



Universitat Autònoma de Barcelona

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



# LA CODIGESTIÓ EN UNA PLANTA DE DIGESTIÓ ANAERÒBICA DE FRACCIÓ ORGÀNICA DE RESIDUS MUNICIPALS EN EL MARC DE L'ECONOMIA CIRCULAR: PRODUCCIÓ DE BIOGÀS I FACTORS ECONÒMICS

TESI DOCTORAL

**Vanessa Abad Cuñado**

DOCTORAT INDUSTRIAL (2015 DI 041)



Bellaterra, Cerdanyola del Vallès, Barcelona  
Setembre 2019

**Títol:** La codigestió en una planta de Digestió Anaeròbica de fracció orgànica de residus municipals en el marc de l'Economia Circular: producció de biogàs i factors econòmics.

**Realitzada per:** Vanessa Abad Cuñado

**Dirigida per:** Teresa Vicent Huguet i Xavier Font Segura

Programa de Doctorat en Ciència i Tecnologia Ambiental

Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental

Escola d'Enginyeria

Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, 2019

TERESA VICENT HUGUET, professora titular del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la Universitat Autònoma de Barcelona i XAVIER FONT SEGURA, professor agregat del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental.

CERTIFIQUEM:

Que l'enginyera química Vanessa Abad Cuñado ha realitzat sota la nostra direcció el treball amb títol "**La codigestió en una planta de Digestió Anaeròbica de fracció orgànica de residus municipals en el marc de l'Economia Circular: producció de biogàs i factors econòmics**", presentat en aquesta memòria, la qual constitueix la seva tesi per optar al Grau de Doctora per la Universitat Autònoma de Barcelona.

I per què en prengueu coneixement i consti als efectes oportuns, presentem a l'Escola d'Enginyeria de la Universitat Autònoma de Barcelona l'esmentada Tesi, signant el present certificat a:

Bellaterra, juliol de 2019

Dra. Teresa Vicent Huguet

Dr. Xavier Font Segura





---

...Diga'm si vas trobar la teva sort,  
diga'm que et vas guardar tots els records,  
no t'aturis quan no puguis més,  
no et rendeixis quan no puguis més.

Diga'm que no hem canviat  
que seguim endavant  
que aquesta lluita tindrà un gran final.  
Hem vingut a tombar les fronteres  
Per anar més enllà!

Caminem lluny,  
i lluny canviem un món,  
que junts ens queda a prop.

Caminem junts,  
i junts serem més forts,  
avui lluny és més a prop.

Mira com el temps ens ha fet grans  
a poc a poc i anar tirant,  
res ha estat com esperàvem.

Mira, tot ens ha volgut canviar,  
però entre els somnis hem trobat,  
el millor de cada casa...

*Doctor Prats (2018)*



---

## Agraïments

Aquest repte tan important que ha estat aquest Doctorat Industrial ha estat per mi una experiència única i molt gratificant, que només puc dir en primer lloc GRÀCIES a tots i totes que m'heu donat aquesta oportunitat per poder-lo realitzar:

Gràcies a la Generalitat de Catalunya, a l'Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris de Recerca per l'atorgament de l'ajut específic per la realització d'aquest doctorat industrial, 2015 DI 041.

Gràcies al Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental per veure aquest potencial en aquest doctorat industrial i apostar per mi perquè el portés cap endavant. No em vull oblidar de ningú, perquè tots i totes, heu contribuït en que es pogués portar a terme. Li vull agrair al Jordi Vendrell, el nostre secretari, perquè va tenir visió en aquest projecte. També als gerents del Consorci, gràcies a l'Ignasi Valls per estar sempre al costat i apostar per aquest projecte, fent-lo present en les comissions executives; a la Maria Teresa Machado per fer-lo possible i a la Carme Clapés per iniciar la idea amb aquell pla d'acció que es va fer en l'any 2015. Gràcies al president del Consorci, en Joan Daví i els vicepresidents, l'Albert Camps i el Joaquim Ferriol. Gràcies també a tots els ajuntaments consorciats del Consorci i al Consell Comarcal del Vallès Oriental.

També agrair, al meu equip de treball, la meva estimada àrea de tractament, que sense adonar-se, m'han fet veure en tot moment l'excel·lent equip professional que tenim. Per tant, agraeixo, al Pep, al German, a la Carme i a la resta de treballadors de l'àrea de Tractament (el Max, el José Ignacio, l'Albert, el Víctor, el José Luís, l'Òscar, l'Andrés, l'Omar, el Javi, el Fernando, l'Alfonso, el Seiku, l'Aitor i el Sergio) per tota la dedicació i suport que m'han donat per poder desenvolupar aquest doctorat Industrial.

Tampoc m'oblido de la resta de companys del Consorci que han col·laborat i han ajudat cadascú en les seves tasques, des de gestió econòmica (el Xavi i la Mari), gestió administrativa (la Núria i la Laia), el departament de comunicació (l'Encarna), serveis

---

jurídics (la Sílvia i l'Helena), contractació (la Patri, l'Alba i la Maria)... També a Serveis Ambientals del Vallès Oriental, als directores de l'Àrea, la Lourdes i l'Àlex.

Vull agrair al Consorci per a la Defensa de la Conca del Besòs i l'empresa pública CCB que realitza el manteniment de la Planta. I també agrair al Consorci per al Tractament de Residus Sòlids Urbans del Maresme.

Ara, em toca dirigir-me als meu directors de tesi, la Teresa Vicent i el Xavi Font. Han estat la meua guia, els meus impulsors, he après tant gràcies a ells. Ha estat una sort que formés part d'aquest equip de treball perquè ha estat immillorable. Moltes anècdotes i records que guardaré durant tota la meua vida!

Gràcies al companys/ es de la UAB, professors/es, predoctorands/es. Gràcies a la Romina Avila per la seva col·laboració. Així com també a la Tere Gea, la Raquel Barrena, l'Ernest Marco...

Gràcies a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental (ICTA) pel vostre seguiment i amabilitat als futurs doctors i doctores.

Vull agrair a l'Agència de Residus de Catalunya, pel seu suport en la realització d'aquest projecte, així com també l'Ajuntament de Granollers i, en especial, Granollers Mercat, per valorar aquest projecte i participar en diversos punts de trobada i jornades per fer-ne difusió.

També gràcies a totes les empreses que han contribuït amb mostres dels diferents tipus de residus perquè es poguessin fer els anàlisis. Gràcies per la vostra disponibilitat.

En el terreny personal, vull agrair a les meves amigues per les estones de desconexió i rialles, a la Raquel, a l'Anabel, l'Esther, l'Àngela, la Rosa i l'Helena. Hem de repetir Girona!

I ara ve un GRÀCIES INFINIT a aquelles persones que m'han ajudat a disposar de temps per poder anar avançant i no són altres que la meua FAMÍLIA:

---

Gràcies a la meva mare, l'Elisa, perquè sense ella no hagués pogut fer el que he fet. Per tantes hores de biblioteca, de no poder estar amb vosaltres i de cuidar del que més estimo en aquest món. També a la meva germana, Mònica, pel seu interès i preocupació en tot moment. Així com la meva cosina, l'Ana, que és una heroïna d'aquesta vida.

Gràcies als meus sogres, la Mari Ángeles i l'Esteban, per la vostra paciència infinita i cuidar tan bé de la petita.

