als canvis metodològics recents.

Els objectius específics són:

- Adaptar la CO_2ZW® amb valors per defecte de la gestió actual (2021) dels residus municipals a Catalunya, facilitant el càlcul de petjada de carboni a escala municipal.
- Incorporar canvis metodològics a la CO_2ZW® d'acord amb els criteris de càlcul de la petjada de carboni més recents.
- Quantificar la Petjada de Carboni associada a la gestió dels residus municipals per al conjunt de Catalunya per l'any 2021.

2. METODOLOGIA DE CÀLCUL – L'EINA CO_2ZW® I L'ABAST DE L'ESTUDI

La CO_2ZW® 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.

Principals característiques

Les principals característiques de la CO_2ZW® 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.

<u>Caracterització dels impactes</u>

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 (CO_2), òxid de dinitrogen (N_2O) i metà (CH_4) (IPCC 2006). A més a més, també es consideren altres gasos amb potencial efecte hivernacle quan aquests són rellevants. En el cas del CO_2 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 CO_2eq, 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 2021 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).

- 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 reactius, 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 (Boldrin et al. 2009; Prognos et al. 2008; Jungbluth 2007; Kellenberger et al. 2007; Nemecek et al. 2007; US EPA 2012; Smith et al. 2001; US EPA 2006).

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 aquest any, ja que fins ara 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.

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, es tenen 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).

Tractament de residus

Els mètodes de tractament de residus inclosos en la CO_2ZW® 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 fusta[1].
- *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).

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

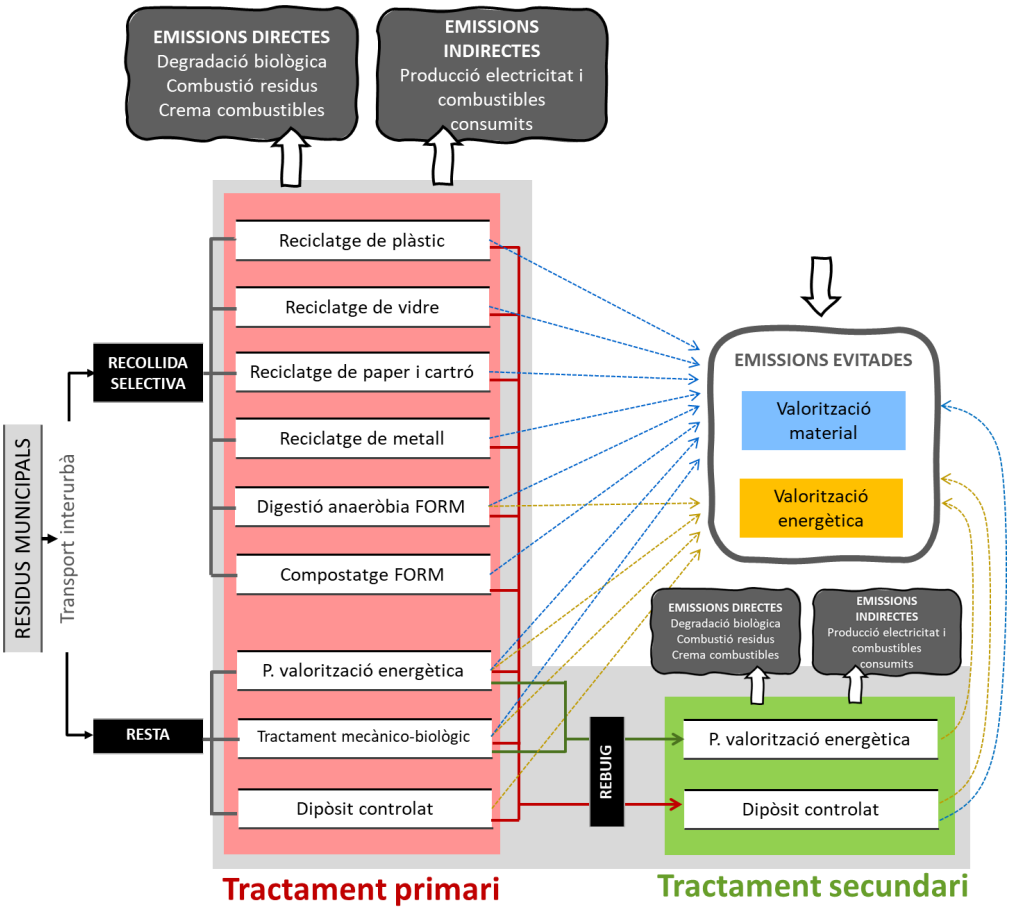


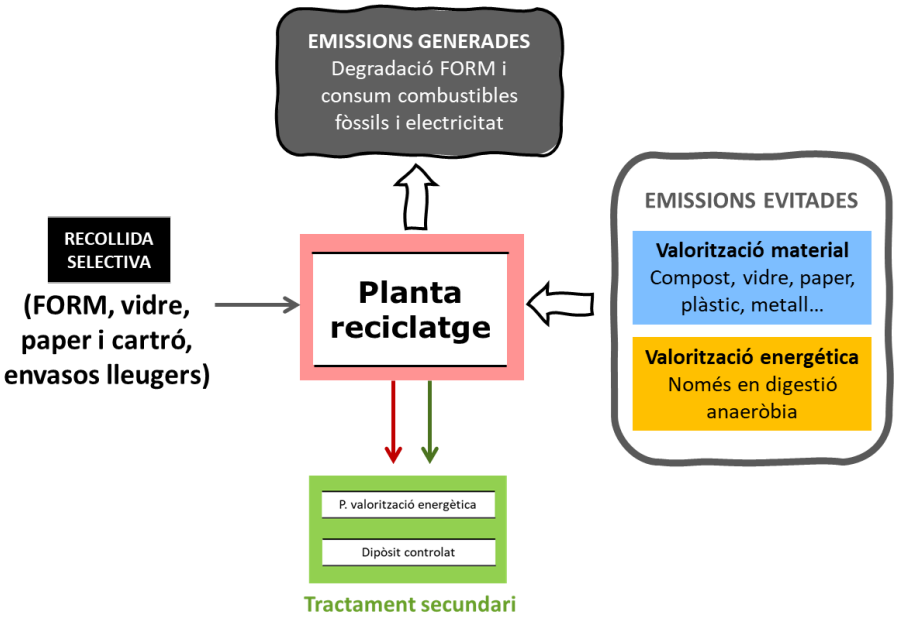
Figura 2. Abast de l'estudi de petjada de carboni a nivell global.