I els últims agraïments els he de dedicar a les persones més importants de la meva vida, les que m'han donat les forces més grans perquè pogués continuar dia rere dia, que les tinc presents sempre quan encenia i apagava l'ordinador. Al meu company de viatge, de camí fins a l'infinit, de suport generós, el meu estimat Roberto.

I el més important és per la meva MAR, la llum que m'il·lumina cada dia i em fa ser una mica més forta cada dia que passa. Gràcies per comprendre-ho tot tan bé i encara que em deies: una altra vegada a la biblioteca! et quedaves contenta per veure que aviat ja acabava.

Doncs, aquesta tesi doctoral va per tots els que estan i els que no estan, especialment, la vull dedicar al meu pare, en Fèlix, que ja fa 20 anys que no està entre nosaltres però no hi ha dia que no pensi en ell, encara recordo quan em deia: filla, com t'aixeques tan aviat? I jo li deia amb tan sols 12 o 13 anys: papa, m'he d'esforçar una mica més...



## RESUM

Les plantes de Tractament de Residus Municipals tracten habitualment només residus municipals, excloent tots aquells residus orgànics procedents d'altres vies sigui residu orgànic comercial, residu orgànic industrial, residu agrícola...

En aquest estudi ens proposem obtenir i caracteritzar diferents tipus de residus orgànics comercials i industrials que siguin susceptibles de ser tractats a una planta de tractament de fracció orgànica de residu municipal amb l'objectiu de poder incrementar la producció de biogàs i treure més rendibilitat a la planta existent.

En concret, l'estudi es centra en la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental. Aquesta planta processa la fracció orgànica dels residus municipals generats en la seva àrea, concretament de les comarques del Vallès Oriental, Maresme i Moianès.



Panoràmica del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental



L'estudi inclou la caracterització d'aquells residus orgànics del comerç i de la indústria propers al Centre de Tractament perquè siguin complementaris mitjançant la codigestió amb el substrat principal, un detallat anàlisi de costos de tractament que, conjuntament amb el potencial de biogàs dels nous residus i el balanç de massa de la planta, permeten calcular el preu de cada residu que es tractarà a la planta. S'han caracteritzat fins a 13 residus comercials i industrials pel seu potencial de biogàs i es calcula el seu cost de tractament. Els preus del tractament oscil·len entre 81 i 51 € t<sup>-1</sup>.

Finalment, gràcies a aquest detall tan exhaustiu d'aquests residus estudiats, s'ha pogut obtenir una sèrie d'equacions parametritzades amb tota una sèrie de coeficients característics de cada residu per donar amb més exactitud el seu preu sempre partint de la gran experiència i coneixement de la fracció orgànica del residu municipal que ha servit com a base per poder fer aquest nivell de detall. Aquesta equació serviria per a qualsevol residu que volguéssim entrar com a cosubstrat.

## RESUMEN

Las plantas de Tratamiento de Residuos Municipales tratan habitualmente sólo residuos municipales, excluyendo todos aquellos residuos orgánicos procedentes por otras vías sea residuo orgánico comercial, residuo orgánico industrial, residuo agrícola ...

En este estudio nos proponemos obtener y caracterizar diferentes tipos de residuos orgánicos comerciales e industriales que pudieran ser susceptibles de poder ser tratados en una planta de tratamiento de fracción orgánica de residuo municipal con el objetivo de poder incrementar la producción de biogás y sacar más rentabilidad en la planta existente.

En concreto, el estudio se centra en la Planta de Digestión Anaeróbica y de Compostaje del Centro Comarcal de Tratamiento de Residuos del Vallés Oriental. Esta planta procesa la fracción orgánica de los residuos municipales generados en su área, concretamente de las comarcas del Vallés Oriental, Maresme y Moianés.

El estudio incluye la caracterización de residuos orgánicos del tipo comercial e industrial próximos al Centro de Tratamiento para que sean complementarios mediante la codigestión con el sustrato principal, un detallado análisis de costes de tratamiento que, conjuntamente con el potencial de biogás y el balance de masa de la planta, permiten calcular el precio de cada residuo que se tratará en la planta. Se han caracterizado hasta 13 residuos comerciales e industriales para analizar su potencial de biogás y calcular su coste de tratamiento. Los precios del tratamiento oscilan entre 81 y 51 € t<sup>-1</sup>

Finalmente, gracias a este detalle tan exhaustivo de estos residuos estudiados, se ha podido obtener una serie de ecuaciones parametrizadas con toda una serie de coeficientes característicos de cada residuo para dar con más exactitud su precio siempre partiendo de la gran experiencia y conocimiento de la fracción orgánica del residuo municipal que ha servido como base para poder hacer este nivel de detalle.

Esta ecuación serviría para cualquier residuo que quisiéramos entrar como cosustrato.

**ABSTRACT**

The municipal waste treatment plants usually treat only municipal waste, excluding all those organic waste coming from other routes, like commercial organic waste, industrial organic waste, agricultural waste ...

In this study we propose to obtain and characterize different types of commercial and industrial organic waste that could be susceptible to be treated in a treatment plant of municipal waste organic fraction with the aim of increasing the production of biogas and extracting more profitability in the existing plant.

Specifically, the study focuses on the Anaerobic Digestion and Composting Plant of the Vallès Oriental Waste Treatment Center. This plant processes the organic fraction of the municipal waste generated in its area, specifically in the regions of Vallès Oriental, Maresme and Moianés.

The study includes the characterization of organic waste of the commercial and Industrials type next to the Treatment Center so that they are complementary through co-digestion with the main substrate, a detailed analysis of treatment costs that, together with the potential of biogas and the mass balance of the plant, allow to calculate the price of each waste that will be treated in the plant. Up to 13 commercial and industrial wastes have been characterized for their biogas potential and their treatment cost is calculated. Treatment prices range between 81 and 51 € t<sup>-1</sup>

Finally, thanks to this exhaustive detail of these studied wastes, it has been possible to obtain a series of parameterized equations with a whole series of characteristic coefficients of each waste to more accurately give their price, always based on the great experience and knowledge of the organic fraction of the municipal waste that has served as the basis for this level of detail.

This equation would serve for any waste that we would like to enter as a co-substrat.

TAULA DE CONTINGUTS

RESUM .....	i
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	v
TAULA DE CONTINGUTS.....	vii
LLISTA DE TAULES .....	xi
LLISTA DE FIGURES .....	xiii
ABREVIATURES I SÍMBOLS .....	xvii
<b>CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>3</b>
1.1. <i>MARC LEGAL EN LA GESTIÓ DELS RESIDUS</i> .....	5
1.2. <i>ELS RESIDUS SÒLIDS MUNICIPALS</i> .....	7
1.3. <i>LA FRACCIÓ ORGÀNICA DELS RESIDUS MUNICIPALS</i> .....	13
1.4. <i>ECONOMIA CIRCULAR</i> .....	19
1.5. <i>DIGESTIÓ ANAERÒBIA I CODIGESTIÓ</i> .....	22
1.6. <i>PLANTES DE DIGESTIÓ ANAERÒBIQUES DE TRACTAMENT DE LA FORM</i> .....	35
1.7. <i>CONSORCI PER A LA GESTIÓ DELS RESIDUS DEL VALLÈS ORIENTAL</i> .....	37
1.8. <i>REFERÈNCIES</i> .....	41
<b>CAPÍTOL 2. OBJECTIUS DE LA TESI .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTOL 3. MATERIALS I MÈTODES .....</b>	<b>57</b>
3.1. <i>DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA</i> .....	57
3.2. <i>CO-SUBSTRATS</i> .....	64
3.3. <i>MÈTODES ANALÍTICS</i> .....	68
3.4. <i>ASSAIG DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓ DE BIOGÀS (BMP)</i> .....	70
3.5. <i>MODEL CINÈTIC</i> .....	72
3.6. <i>REFERÈNCIES</i> .....	73
<b>CAPÍTOL 4. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBSTRATS .....</b>	<b>77</b>

4.1.	<i>CARACTERITZACIÓ DELS COSUBSTRATS</i> .....	77
4.2.	<i>PROVES INDUSTRIALS. ANÀLISIS DEL REBUIG</i> .....	84
4.3.	<i>PROVES INDUSTRIALS. CONTINGUT EN METALLS</i> .....	88
4.4.	<i>CONCLUSIONS</i> .....	89
4.5.	<i>REFERÈNCIES</i> .....	90
<b>CAPÍTOL 5. BALANÇOS DE MATÈRIA I D'ENERGIA</b> .....		<b>93</b>
5.1.	<i>BALANÇ DE MATÈRIA</i> .....	93
5.2.	<i>BALANÇ D'ENERGIA</i> .....	108
5.3.	<i>CONCLUSIONS</i> .....	111
5.4.	<i>REFERÈNCIES</i> .....	112
<b>CAPÍTOL 6. ANÀLISI ECONÒMIC</b> .....		<b>117</b>
6.1.	<i>PROPOSTA D'INVERSIONS</i> .....	117
6.2.	<i>ESTUDI ECONÒMIC DEL TRACTAMENT</i> .....	121
6.3.	<i>AMPLIACIÓ DE L'AUTORITZACIÓ AMBIENTAL</i> .....	136
6.4.	<i>PREU PER CADA RESIDU</i> .....	137
6.5.	<i>CONCLUSIONS</i> .....	143
6.5.	<i>REFERÈNCIES</i> .....	144
<b>CAPÍTOL 7. CONCLUSIONS</b> .....		<b>149</b>
<b>ANNEX I. EXPLICACIÓ TÈCNICA, MEMÒRIA DE LA PLANTA</b> .....		<b>153</b>
1.	<i>RECEPCIÓ I PRETRACTAMENT SEC</i> .....	155
2.	<i>TRACTAMENT HUMIT</i> .....	158
3.	<i>DIGESTIÓ ANAERÒBIA</i> .....	160
4.	<i>COGENERACIÓ</i> .....	165
5.	<i>COMPOSTATGE/ESTABILITZACIÓ I REFÍ</i> .....	166
6.	<i>REFÍ DEL COMPOST I EMMAGATZEMAMENT</i> .....	168
7.	<i>TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS</i> .....	169
8.	<i>TRACTAMENT D'AIRE I DESODORITZACIÓ</i> .....	169
<b>ANNEX II. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBTRATS</b> .....		<b>173</b>
9.	<i>RESIDU D'UNA PLANTA DE TRACTAMENT DE RESIDUS ORGÀNICS COMERCIALS</i> .....	175
10.	<i>AIGUA RESIDUAL DE LA DESTIL·LACIÓ GLICEROL:AIGUA</i> .....	178
<b>ANNEX III. BALANÇOS DE MATÈRIA DE LA PLANTA AMB ELS COSUBSTRATS</b> .....		<b>179</b>
<b>ANNEX IV. PRESSUPOSTOS INVERSIONS</b> .....		<b>191</b>

<b>ANNEX V. DETALL ECONÒMIC FORM .....</b>	<b>209</b>
<b>ANNEX VI. CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>215</b>





LLISTA DE TAULES

<b>CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>3</b>
<i>Taula 1.1. Generació Residus Sòlids Municipals al món (adaptat de Rand et al. (2000)).....</i>	<i>9</i>
<i>Taula 1.2. Composició de residu alimentari de diferents països Capson-Tojo et al. (2016) .....</i>	<i>13</i>
<i>Taula 1.3. Residus considerats FORM (ARC, 2019).....</i>	<i>14</i>
<i>Taula 1.4. Percentatge aritmètic (en pes) dels impropis de la FORM per diferents sistemes de recollida (2006-2008) (Puig-Ventosa et al., 2013).....</i>	<i>18</i>
<i>Taula 1.5. Resultats dels diferents sistemes de recollida a Catalunya (Portaaporta, 2019) .....</i>	<i>18</i>
<i>Taula 1.6. Factors d'emissió per diferents sistemes de gestió de RSM. (Mata-Alvarez et al.(2000)) .....</i>	<i>24</i>
<i>Taula 1.7. Comparativa de la digestió anaeròbia via seca i via humida per FORM (Fagbohunge et al., 2015).....</i>	<i>27</i>
<i>Taula 1.8. Tecnologies de DA per la FORM (Clarke, 2018) .....</i>	<i>30</i>
<i>Taula 1.9. Característiques d'alguns experiments de laboratori sobre codigestió entre fangs d'aigües residuals i FORM (Mata-Álvarez et al. (2011)).....</i>	<i>33</i>
<i>Taula 1.10. Comparativa entre Austràlia, Alemanya, i Itàlia en termes de plantes de digestió anaeròbia per bioenergia, incentius per producció d'energies renovables, i polítiques de gestió de residus, (Nghiem, L.D.,2017).....</i>	<i>34</i>
<i>Taula 1.11. Plantes de tractament de la fracció orgànica del residu municipal (comunicació pròpia). C és compostatge i DA és digestió Anaeròbia. ....</i>	<i>35</i>
<i>Taula 1.12. Codis CER autoritzats a l'Autorització Ambiental. ....</i>	<i>38</i>
<i>Taula 1.13. Projectes europeus en les que ha participat el CGRVO.....</i>	<i>41</i>
<b>CAPÍTOL 2. OBJECTIUS DE LA TESI .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTOL 3. MATERIALS I MÈTODES .....</b>	<b>57</b>
<i>Taula 3.1. Composició FORM 2018 (mitja ponderada).....</i>	<i>58</i>
<i>Taula 3.2. Descripció dels residus utilitzats com a co-substrats.....</i>	<i>65</i>
<i>Taula 3.3. Especificacions del cromatògraf de gasos per anàlisi del biogàs.....</i>	<i>69</i>
<b>CAPÍTOL 4. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBSTRATS .....</b>	<b>77</b>
<i>Taula 4.1. Potencial de biogàs i metà pels cosubstrats estudiats. Paràmetres experimentals i cinètics....</i>	<i>79</i>
<i>Taula 4.2. Resultats del materials rebutjat de les proves industrials .....</i>	<i>85</i>
<i>Taula 4.3. Resultats del contingut de metalls.....</i>	<i>88</i>
<b>CAPÍTOL 5. BALANÇOS DE MATÈRIA I D'ENERGIA .....</b>	<b>93</b>
<i>Taula 5.1. Balanç de matèria de la Planta corresponent a les dades de l'any 2016. Tots els valors en tones i referenciats al tractament de 1 tona de FORM. ....</i>	<i>94</i>
<i>Taula 5.2. Potencial de biogàs rebutjos de la planta (Colazo et al., 2015).....</i>	<i>99</i>