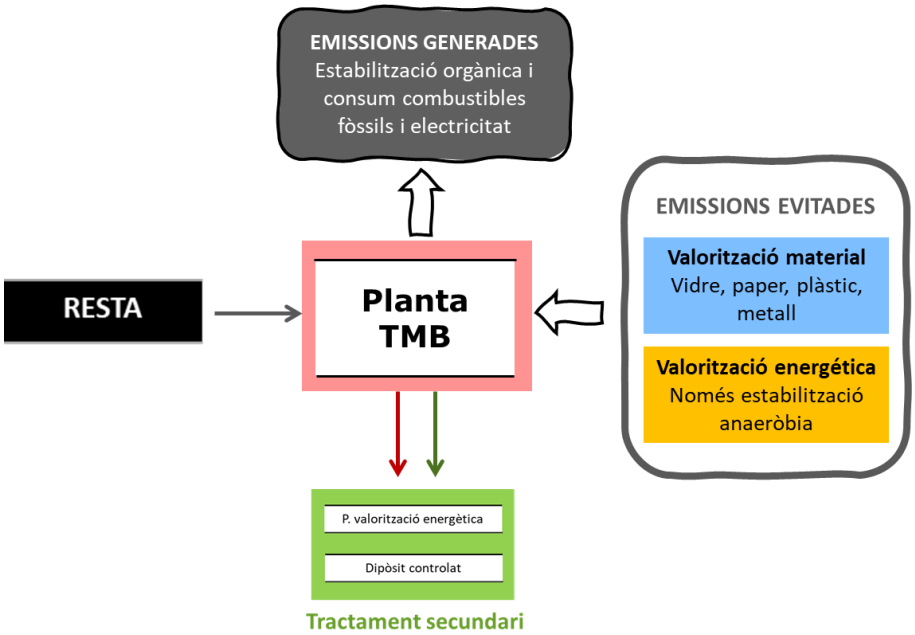
Aquesta aproximació al càlcul de la petjada de carboni permet tenir una visió global de tot el sistema de gestió de residus i facilita la definició d'estratègies i polítiques des de l'Agència de Residus de Catalunya. Es diferencia de la metodologia utilitzada per als inventaris nacionals d'emissions, 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 acumulats, que s'han depositat al llarg de les dècades prèvies.

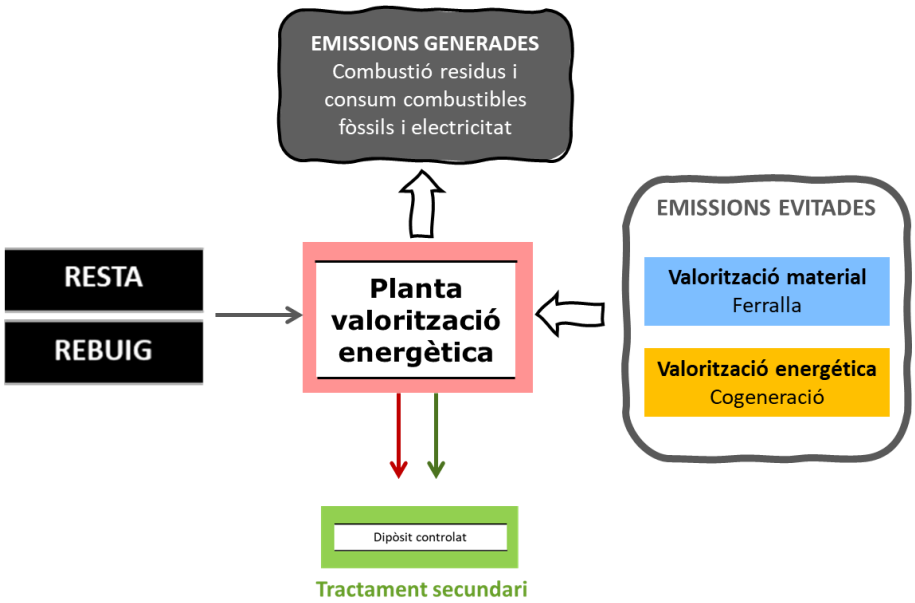
Per cada fracció de residus, es consideren tant el tractament del flux primari, com el secundari.

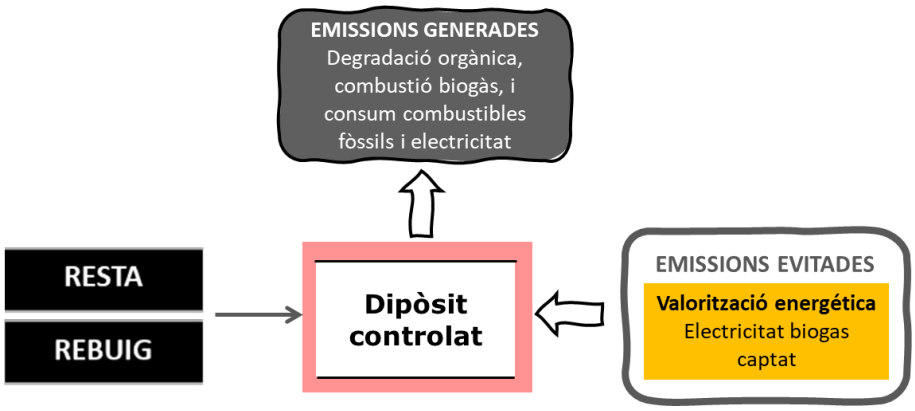
- **Flux primari**: tractament/gestió a la primera instal·lació on es tracta el residu.
- **Flux secundari**: tractament del flux de rebuig que es genera durant el tractament/gestió del flux primari. Principalment, rebuig de les plantes TMB, plantes reciclatge...

Figura 3. Abast de l'estudi de petjada de carboni per cada tipus de planta.




EMISSIONS GENERADES
Estabilització orgànica i consum combustibles fòssils i electricitat
RESTA
Planta TMB
EMISSIONS EVITADES
Valorització material
Vidre, paper, plàstic, metall
Valorització energética
Només estabilització anaeròbia
P. valorització energètica
Dipòsit controlat
Tractament secundari


EMISSIONS GENERADES
Combustió residus i consum combustibles fòssils i electricitat
RESTA
REBUIG
Planta valorització energètica
EMISSIONS EVITADES
Valorització material
Ferralla
Valorització energética
Cogeneració
Dipòsit controlat
Tractament secundari


EMISSIONS GENERADES
Degradació orgànica, combustió biogàs, i consum combustibles fòssils i electricitat
RESTA
REBUIG
Dipòsit controlat
EMISSIONS EVITADES
Valorització energética
Electricitat biogas captat

2.1. Millores metodològiques aplicades a l'eina $CO_2ZW^{®}$ per al seu ús per a Catalunya (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. Això representa un canvi metodològic important, que dificulta la comparació dels resultats amb la sèrie històrica prèvia. Aprofitant aquest moment de canvi, s'ha considerat oportú implementar altres canvis metodològics, que s'han anat identificant al llarg del treball dels darrers anys, per millorar la precisió del càlcul. A continuació es descriuen les millores metodològiques implementades.

Adaptació a les directrius més recents de l'IPCC

A continuació s'enumeren els canvis metodològics incorporats.

Adaptar les fraccions de la composició als models de l'IPCC.

Es redefineixen 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 les PVE). A la pràctica, Implica incorporar la categoria 'tèxtil sanitari (bolquers i similars)' i 'fracció vegetal'.

Nou model de càlcul en dipòsit controlat

Es consideren totes les fraccions biodegradables identificades per l'IPCC i els factors més recents de l'IPCC[2], amb un horitzó temporal de 81 anys (màxim permès per l'eina de càlcul de l'IPCC). Aquest canvi metodològic provoca canvis en els factors d'emissió individual de cada fracció considerats fins al moment a l'eina $CO_2ZW^{®}$.