<i>Taula 5.3. Resultats índex respiromètric dinàmic, UAB (2019). FORM_e és la FORM d'entrada a la Planta. FORM_pre és la matèria orgànica processada pel pretractament sec, fracció lleugera és el residu que surt del procés de tractament humit, el rebuig inert és la fracció pesada i les sorres que surt de procés del tractament humit, el digest és el fang que surt dels cargols deshidratadors i el compost és el producte acabat. FAS és free air space (porositat) .....</i>	100
<i>Taula 5.4. Punt d'alimentació en la planta de cadascun dels substrats. ....</i>	101
<i>Taula 5.5. Producció de biogàs dels substrats .....</i>	103
<i>Taula 5.6. Taula de consum elèctric i generació d'energia (Informació pròpia).....</i>	109
<i>Taula 5.7. Dades font tèrmica gasos d'escapament (fitxa tècnica motor).....</i>	110
<i>Taula 5.8. Dades font tèrmica refrigeració camises bloc motor (fitxa tècnica motor).....</i>	110
<i>Taula 5.9. Dades font tèrmica refrigeració camises bloc motor (fitxa tècnica motor).....</i>	110
<b>CAPÍTOL 6. ANÀLISI ECONÒMIC .....</b>	<b>117</b>
<i>Taula 6.1. Valoració econòmica Digestor Anaerobi .....</i>	119
<i>Taula 6.2. Detall de l'amortització de la maquinària .....</i>	121
<i>Taula 6.3. Paràmetres retributius dels motors de cogeneració.....</i>	123
<i>Taula 6.4. Paràmetres utilitzats pel càlcul dels ingressos, costos i costos del tractament dels residus a la Planta.....</i>	130
<i>Taula 6.5. Coeficients relatiu al càlcul d'ingressos, costos i costos de tractament de la Planta. ....</i>	131
<i>Taula 6.6. Anàlisi econòmic del tractament dels residus dels supermercats (€ t<sup>-1</sup>) i el percentatge de contribució de cada concepte. ....</i>	132
<i>Taula 6.7. Preus dels residus de supermercat incloent el retorn del cànon.....</i>	136
<i>Taula 6.8. Codis CER no presents a l'Autorització Ambiental.....</i>	136
<i>Taula 6.9. Preu de tractament dels residus estudiats.....</i>	139
<i>Taula 6.10. Cànon o gravamen per deposició i incineració dels residus municipals (Llei 5/2017, del 28 de març).....</i>	141
<i>Taula 6.11. Producció de compost i aigües residuals de la FORM i el cosubstrat. ....</i>	142

LLISTA DE FIGURES

<b>RESUM .....</b>	<b>i</b>
<i>Panoràmica del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental.....</i>	<i>i</i>
<b>CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>3</b>
<i>Figura 1.1. Model català de residus municipals (ARC, 2019).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 1.2. Evolució de la recollida FORM (2000-2017). Font: ARC, 2017b.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 1.3. Economia circular (Marcet et al., 2018).....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.4. Tractament del residu sòlid municipal en EU-27 pel tipus de tractament, (kg per càpita), 1995-2017 (Eurostat).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 1.5. Visió general dels quatre passos principals de la reacció del procés de digestió anaeròbia: hidròlisi, acidogènesi, acetogènesi i metanogènesi. AGVCL (Àcids grassos volàtils de cadena llarga), AGVCC (Àcids grassos volàtils de cadena curta). Madsen et al. (2011).....</i>	<i>23</i>
<b>CAPÍTOL 3. MATERIALS I MÈTODES .....</b>	<b>57</b>
<i>Figura 3.1. Imatge aèria de la planta .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.2. Diagrama de fluxos dels processos de tractament de la FORM a la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.3. Àrea de pretractament sec.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.4. Àrea de tractament humit.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.5. Hidrociclons.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.6. Digestió Anaeròbia.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.7. Àrea de compostatge.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.8. Instal·lació Refí.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.9. Tractament d'aïres.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.10. SM1.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.11. SM2.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.12. SM3.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.13. SM4.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.14. Residus de la lasanya.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.15. Residus de les patates.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.16. Residus orgànics líquids comercials.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.17. Residus del glicerol.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.18. Reactors en discontinu utilitzats pels tests BMP.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.19. Mesura pel cromatògraf de gasos.....</i>	<i>71</i>

<b>CAPÍTOL 4. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBSTRATS .....</b>	<b>77</b>
<i>Figura 4.1. Producció de biogàs net dels residus dels supermercats i el residu de referència (FORM): (◇) supermercat 1; (□) supermercat 2; (△) supermercat 3; (X) supermercat 4; (○) FORM. ....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.2. Rodants a la cinta.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 4.3. Orgànica dins del pulper.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.4. Embús a la cinta .....</i>	<i>87</i>
<b>CAPÍTOL 5. BALANÇOS DE MATÈRIA I D'ENERGIA .....</b>	<b>93</b>
<i>Figura 5.1. Balanç de matèria de la Planta corresponent a les dades de l'any 2016. ....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 5.2. Balanç de matèria de la biometanització corresponent a les dades de l'any 2016. ....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 5.3. Balanç de matèria de la Planta amb SM2. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.4. Balanç de matèria de la Planta amb Residu de pasta i carn .....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 5.5. Balanç de matèria de la Planta amb Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% dilució .....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 5.6. Fluxos energètics en una planta de digestió anaeròbica (Kothari et al., 2014).....</i>	<i>108</i>
<b>CAPÍTOL 6. ANÀLISI ECONÒMIC .....</b>	<b>117</b>
<i>Figura 6.1. Trituradora ARJES, model VZ-70.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 6.2. Motor de cogeneració .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 6.3. Organigrama de l'Àrea de Tractament .....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 6.4. Opcions de gestió del residu comercial (Comunicació pròpia) .....</i>	<i>134</i>
<b>ANNEX I. EXPLICACIÓ TÈCNICA, MEMÒRIA DE LA PLANTA.....</b>	<b>153</b>
<i>Figura 1. Foto panoràmica de l'àrea de pretractament sec i l'àrea de tractament humit .....</i>	<i>157</i>
<i>Figures 2. Pulpers (foto esquerra).Detall interior pulper (foto dreta).....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 3. Àrea de biometanització: digestors anaeròbics i motors de cogeneració .....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 4. Galeria de ventiladors dels túnels de compostatge.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 5. Instal·lació de tractament de l'aire (rentadors químics àcid i bàsic; humidificador) .....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 6. Detall del rebliment de bruc del Biofiltre .....</i>	<i>172</i>
<b>ANNEX III. BALANÇOS DE MATÈRIA DE LA PLANTA AMB ELS COSUBSTRATS.....</b>	<b>179</b>
<i>Figura 7. Balanç de matèria de la Planta amb SM1 .....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 8. Balanç de matèria de la Planta amb SM3 .....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 9. Balanç de matèria de la Planta amb SM4 .....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 10. Balanç de matèria de la Planta amb residu de lasanya (només pasta).....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 11. Balanç de matèria de la Planta amb residu de l'empresa de patates (peles).....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 12. Balanç de matèria de la Planta amb aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució. ....</i>	<i>186</i>
<i>Figura 13. Balanç de matèria de la Planta amb aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució. Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. ....</i>	<i>187</i>

<i>Figura 14. Balanç de matèria de la Planta amb aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució. Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial (tamisat)...</i>	188
<i>Figura 15. Balanç de matèria de la Planta amb aigua residual d'una empresa d'alimentació .....</i>	189
<i>Figura 16. Analítica del biogàs.....</i>	190
<b>ANNEX V. DETALL ECONÒMIC FORM .....</b>	<b>209</b>
<i>Figura 17. Detall d'ingressos de la FORM .....</i>	211
<i>Figura 18. Detall despeses de la FORM (conceptes del 1 al 4).....</i>	212
<i>Figura 19. Detall despeses de la FORM (conceptes del 5 al14).....</i>	213
<i>Figura 20. Detall despeses de la FORM (conceptes del 15 al 21).....</i>	214



## ABREVIATURES I SÍMBOLS

ARC: Agència de Residus de Catalunya

AIE: Agència Internacional de l'Energia

Am: Cost de l'amortització de la instal·lació.

BMP: Biological Methane Potential

CCTRVO: Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental

CE<sub>FORM</sub>: Cost del consum de l'electricitat per tona de FORM

C<sub>FORM</sub>: Ingressos per la venda de compost per tona de FORM

CGRVO: Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental

CO: Costos

CoDA: Codigestió anaeròbica

DA: Digestió Anaeròbia

DQO: Demanda Química d'Oxigen

DBO<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica d'Oxigen

DG: Despeses generals

EEA: Espai Econòmic Europeu

EP<sub>FORM</sub>: Ingressos per la venda d'electricitat per tona de FORM

FO: Fracció orgànica

FORM: Fracció orgànica del residu municipal

FV: Fracció vegetal

GEH: Gasos d'efecte hivernacle

IN: ingressos

IRD: Índex respiromètric dinàmic

MC<sub>FORM</sub>: Cost del manteniment de la cogeneració per tona de FORM

M<sub>FORM</sub>: Cost del manteniment per tona de FORM

MS: Matèria seca

n.d: no disponible

OCDE: Organització per la Cooperació i el desenvolupament econòmic.

PaP: Porta a porta

PE<sub>FORM</sub>: Cost del peatge d'electricitat per tona de FORM



PM: Preu de mercat de l'electricitat

PO<sub>FORM</sub>: Cost de l'operació de la Planta per tona de FORM

PR: Preu del residu

PT: Preu total de venda electricitat

RA: Residu alimentari

RBM<sub>FORM</sub>: Cost del material rebutjat per tona de FORM

Rinv: Retribució a la inversió

RM<sub>FORM</sub>: Ingressos per la venda de materials recuperats per tona de FORM

Ro: Retribució a l'operació

RSM: Residu sòlid municipal

ST: Sòlids totals

ST<sub>FORM</sub>: Cost de personal per tona de FORM

SV: Sòlids volàtils

SM: Supermercat

TAR<sub>FORM</sub>: Cost del tractament de les aigües residuals per tona de FORM

TB<sub>FORM</sub>: Cost de la taxa de biogàs per tona de FORM

T<sub>ELEC</sub>: % impost del valor de la producció d'energia elèctrica

TMB: Tractament mecànic biològic

TR: Cost de tritució

TRH: Temps de residència hidràulic

UE: Unió Europea

WtE: Waste to Energy

## **CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ**

### ***Resum***

En aquest capítol es fa una bàsica introducció de referència a la legislació corresponent a la definició dels residus municipals, les seves característiques, vies de gestió, seguit d'una petita explicació del procés de la digestió anaeròbia i de la codigestió. Així mateix, es comenta el paper imprescindible i, en evolució, de l'economia circular a l'entorn del residu orgànic.

Finalment es presenten les funcions i l'objecte que té el Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental.



## CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

El canvi climàtic és la principal preocupació mediambiental de la societat espanyola, una enquesta demostra que els ciutadans estan conscienciats i preocupats pel canvi climàtic (Greenpeace, 2017). Dintre de les causes del canvi climàtic, figura la desforestació i la degradació forestal, la gran industrialització, la creixent demanda d'energia obtinguda de combustibles fòssils, així com també l'augment en la generació de residus juntament amb la seva mala gestió, entre d'altres.

Per definició, un residu és aquell material que es genera com a conseqüència no desitjada de qualsevol activitat humana, el generador o posseïdor del qual se n'ha després o té la intenció o obligació de desprendre-se'n (Decret legislatiu 1/2009, de 21 de juliol, art. 3)

Concretament, la gestió inadequada dels residus provoca un gran impacte en el medi ambient, mitjançant l'emissió de gasos com el diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) i metà (CH<sub>4</sub>) a l'atmosfera, responsables de l'efecte hivernacle i l'escalfament global, així com l'emissió de contaminants a la terra i a les aigües subterrànies, (Martín, 2011).

Els residus sòlids són una gran font de metà, gas d'efecte hivernacle amb un potencial equivalent en kg CO<sub>2</sub> molt elevat i molt impactant a curt termini, a nivell mundial estimat en 1460 MtCO<sub>2</sub>eq, que representa gairebé un 5% del total de les emissions globals dels gasos d'efecte hivernacle (Hoornweg et al., 2012)

Els residus sòlids es poden classificar en els següents grups:

- Residus municipals: aquells residus generats en els domicilis particulars, els comerços, les oficines i els serveis, i també els que no tenen la consideració de residus especials i que per llur naturalesa o composició es poden assimilar als que es produeixen en els dits llocs o activitats. Tenen també la consideració de residus municipals els residus procedents de la neteja de les vies públiques, zones verdes,

- àrees recreatives i platges; els animals domèstics morts; els mobles, els estris i els vehicles abandonats; els residus i els enderroc procedents d'obres menors i de la reparació domiciliària (article 3 del Decret Legislatiu 1/2009, de 21 de juliol).
- Residus industrials: aquells residus resultants d'un procés de fabricació, de transformació, d'utilització, de consum o de neteja, la persona productora o posseïdora dels quals té voluntat de desprendre-se'n i que no poden ser considerats residus municipals (article 3 del Decret Legislatiu 1/2009, de 21 de juliol).
  - Residus sanitaris: aquells residus que provenen del sector sanitari, estan regulats pel Decret 27/1999 de gestió de residus sanitaris. La seva classificació segons la gestió:
    - Grup I: assimilables a municipals
    - Grup II: sanitaris no específics (no presenten risc per la salut)
    - Grup III: sanitaris específics o de risc
    - Grup IV: tipificats en normativa singular
  - Residus radioactius: materials i objectes contaminats amb nuclis radioactius pels quals no està previst cap ús, regulat pel Real Decret 102/2014, de 21 de febrer.
  - Residus ramaders: residus d'origen d'explotacions ramaderes regulat pel Decret 40/2014, de 25 de març. En trobaríem de dos tipus:
    - Orgànics: fems, pinsos...(no són residus dins de l'explotació, però sí a fora)
    - Inorgànics: roba, paper, sacs pinso, ... (habitualment assimilables a municipals).
  - Residus d'enderroc i de construcció: provenen d'enderroc: aquests residus estan regulats pel Decret 89/2010, de 29 de juny, regulador de la producció i gestió dels residus de la construcció i la demolició.

## 1.1. MARC LEGAL EN LA GESTIÓ DELS RESIDUS

A nivell europeu, cal destacar en primer lloc la normativa comunitària en matèria de residus, la Directiva 2008/98/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 19 de novembre de 2008, sobre els residus. L'article 28 d'aquesta directiva obliga als Estats membres a establir, com a instrument essencial per desenvolupar les polítiques de residus, plans de gestió de residus que cobriran tot el territori geogràfic de l'Estat. Aquests plans han d'explicar com s'adapta la gestió dels residus, detectant les necessitats de noves instal·lacions i establint les diferents mesures que contribueixin a millorar-ne la gestió.