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

Nous factors d'emissió en els processos de compostatge i de digestió anaeròbia.

D'acord amb la Corrigenda #9, s'actualitzen els factors d'emissió en el compostatge i la digestió anaeròbia (Taula 1).

Taula 1. Actualització dels factors d'emissió del compostatge i digestió anaeròbia

Tractament	Factor d'emissió original CO2ZW®	Factor d'emissió actualitzat	Unitats
Compostatge	4	4	Kg CH_4 / tona matèria orgànica
	0,3	0,24	Kg N_2O / tona matèria orgànica
Digestió anaeròbia	1	0,8	Kg CH_4 / tona matèria orgànica
	0	0	Kg N_2O / tona matèria orgànica

Nous factors de caracterització dels GEH

Els factors de caracterització del metà i l'òxid nitrós canvien, de manera que el potencial d'escalfament global del metà augmenta un 12%, mentre que disminueix el de l'òxid nitrós. Això implica que aquest canvi metodològic farà augmentar la contribució al canvi climàtic dels tractaments que generen metà (principalment els dipòsits controlats) (Taula 2).

Taula 2. Actualització dels factors de caracterització del metà i òxid nitrós

Gas	Factor de caracterització Quart Informe IPCC	Factor de caracterització Cinquè Informe IPCC
Metà (CH4)	25	28
Òxid nitrós (N2O)	298	265

Incorporació de dades de Catalunya

A continuació s'enumeren els canvis metodològics incorporats.

Modelitzar les instal·lacions de tractament dels residus.

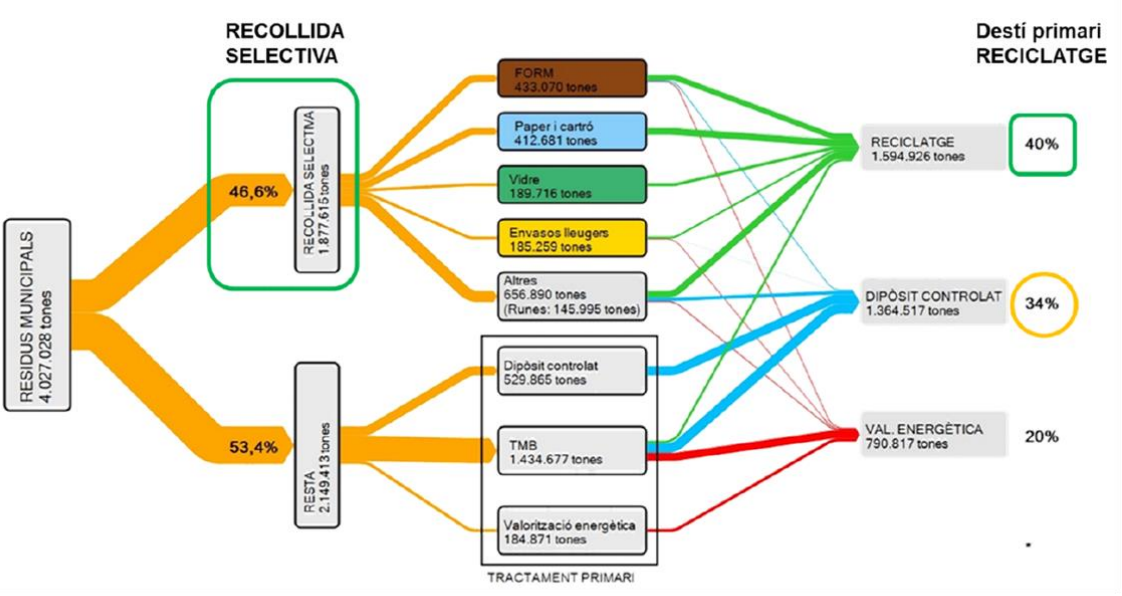
S'ha incorporat dades específiques de les instal·lacions de tractament de residus catalanes quan ha estat possible. Això inclou la incorporació de dades dels gestors de residus, per a les plantes de TMB (materials i energia valoritzats, rebuig generat, consum d'energia, producció de compost), de les 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).

Nova modelització de la composició dels residus (bossa tipus, fracció resta i rebuig)

L'eina ja no modelitza automàticament la composició de la fracció resta i del rebuig, el qual permet reduir incerteses. Per tant, el canvi metodològic consisteix en l'entrada manual de dades de composició a la calculadora, per a la bossa tipus, la fracció resta i el rebuig de les plantes de TMB. 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.

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

S'ha incorporat 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 CO_2ZW® amb els models desenvolupats per l'Agència de Residus de Catalunya (Figura 4).



*Hi ha un 7% de pèrdua de massa degut als processos de descomposició de la matèria orgànica.

Figura 4. Balanç global de la gestió dels residus municipals 2021 a Catalunya. Font: ARC

Nova modelització del comportament del bioestabilitzat en dipòsits controlats

A continuació s'enumeren els canvis metodològics incorporats.

Millora 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 2021 (amb l'anàlisi del grau d'estabilitat i de l'índex de Rottegrade), per al conjunt de plantes de TMB catalanes (Figura 5), 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.

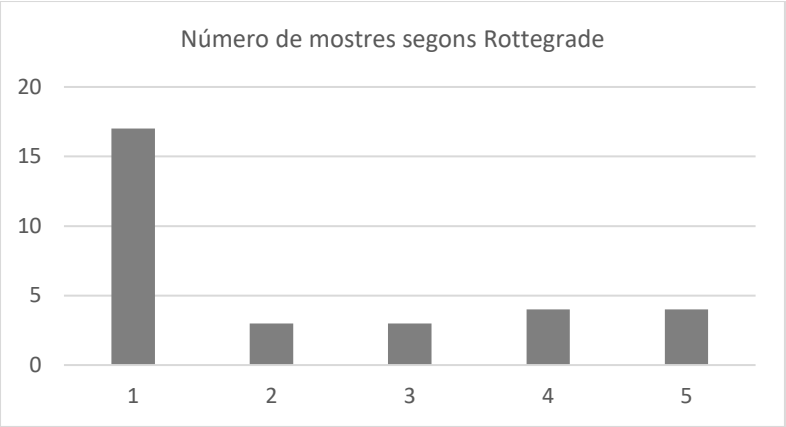


Figura 5. Índex de Rottegrade de les caracteritzacions de bioestabilitzat (un índex d'1 indica un producte immadur, mentre que un índex a partir de 4 indica maduresa o estabilitat).

Alineació amb el mètode aplicat als residus industrials

A continuació s'enumeren els canvis metodològics incorporats, els quals pretenen alinear al màxim el mètode de càlcul utilitzat per a l'avaluació de la petjada de carboni dels residus municipals, amb el mètode utilitzat per al càlcul de la petjada de carboni dels residus industrials de Catalunya[3].

Actualització dels factors d'impacte evitat associats a la valorització material i energètica

En el 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 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® utilitzava diferents factors d'impacte evitat, recollits a partir de la millor informació disponible en el seu moment. El canvi metodològic consisteix en actualitzar aquests factors per tal d'utilitzar informació més recent i que tingui en compte en la mesura del possible el context català de gestió de residus.