Així mateix, també és important destacar la Directiva d'abocadors publicada el 1999 (1999/31/EC) per la Unió Europea (Consell de la Unió Europea, 1999), on requereix que els seus estats membres redueixin la quantitat de residus biodegradables sense tractament gestionats en abocadors mitjançant l'adopció de mesures per augmentar i millorar la reducció, recuperació i reciclatge dels residus. Per a la fracció orgànica de residus sòlids municipals (FORM), la separació en origen i el tractament mitjançant la digestió anaeròbia i / o el compostatge són les opcions més sostenibles, (Martín, 2011).

Els objectius mediambientals a la Unió Europea queden clarament fixats a través de Programes d'Acció Ambientals, aquests programes proporcionen una xarxa de mesures i propostes legislatives per tots els estats membres. Actualment està en vigor el 7è Programa d'Acció Ambiental (Decisió núm. 1386/2013 / UE del Parlament Europeu i del Consell). Aquesta normativa europea s'incorpora a l'ordenament jurídic espanyol a través de la Llei 22/2011, de 28 de juliol, de residus i sòls contaminats. A l'article 14 de l'apartat 1 d'aquesta llei estableix que és competència del Ministeri amb matèria de Medi Ambient, prèvia consulta a les Comunitats Autònomes, a les Entitats Locals, a altres Ministeris afectats i quan procedeixi en col·laboració d'altres Estats membres, elaborar, de conformitat amb la llei, el Pla Estatal marc de Gestió de Residus.

Per adaptar, a nivell de la legislació Espanyola, els requisits actuals de la gestió de residus de la UE, s'aprova el Pla Estatal Marc de Gestió de Residus (PEMAR) 2016-2022 mitjançant

Acord del Consell de Ministres el 6 de novembre de 2015. Aquest pla estableix les línies estratègiques per a la gestió dels residus en els pròxims sis anys i les mesures necessàries per complir els objectius comunitaris en aquesta matèria. Es tracta d'un instrument clau per aplicar la jerarquia de gestió de residus i per avançar cap a la denominada economia circular, que reincorpora al procés productiu els materials que contenen els residus per a l'elaboració de nous productes. Aquest pla també impulsa, a més, la coordinació entre administracions, la millora de la transparència i la informació en matèria de residus, la inspecció, el control i la sensibilització social.

Actualment, és vigent el Programa estatal de prevenció de residus 2014-2020. Aquest programa desenvolupa la política de prevenció de residus, d'acord amb la normativa vigent, per avançar en el compliment de l'objectiu de reducció dels residus. Aquest objectiu fixa una reducció pel 2020 del 10% respecte al generat el 2010. El Programa estatal descriu la situació actual de la prevenció a Espanya, realitza una anàlisi de les mesures de prevenció existents i valora l'eficàcia de les mateixes. Aquest programa es configura al voltant de quatre línies estratègiques destinades a incidir en els elements clau de la prevenció de residus:

- La reducció de la quantitat de residus
- La reutilització i allargament de la vida útil dels productes
- La reducció del contingut de substàncies nocives en materials i productes
- La reducció dels impactes adversos sobre la salut humana i el medi ambient, dels residus generats.

Cada línia estratègica identifica els productes o sectors d'activitat en els quals s'actuarà prioritàriament, proposant les mesures de prevenció que s'han demostrat més efectives en cadascuna de les àrees, seguint la classificació establerta en l'Annex IV de la Directiva Marc de Residus i de la Llei de residus.

A l'àmbit de Catalunya es va publicar el Decret legislatiu 1/2009, de 21 de juliol, pel qual s'aprova el Text refós de la Llei reguladora dels residus. I a través del reial decret 210/2018, de 6 d'abril, s'aprova el Programa de prevenció i gestió de residus i recursos de Catalunya

(PRECAT20) (publicat al BOE núm. 92, de 16 d'abril). El PRECAT20 constitueix un instrument programàtic de la Generalitat de Catalunya per fer front als reptes estratègics i objectius en matèria de prevenció i gestió de residus fins a l'any 2020. Amb el PRECAT20 hi ha una evolució al passar d'una planificació integrada per tres programes basats en l'origen de generació dels residus (municipals, industrials i de la construcció) a un únic programa orientat a la gestió de residus sota la visió de fluxos materials. Aquest canvi s'ha fet amb la voluntat de potenciar la relació residu-recurs i fer visible la contribució de la correcta gestió dels residus amb l'ús eficient dels recursos. D'aquesta manera, el Programa de prevenció i gestió de residus i recursos de Catalunya té com a objectiu principal reforçar la condició del residu com a recurs. També pretén donar-li valor a les sinergies que existeixen en la gestió dels diferents fluxos dels materials independentment del seu origen. Aquests objectius tenen sempre la finalitat de contribuir, des de l'àmbit dels residus, al desenvolupament sostenible, l'ús eficient dels recursos i a una economia circular que alhora sigui competitiva i generadora de noves activitats. Sent un pilar fonamental, la cooperació en la política de protecció del medi ambient i la salut de les persones, en el marc de les polítiques europees sobre l'economia circular.

## **1.2. ELS RESIDUS SÒLIDS MUNICIPALS**

### **1.2.1. ELS RESIDUS SÒLIDS MUNICIPALS A NIVELL MUNDIAL**

Encara que la definició de residu sòlid municipal (RSM) pot variar en funció del país o l'organisme, partirem en primer terme de la definició realitzada per l'OCDE (OCDE, 2019). Defineix que el residu municipal és el residu recollit en nom dels municipis. Aquest inclou els residus domèstics provinents de les llars (és a dir, residus generats per l'activitat domèstica de les famílies) i residus similars als anteriors de petites activitats comercials, edificis d'oficines, institucions com escoles i edificis governamentals i petites empreses que tracten, o eliminen residus, a les mateixes instal·lacions utilitzades per a la recollida municipal. No obstant això, la definició informada pel Banc Mundial inclou als residus industrials i als de construcció i de demolició en els fluxos del RSM (Kawai et al., 2016)



Segons l'informe del Banc Mundial (Hoorweg et al., 2012) la generació global de RSM és de 1300 milions de tones anuals, i s'espera que augmenti a aproximadament 2200 milions de tones anuals per al 2025. Això representa un significatiu augment dels ratis de generació de residus per càpita passant de 1.2 a 1.42 kg per persona pel 2025. No obstant això, les mitjanes de generació per càpita són àmplies, les taxes que es calculen varien considerablement per regió, país, ciutat i fins i tot dins de les ciutats. D'acord amb aquest informe, els ratis de generació de RSM estan influenciats pel desenvolupament econòmic, el grau d'industrialització, els hàbits públics i el clima local. En general, com més alt sigui el desenvolupament econòmic i la taxa d'urbanització, major serà la quantitat de residus sòlids produïts. Cada persona produeix en països desenvolupats una mitja de 500 kg de residu sòlid a l'any, reduint-se a la meitat en països en vies de desenvolupament. El nivell d'ingressos i la urbanització estan molt correlacionats amb la producció de residus. Així, segons l'estudi del Banc Mundial els residents urbans produeixen de l'ordre del doble que els seus homòlegs rurals.