[3] Informe de resultats sobre la petjada de carboni de la gestió dels residus industrials de Catalunya, per al període 2017-2020. Més informació aquí.

2.2. Incorporació de dades de Catalunya a la CO_2ZW®

La calculadora CO_2ZW® conté informació per defecte de Catalunya, Espanya, Eslovènia, Grècia i Itàlia per als següents paràmetres[4]:

- 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 2021 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, hom pot calcular la petjada de carboni total de Catalunya.

[4] 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 2021

A continuació es mostren les dades per defecte considerades per a Catalunya per a l'any 2021, així com per els anys 2012-2020 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 3, tenint en compte que la població de Catalunya el 2021 ascendeix a 7.763.362 habitants i la generació total de residus municipals és de 4.027.028 tones.

Taula 3. Generació de residus per habitant a Catalunya

Any	Generació de residus (kg/habitant·dia)
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

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, es considera 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 4 mostra la composició dels residus.

Taula 4. Composició de la bossa tipus a Catalunya.

Fracció	Bossa tipus (2021)[1]	Fracció resta (2021)[1]	Rebuig TMB (2021)[1]
Matèria orgànica	26,8%	30,0%	7,6%
Poda (fracció vegetal)	5,0%	3,2%	0,0%
Paper & cartró	17,4%	13,7%	16,1%
Plàstic	13,5%	16,8%	30,0%
Vidre	7,4%	4,5%	0,6%
Metalls	2,4%	3,0%	1,3%
Fusta	7,5%	2,9%	1,1%
Tèxtils	6,7%	10,4%	18,0%
Tèxtil sanitari (bolquers i similars)	2,7%	4,6%	0,0%
Cel·luloses	3,0%	5,1%	5,4%
Altres	7,6%	5,8%	19,9%
Total	100%	100%	100%

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

Si comparem la bossa tipus de l'any 2021 amb la considerada en el període 2014-2020 (Taula 5) s'observa una caracterització més afinada, amb una part més petita del concepte "Altres", que passa de 20,2 al 7,6%. Això implica que s'identifica millor què hi ha en la bossa tipus i permet distingir millor les fraccions. A la pràctica, s'observa:

- Disminució de la matèria orgànica (l'any 2021 la matèria orgànica i la fracció vegetal juntes suposen el 31,8%, comparat amb el 37,3% de la sèrie prèvia)
- Augment del paper i cartró (passa d'11,7% a 17,4%)
- Augment del plàstic (de 10,3 a 13,5%)
- Augment dels tèxtils (de 4,1 a 6,7%).

Taula 5. Composició de la bossa tipus a Catalunya considerada en anys previs

Fracció	Catalunya (2014-2020)[1]	Catalunya (2012 i 2013)[2]
Matèria orgànica	37,3%	36,0%
Paper & cartró	11,7%	18,0%
Plàstic	10,3%	10,2%
Vidre	7,7%	7,0%
Metalls	2,4%	6,4%
Fusta	6,2%	2,5%
Tèxtils	4,1%	4,0%
Cautxú i cuir	0,0%	3,9%
Altres	20,2%	12,0%
Total	100%	100%

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

[2] PROGREMIC 2007-2012. Estudi Composició Bossa Tipus (Generalitat de 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 1,88 milions de tones. La recollida selectiva millora respecte 2020 amb un increment del 3,1%. De fet, l'any 2021 és l'any amb el percentatge més alt de recollida selectiva. No obstant d'això, no arriba a assolir els objectius de reciclatge de materials marcats per la Directiva Marc de Residus de la UE per 2020 (50%).

L'eina CO_2ZW® 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 6 mostra la quantitat de residus recollits selectivament a Catalunya (per materials).

Taula 6. 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)
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

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

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

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

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

La Taula 7 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 46,6%. Els canvis en 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 2021 respecte l'any previ es deuen als canvis en la bossa tipus, tal i com també va passar prèviament entre els anys 2013 i 2014.

Taula 7. Recollida selectiva (% en base al total de cada fracció) a Catalunya.

Any	Total (%)	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)	Matèria orgànica (%)	Fusta (%)	Tèxtil (%)	Altres (%)
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

Impropis en la FORM

La Taula 8 mostra el contingut d'impropis en la FORM recollida selectivament.

Taula 8. Impropis a la FORM a Catalunya.

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

[1]A partir de dades 2020, canvi en la comptabilització de residus comercials entrants a les plantes de tractament biològic de FORM, cosa que fa aflorar més impropis dels comptabilitzats anteriorment.

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 9). Com a novetat, per a l'any 2021 les dades s'han obtingut a partir de la informació facilitada per les plantes, en lloc de les dades reportades pels ens municipals.

- Per a les opcions de TMB, s'han considerat les dades de les plantes
- Per a la valorització energètica, s'han utilitzat les dades de les 3 incineradores catalanes operatives durant l'any 2021, 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, s'ha calculat la quantitat a dipòsit restant les quantitats tractades en TMB i PVE del total de la fracció resta recollida i reportada pels ens locals.

Aquestes consideracions metodològiques afecten la comparabilitat de les dades 2021 amb les dades d'anys anteriors.

Taula 9. Vies de tractament de la fracció resta a Catalunya.

Any	TMB (%)	Dipòsit Controlat (%)	PVE (%)
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

[1]Una part es gestiona per via d'estabilització anaeròbia (34%) i l'altra per estabilització aeròbia (66%).

Vies de tractament de la FORM

Les plantes de compostatge i biometanització tracten matèria orgànica provinent de la recollida selectiva (FORM) i les plantes TMB tracten matèria orgànica continguda en la fracció resta. 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 10.

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 10. Vies de tractament de la FORM a Catalunya.

Any	Planta compostatge piles (%)[1]	Planta compostatge túnel (%)	Compostatge TMB (%)	Biometanització TMB (%)	Planta biometanització (%)
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

[1]Inclou autocompostatge.

Eficiència de les plantes de tractament de residus i reciclatge

Les plantes de TMB recuperen materials de la fracció resta i estabilitzen parcialment la matèria orgànica. La Taula 11 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 12. 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 11. Característiques de les plantes de TMB de la resta a Catalunya.

Any	Recuperació (% en massa respecte l'entrada de resta)					Desviació matèria orgànica[1] (%)	Recuperació matèria orgànica[2] (%)	Rebuig[3] (%)
	P/C	Metall	Vidre	Plàstic	Total			
2021[4]	1,9	2,1	0,9	4,0	8,9	84,1	3,5	67,1
2020[4]	1,7	2,2	0,8	3,7	8,4	84,2	3,6	67,1
2019	2,1	2,3	0,7	4,0	9,2	83,8	2,6	68,7
2018	2,1	2,2	0,8	4,1	9,3	82,4	4,3	74,6
2017	2,2	2,3	0,8	3,6	9,0	82,6	5,9	73,9
2016	2,4	2,3	0,9	3,8	9,4	82,0	2,2	76,2
2015	2,4	2,3	0,9	3,8	9,3	82,3	3,3	75,2
2014	2,2	2,3	0,4	3,2	8,1	83,4	4,3	70,4
2013	2,0	2,0	0,4	2,7	7,1	85,0	8,5	63,6
2012	1,8	2,0	0,3	3,2	7,3	84,6	0,0	69,4

[1]Percentatge de matèria orgànica de l'entrada que és desviada del rebuig. Es calcula com: (matèria orgànica entrada – matèria orgànica rebuig) / (matèria orgànica entrada). S'assumeix que el residu d'entrada i el rebuig de sortida tenen un 36% i un 8% de matèria orgànica, respectivament.

[2]Quantitat de bioestabilitzat en relació a les entrades totals. Es considera que aquest bioestabilitzat servirà per rebliment 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.

[3]El rebuig inclou les sortides de residu a Dipòsit Controlat, PVE i a Combustible Derivat de Residus (CDR), en relació a les entrades totals.

[4]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. En anys anteriors es consideraven com part dels materials valoritzats.

Taula 12. Destí del rebuig de TMB a Catalunya.

Any	Dipòsit Controlat (%)	PVE (%)	Combustible Derivat de Residus (%)
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 13. 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 13. Eficiència de les plantes de reciclatge a Catalunya.

Any	Vidre (%)	Plàstic (%)	Metall (%)	Paper i cartró (%)
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 14 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).

Taula 14. Factors clau: mix elèctric i captació de biogàs a Catalunya.

Any	Potencial Escalfament Global Mix elèctric (kg CO_2/KWh)	Captació biogàs dipòsits controlats(%)
2021	0,259[1]	30,0[2]
2020	0,250[1]	30,0
2019	0,241[1]	30,0
2018	0,321[1]	30,0
2017	0,392[1]	30,0
2016	0,308[1]	30,0
2015	0,302[1]	30,0
2014	0,267[1]	30,0
2013	0,248[1]	30,0
2012	0,300[1]	30,0

[1] Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC 2021b)

[2] Valor obtingut de treball de camp experimental, facilitar per l'Agència de Residus de Catalunya.

2.3. Càlcul de la petjada de carboni pel conjunt de Catalunya

En aquesta fase es calcula i s'interpreta la petjada de carboni dels residus municipals generats a Catalunya. Per al càlcul de la petjada de carboni del tractament de residus, s'utilitzen les dades introduïdes en la fase prèvia (secció 2.2). Pel que fa a la petjada de carboni del transport de residus, es fa una estimació a partir dels càlculs fets per a l'any 2020, que es basen en les dades dels ens locals a escala municipal[5]. 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.

[5] Veure la sección3.3. del document "Petjada de carboni de la gestió dels residus municipals de Catalunya (2020)" per a més detall, disponible aquí.

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 2021.

3.1. Petjada de carboni dels residus municipals del conjunt de Catalunya (2021)

La petjada de carboni total de la gestió dels residus municipals de Catalunya per a l'any 2021 és de 1.141.650 t CO_2eq, i representa una emissió de 147 kg CO_2eq/habitant i de 283 kg CO_2eq/tona de residu generat (Figura 6). Aquests valors **no es poden comparar amb els resultats estimats per a la sèrie històrica prèvia**, degut a la multitud de canvis metodològics implementats (veure secció 2.2), entre els quals destaquen especialment els canvis en la modelització/composició dels residus, els nous factors d'emissió dels residus, els factors de caracterització dels GEH i la nova modelització de fluxos de residus (quantitats de rebuig gestionat per les instal·lacions finalistes).

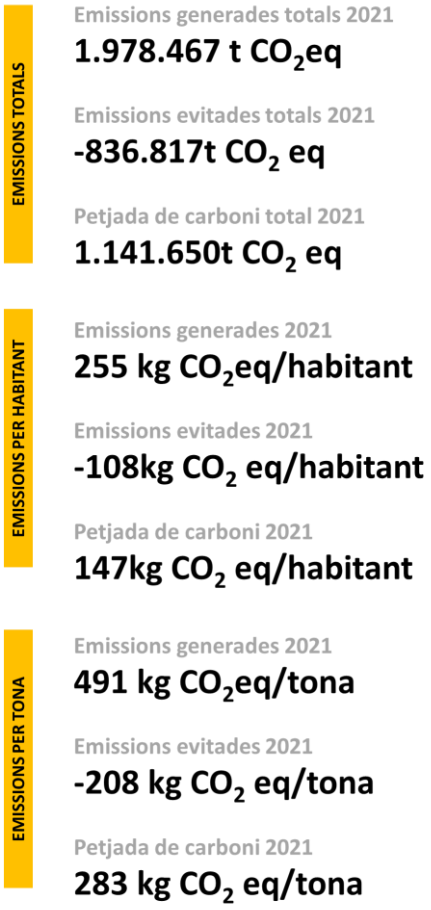


Figura 6. Indicadors de les emissions generades, evitades i de petjada de carboni de la gestió de residus municipals a Catalunya: total, per habitant i per tona de residu (2021)

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 equivalent a un 42% dels impactes generats i per tant contrarresten part de l'impacte derivat de la gestió dels residus. .

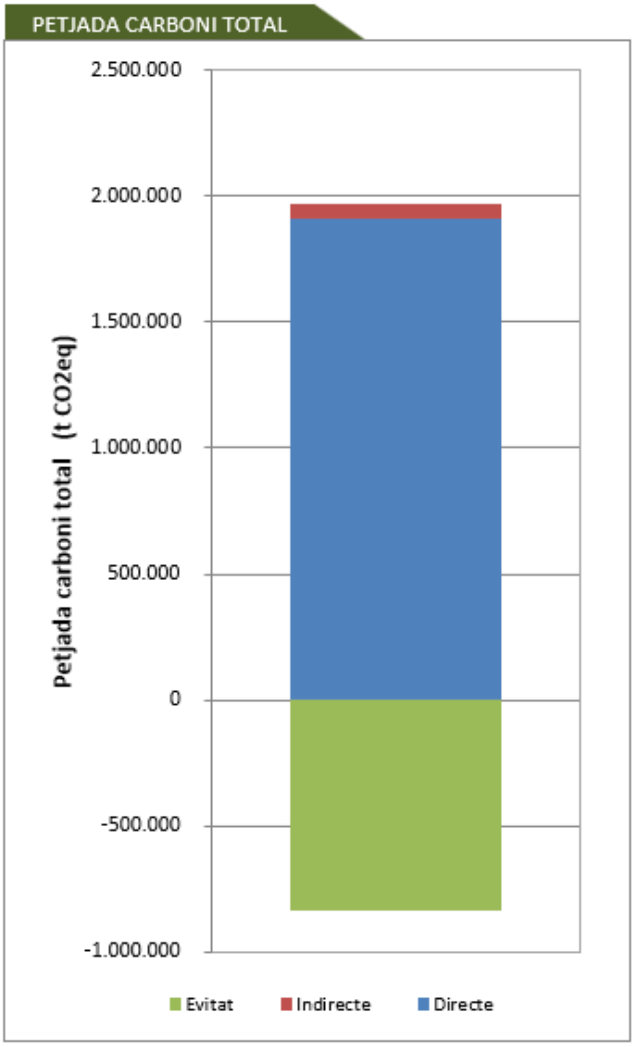


Figura 7. Petjada de carboni de Catalunya (2021): impactes directes, indirectes i evitats

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 Resta 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 resta 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 resta 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 56% de l'impacte evitat s'aconsegueix amb la recollida selectiva, i un 26% amb la valorització a les plantes de TMB) (Figura 9).