Dels RSM, un 34-53% està representat per residus orgànics biodegradables també coneguts com a fracció orgànica de RSM (FORM) que estan formats per: (1) residus de la fabricació d'aliments; (2) restes domèstiques de la preparació d'aliments, restes i menjar caducat; i (3) residus de restaurants i punts de venda d'aliments (Braguglia et al., 2018). Aquestes fonts comprenen el 39, 42 i 19% de la totalitat del flux de residus d'aliments de la Unió Europea (UE), respectivament (Comissió Europea, 2010)

A la Taula 1.1 es pot veure la generació de residus sòlids municipals en el món seguint el criteri de definició de RSM de l'OCDE, les àrees més industrialitzades com Nord Amèrica i l'OCDE presenta una generació de residus per càpita molt més elevada que les àrees menys desenvolupades a nivell industrial com és Amèrica Llatina i el Carib. Nord Amèrica presenta una generació de residus per càpita de més del 60% respecte a l'OCDE, aquest valor tan elevat s'explica per l'elevat consum d'aquesta àrea i la manca de polítiques mediambientals de prevenció de residus, (Rand et al., 2000).

**Taula 1.1.** Generació Residus Sòlids Municipals al món (adaptat de Rand et al. (2000))

Àrea	Mitja (kg càpita any <sup>-1</sup> )	Rati de creixement (%)
OCDE-total	513	1.9
Nord Amèrica	826	2.0
Japó	394	1.1
OCDE-Europa	336	1.5
Europa (32 països)	345	n.d
Vuit Capitals asiàtiques	Rang (185-1000)	n.d
Sud i Oest d'Àsia	Rang (185-290)	n.d
Amèrica Llatina i el Carib	Rang (110-365)	n.d

La quantificació i la caracterització dels RSM és una de les eines fonamentals que defineix les estratègies de gestió medi ambiental de cadascun dels països (Karak et al., 2012). La composició global del RSM al món a l'any 2009 mostrava una composició d'un 46% en matèria orgànica, 17% paper, 10% de plàstics, 5% de vidre, 4% de metall i un 18% restant (Hoorweg et al., 2012).

### **1.2.2. RESIDUS SÒLIDS MUNICIPALS A CATALUNYA**

D'acord amb l'article 3 del Decret Legislatiu 1/2009, de 21 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei reguladora dels residus, es consideren residus municipals aquells residus generats en els domicilis particulars, els comerços, les oficines i els serveis, i també els que no tenen la consideració de residus especials i que per llur naturalesa o composició es poden assimilar als que es produeixen en els dits llocs o activitats. Tenen també la consideració de residus municipals els residus que provenen de la neteja de les vies públiques, les zones verdes, les àrees recreatives i les platges; els animals domèstics morts; els mobles, els estris i els vehicles abandonats; els residus i els enderrocs procedents d'obres menors i de la reparació domiciliària.

Els residus municipals, per la seva importància estratègica i la seva presència en el conjunt de la societat, disposen d'un programa de gestió, d'una planificació d'infraestructures i d'un model de gestió específics. El model de gestió vigent i les bases de la planificació es fonamenten, entre d'altres, en els principis de proximitat, de suficiència i de responsabilitat del productor, i també en la jerarquia que s'estableix per a les diferents formes de gestió, que dóna prioritat a les actuacions de prevenció.

En els anys 80, es va començar a implantar les primeres recollides selectives dels residus municipals. La primera fracció que es va recollir de forma separada va ser el vidre, després el paper i cartró. A l'inici dels 90 es va començar la recollida separada dels envasos lleugers i a final d'aquesta dècada va començar la recollida separada de la fracció orgànica, (Spora, 2018).

La recollida selectiva, per tant, consisteix en la recollida de forma separada de les fraccions: paper i cartró, vidre, envasos i la matèria orgànica (FORM). Aquest tipus de recollida possibilita així el reciclatge i la fabricació de nous productes i evita que es destinin a abocadors o incineradores. Això significa un estalvi energètic i de materials en comparació amb els requeriments que tindria la fabricació de productes partint de les matèries primeres originàries.

A la Figura 1.1, es pot veure un esquema de la gestió dels diferents residus municipals a Catalunya, on es mostren tres fluxos principals:

- 1) La recollida selectiva (Quatre fraccions: FORM, vidre, envasos i paper) destinats a valorització i reciclatge.
- 2) La Fracció Resta destinada a tractament mecànic biològic.
- 3) Altres recollides que correspondria a les recollides comercials, deixalleries i voluminosos.

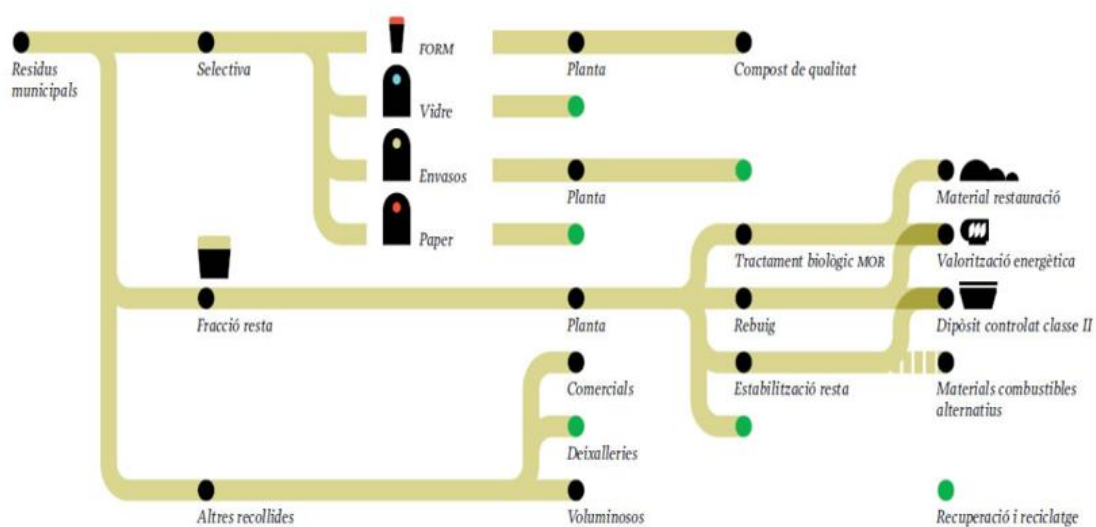


Figura 1.1. Model català de residus municipals (ARC, 2019)

A Catalunya conviuen tres models de recollida selectiva:

- Model 5 fraccions: en el que es separen les cinc fraccions de forma separada (FORM / Vidre / Paper-Cartró / Envasos lleugers / Resta)
- Model Residus Mínim: en el que es separen quatre fraccions ( FORM / Vidre / Paper-Cartró / Envasos lleugers + Resta)
- Model Multiproducte: en el que es separen quatre fraccions (FORM / Vidre / Paper-Cartró + Envasos lleugers / Resta)

Les modalitats de sistema de recollida són les següents:

- 1) Recollida en superfície: es realitza la recollida selectiva mitjançant contenidors de diferents tipologies, estan ubicats a la via pública. Existeix una freqüència de buidatge analitzada en base a la generació i les característiques de cada fracció dels residus. Periòdicament, els contenidors es buiden seguint freqüències adaptades a la generació i característiques del cada fracció dels residus.
- 2) Porta a porta (PaP): aquest tipus de recollida selectiva consisteix en lliurar els residus al servei municipal de recollida davant de la porta de casa, seguint un calendari que determina el dia/es i el/s horari/s per cadascuna de les fraccions.
- 3) Contenidors soterrats: aquest model de recollida consisteix en uns contenidors que estan sota el nivell del terra, de manera que exteriorment només es veuen una mena de bústies que és on han de depositar els ciutadans cadascuna de les fraccions.
- 4) Pneumàtica: aquest model de recollida consisteix en disposar d'una sèrie de bústies d'abocament connectades mitjançant canonades subterrànies a un punt d'aspiració.