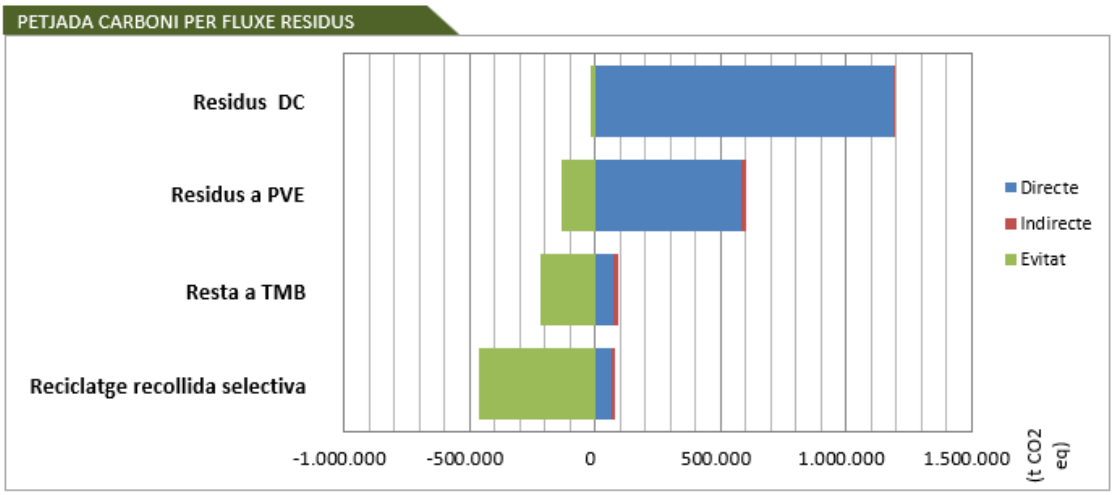


Figura 8. Petjada de carboni del tractament de residus municipals de Catalunya (2021) per tipus de tractament de residus: desagregat en emissions generades directes i indirectes, i emissions evitades.

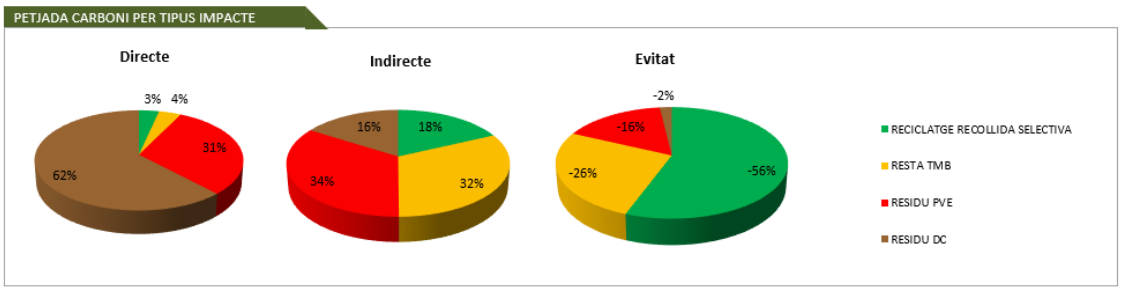


Figura 9. Origen de les emissions directes, indirectes i evitades del tractament de residus municipals de Catalunya (2021).

Valorització de residus de 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, més del 81% en les plantes de compostatge i un 10% 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. En tot cas, les plantes de reciclatge en conjunt presenten unes emissions evitades que són 6 vegades més grans que les generades. Les fraccions que contribueixen més a evitar emissions, gràcies a la valorització dels materials recuperats, són els envasos lleugers i metalls.

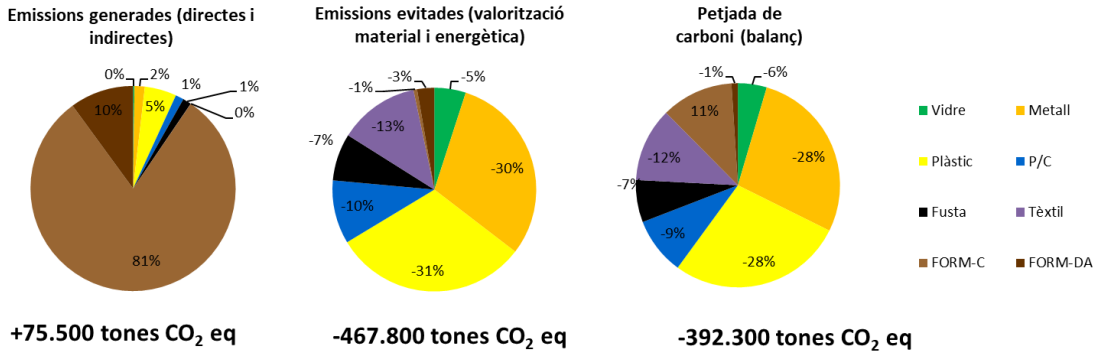


Figura 10. Petjada de carboni de la valorització dels residus de recollida selectiva (any 2021).

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)	(A+B+C)
RECICLATGE DE LA RECOLLIDA SELECTIVA		66.659	10.107	-466.270	-389.504
Paper i Cartró, Plàstics, Vidre, Metalls, Fusta i Tèxtil	1.323.569	2.111	5.096	-452.332	-445.125
Matèria orgànica destinada a produir compost	357.795	60.615	1.499	-2.411	59.703
Matèria orgànica destinada a biometanització	196.257	3.932	3.513	-11.527	-4.083
RESTA A PLANTA DE TRACTAMENT MECÀNIC BIOLÒGIC (TMB)		73.696	17.806	-219.162	-127.660
Resta total processada a TMB	1.469.696	73.696	17.602		91.298
Sortides de TMB					
Emissions evitades per la recuperació de materials i energia (sense producció de CDR)				-209.834	-209.834
Combustibles Derivats de Residus (CDR)			204	-9.328	-9.124
RESIDU A VALORITZACIÓ ENERGÈTICA (PVE)		583.954	19.039	-135.305	467.688
Planta de Valorització Energètica	775.933	583.954	19.039	-135.305	467.688
RESIDU A DIPÒSIT CONTROLAT (DC)		1.187.379	8.982	-16.080	1.180.281
Dipòsit controlat	1.349.642	1.187.379	8.982	-16.080	1.180.281
TOTAL		1.911.689	55.934	-836.817	1.130.805

Figura 11. Visió global dels resultats de petjada de carboni del tractament dels residus municipals a Catalunya (2021).

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 2021 i mitjanes de la situació a Catalunya. Les taules mostren els resultats en kg CO_2eq/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 3.

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.

<u>La resta i el rebuig</u>

La Taula 15, 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 547 kg CO_2 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 CO_2 eq., 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 575 kg CO_2 eq/tona.

Taula 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta i rebuig a Catalunya (2021).

kg CO_2 eq. / tona de residu	**Emissions generades**	**Emissions evitades**	**Balanç**
Resta			
1 t RESTA a TMB	608	-204	404
1 t RESTA a TMB (Anaeròbia)	563	-209	353
1 t RESTA a TMB (Aeròbia)	631	-201	430
1 t RESTA a PVE	547	-174	372
1 t RESTA a DC	1157	-14	1144
1 t RESTA (mitjana)	**732**	**-157**	**575**
Rebuig			
1 t rebuig a PVE	842	-174	668
1 t rebuig a DC	807	-10	798
1 t rebuig a CDR	499	-574	-76

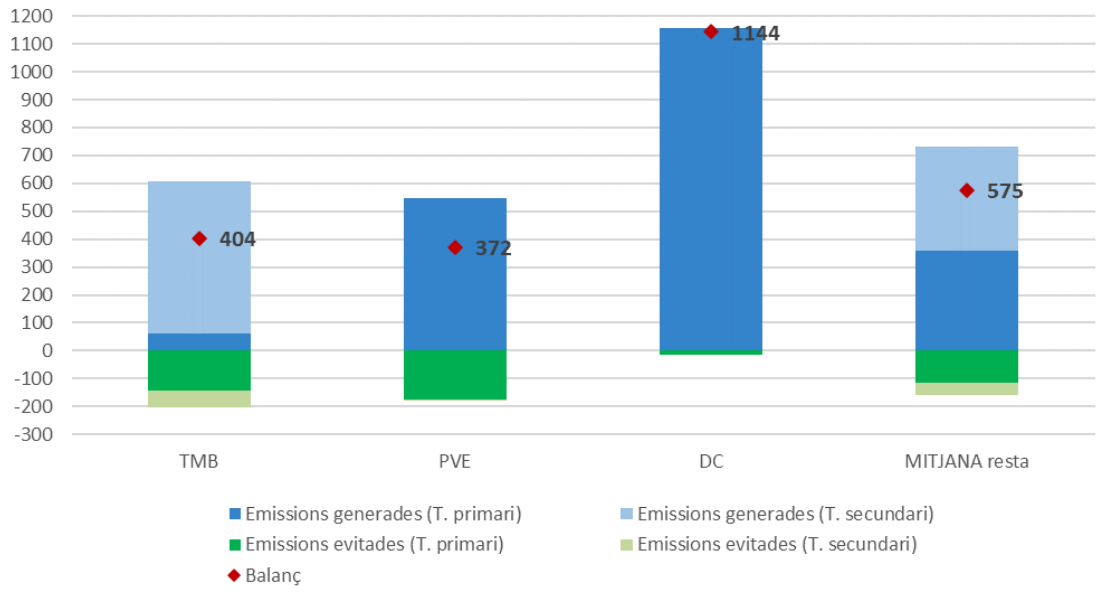


Figura 12. Factors d'emissió unitaris del tractament de la fracció resta a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

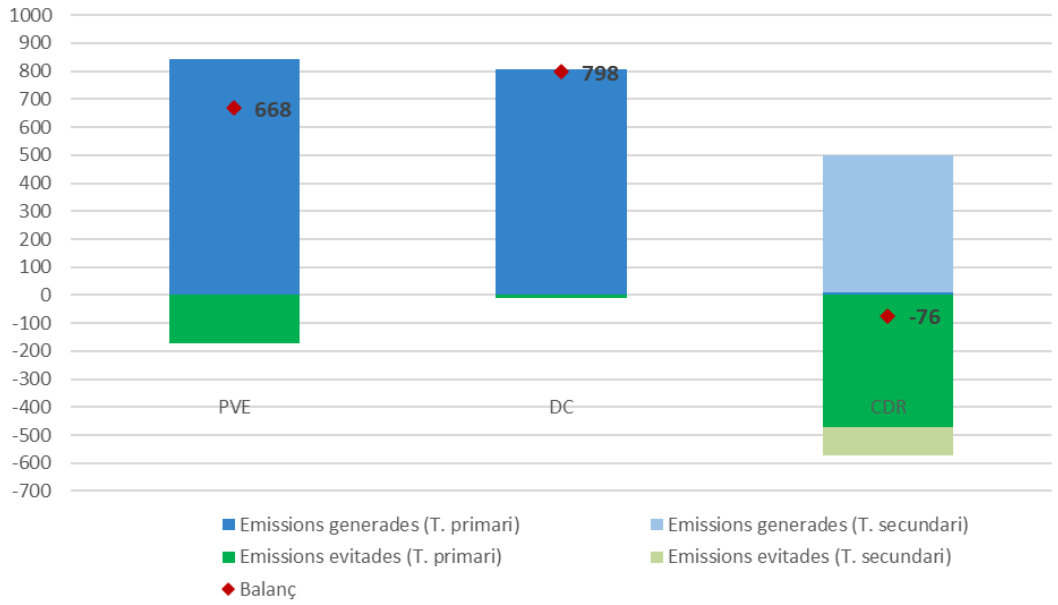


Figura 13. Factors d'emissió unitaris del tractament del rebuig a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

Fraccions recollida selectiva

La Taula 16 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 16. Factors d'emissió mitjans del tractament de fraccions de recollida selectiva excepte la FORM (2021).

	kg CO_2 eq. / tona de residu	**1 t P/C**	**1 t vidre**	**1 t metall**	**1 t plàstic**
DC	**Emissions generades**	2510	3	3	3
	Emissions evitades	-32	0	0	0
	Balanç	**2478**	**3**	**3**	**3**
PVE	**Emissions generades**	42	42	42	2792
	Emissions evitades	-129	0	0	-352
	Balanç	**-87**	**42**	**42**	**2440**
Reciclatge	**Emissions generades**	43	1	27	28
	Emissions evitades	-113	-123	-3090	-1015
	Balanç	**-70**	**-122**	**-3064**	**-988**

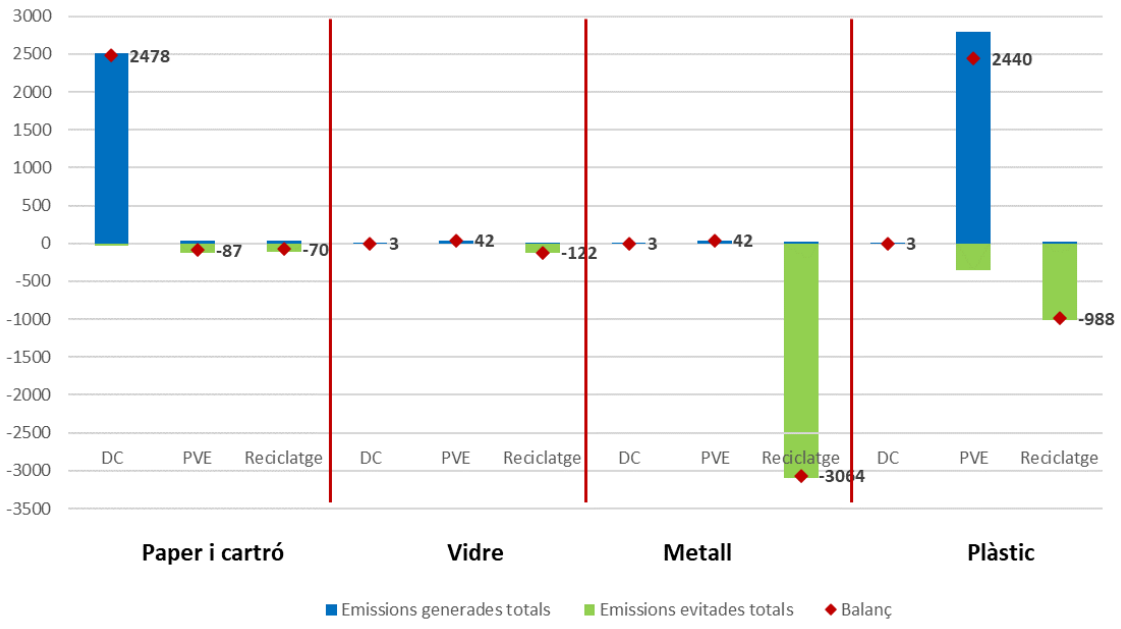


Figura 14. Factors d'emissió unitaris del tractament de les fraccions paper i cartró, vidre, metall i plàstic a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

La Taula 17 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 17. Factors d'emissió mitjans del tractament de la Fracció orgànica dels residus municipals, FORM (2021)

kg CO_2 eq. / tona de residu	**Emissions generades**	**Emissions evitades**	**Balanç**
DC	1364	-13	1351
Compostatge	343	-10	333
Digestió anaeròbia	289	-61	229

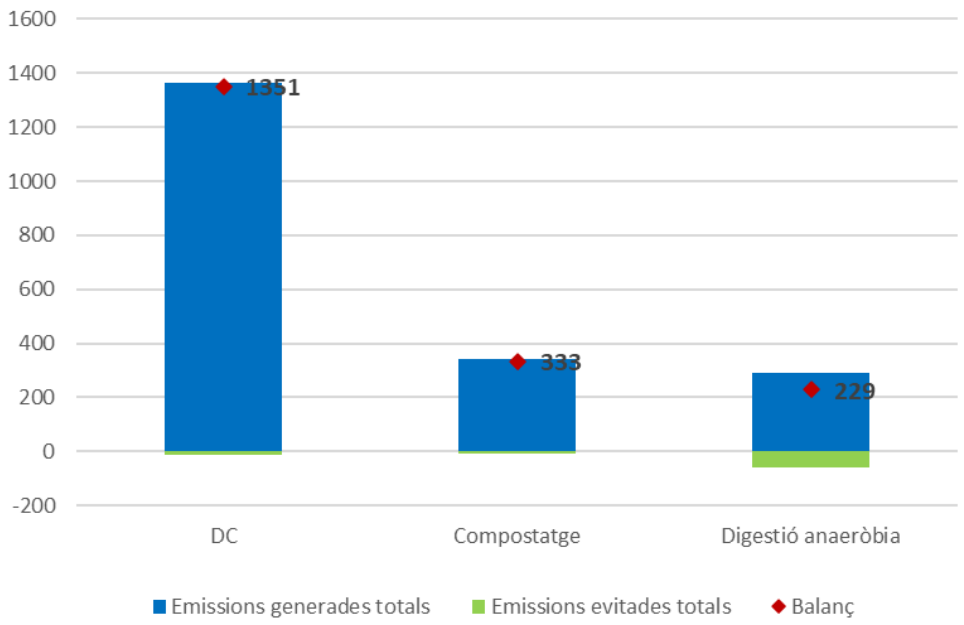


Figura 15. Factors d'emissió unitaris del tractament de la FORM a Catalunya (2021). Unitats: kg CO_2eq/tona residu

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 10.845 tones de CO_2eq, 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.

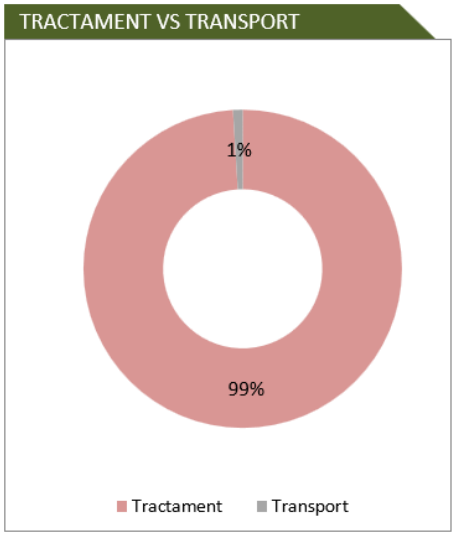


Figura 16. Contribució del transport al total d'impactes generats per la gestió dels residus municipals a Catalunya (2021)

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 255 Kg CO2eq.
- 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.
- 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. 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 56% dels impactes evitats), especialment per fraccions com la FORM, 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.
- Els ens locals poden millorar els resultats de la petjada disminuint la generació de residus, incrementant la recollida selectiva i disposant de tractaments eficients de la resta, especialment evitant la deposició directa a dipòsit.

Recomanacions

A continuació es mostra un llistat de potencials criteris a tenir en compte de cara a la presa de decisions en futurs períodes 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 va directament a 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.
- Millorar 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.

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%20magnituts_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

Boldrin A, Andersen JK, Moller J, Christensen TH, Favoino E. 2009. "Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions." Waste Management & Research 27: 800–812.

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, Sevigné-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)

Jungbluth N. 2007. "Erdöl. Sachbilanzen von Energyesystemen: Grundlagen Für Den Ökologischen Vergleich von Energiesystemen Und Den Einbezug von Energyesystemene in Ökobilanzen Für Die Schweiz (Ed. Dones R.) Ecoinvent Report No. 6-IV." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Kellenberger D, Althaus HJ, Jungbluth N, Künniger T,Lehmann A, Thalmann O. 2007. "Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data V2.0. No. 7." EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Nemecek T, Kägi T, Blaser S. 2007. "Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems." Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

OCCC. 2021a. "Inventari d'emissions Catalunya 1990-2018 (versió castellà)" Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01_EL_CANVI_CLIMATIC/inventaris_demissions/inventaris_demissions_a_catalunya/Catalunya-1990_2020v2021_publicat.xlsx (darrer accés: desembre 2021).

OCCC. 2022. "Factor d'emissió associat a l'energia elèctrica: el mix elèctric". Disponible a: https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/ (darrer accés: desembre 2022).

Prognos, Ifeu, INFU. 2008. "Resource Savings and CO2 Reduction Potential in Waste Management in Europe and the Possible Contribution to the CO2 Reduction Target in 2020." http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/aktuelles/Results_CO2_wasteproject.pdf .

Sevigné-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.

Smith A, Brown K, Ogilvie S, Rushton K, Bates J. 2001. "Waste Management Options and Climate Change." AEA Technology Environment. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

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, Tuchschmid 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 accés: octubre 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 accés: octubre 2015)

US EPA. 2006. "Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks." http://www.epa.gov/climatechange/waste/downloads/fullreport.pdf .

US EPA 2012. "Solid Waste Management and Greenhouse Gases. Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)." http://www.epa.gov/climatechange/waste/SWMGHGreport.html.