En termes generals, els resultats de la recollida selectiva varien segons les característiques dels municipis, els models de recollida i les campanyes de comunicació desplegades. Segons dades de l'Agència de Residus de Catalunya (ARC, 2019), a Catalunya, els percentatges de recollida selectiva oscil·len entre més del 80% de totes les fraccions

recollides selectivament en les poblacions que obtenen els millors resultats i al voltant del 2-4% en les que presenten els pitjors.

L'any 2017, la mitja de la recollida selectiva va representar un 39.9% respecte el total de la recollida del residu municipal. Els percentatges corresponents a cada fracció són: matèria orgànica (10%), poda (2.5%), paper cartró (7.7%), vidre (4.7%), envasos (3.8%), voluminosos, fusta i tèxtil (6.1%), RAEEES (1%), runes (3%) i altres residus recollits selectivament (0.9%) (ARC, 2017a).

El PRECAT estableix que l'objectiu del percentatge de recollida selectiva per l'any 2020 ha de ser un 60% de la suma de totes les fraccions que es recullen selectivament. Per tant, existeix pràcticament una diferència de 20 punts percentuals. Això implica que és completament necessari l'estudi i posterior implantació de tots aquells sistemes que presenten millors resultats tant a nivell de recollida, com de fiscalització, i d'educació ambiental per la major conscienciació de la ciutadania.

Un subgrup dels RSM el constitueixen els residus comercials, definits com aquells residus generats per l'activitat pròpia del comerç al detall i a l'engròs (inclosos els residus de mercats i supermercats), l'hoteleria, els bars, els mercats, les oficines i els serveis. Són equiparables a aquest subgrup, als efectes de la gestió, els residus originats a la indústria que tenen la consideració d'assimilables als municipals tal com determina l'Agència de Residus de Catalunya (ARC, 2019). Els residus comercials (Institut Cerdà, 2014), representen un 36.5% en pes del total de residus municipals, malgrat que en zones d'alta densitat comercial aquest percentatge pot incrementar-se.

Els comerços han de separar en origen totes les fraccions (orgànica, paper-cartró, vidre, envasos lleugers i resta) i lliurar-les separatament per a la seva valorització. És possible realitzar la gestió de valorització/ tractament mitjançant el servei públic de recollida de residus comercials en cas que l'Ens Local l'ofereixi, o bé, amb un sistema privat a través d'un gestor autoritzat inscrit en el registre de persones gestores de residus de Catalunya.

### 1.3. LA FRACCIÓ ORGÀNICA DELS RESIDUS MUNICIPALS

#### 1.3.1. LA FRACCIÓ ORGÀNICA DELS RESIDUS MUNICIPALS ENTRE PAÏSOS

Segons Capson-Tojo et al., (2016), la composició del residu alimentari (RA) en tot el món varia en funció primordialment de la dieta i els hàbits culturals, el nivell econòmic de la regió i el clima. Els residus alimentaris correspondrien a un dels tipus de residus considerats com a FORM (Taula 1.3). Es pot veure a la Taula 1.2 que els països asiàtics presenten uns percentatges elevats pel que fa a pasta, arròs i cereals així com també les fruites i verdures. Els països europeus, tenen un 58.4% de restes de fruites i de verdures, sent pràcticament el doble respecte els països asiàtics. Capson- Tojo et al. (2016) va poder extrapolar unes característiques generals a nivell mundial, el RA té un elevat contingut de sòlids totals, aprox. 20% i un alt contingut en sòlids volàtils d'un 90%. Es compona principalment de carbohidrats fàcilment degradables (Kiran et al. 2014), els altres dos components principals són les proteïnes (15-25%) i els lípids (13-30%). Així les proteïnes tenen un alt contingut de nitrogen i com a resultat, el RA té un contingut C/N relativament baix en comparació a altres substrats. Una altra característica important del RA és que té un alt contingut en macro elements com el fòsfor, sodi, potassi, calci o magnesi i que presenta també un baix contingut d'oligoelements com el ferro, el seleni, el níquel o el molibdè (Banks et al. 2012; Pham et al. 2014). Totes aquestes característiques fa que el RA sigui un substrat adequat per processos de digestió anaeròbia.

**Taula 1.2.** Composició de residu alimentari de diferents països Capson-Tojo et al. (2016)

Pes humit (%)	UK	Finlàndia	Portugal	Itàlia	Europa	Xina	Tailàndia	Àsia
Fruites i verdures	60.9	44.5	59.2	69	58.4	30.2	13.1	31.8
Pasta, arròs, cereals	1.5	0.4	0.2	12.4	3.6	57.5	46.5	27.0
Carn i peix	6.7	4.3	7.3	6.2	6.1	-	0.3	0.1
Productes làctics	1.7	2.0	0.7	1.4	1.4	1.7	0.6	3.9
Menjars barrejats	12.3	6.3	29	1.4	12.2	-	-	-
Altres aliments	16.9	42.5	3.6	9.6	18.3	10.6	39.5	37.2

De la mateixa forma que pels RSM, la definició de fracció orgànica de residus sòlids municipals varia regionalment i nacionalment; als Estats Units d'Amèrica, la FORM es considera una barreja d'aliments, residus de jardí i paper (Palmisano et al., 1996). A la Unió Europea es considera una barreja de residus de parcs, jardins i cuines (Al Seadi et al., 2013).

Tal com defineix l'Agència de Residus de Catalunya, la fracció Orgànica dels Residus Municipals (FORM) són els residus orgànics biodegradables d'origen vegetal i/o animal, susceptibles de degradar-se biològicament, concretament les restes de la preparació del menjar, restes sobrants de menjar i aliments en mal estat, així com per restes vegetals de mida petita i tipus no llenyós (gespa, fullaraca, rams de flors, etc.). En concret dintre del concepte de FORM trobaríem els residus orgànics que es mostren a la Taula 1.3, que es classifiquen en cinc grups: les restes dels aliments, els residus de paper però que contenen matèria orgànica, les restes vegetals de petites dimensions, els materials que composten.

**Taula 1.3.** Residus considerats FORM (ARC, 2019)

<b>Restes de menjar / restes de la preparació del menjar</b> peles i triadures de fruita i verdura ossos i restes de carn espines i restes de peix, closques de marisc i mol·luscs closques d'ou i pellofes i closques de fruits secs restes de pa restes de menjar i menjar en mal estat marro de cafè i restes d'infusions.
<b>Residus de paper</b> paper de cuina brut tovallons de paper bruts mocadors de paper
<b>Restes vegetals de petites dimensions</b> rams de flors pansits, flors i fulles seques males herbes, gespa, petites branques d'esporga, fullaraca
<b>Materials compostables</b> bosses compostables altres materials compostables
<b>Altres materials</b>

taps de suro

serradures

virostes i encenalls de fusta natural

excrements d'animals domèstics sense llits ni sorres absorbents

escuradents i palets de gelat, de menjar xinès o de fer pinxos, etc

Les restes vegetals de mida petita i tipus no llenyós, tractant-se de fracció vegetal (fulles, flors...), es pot considerar FORM, atès que es podrà gestionar conjuntament amb els altres residus orgànics i no és necessari cap tipus de pretractament (trituració) abans de la seva valorització.

Per una altra part també, l'ARC defineix la fracció vegetal (FV) com tots aquells residus orgànics biodegradables d'origen vegetal, susceptibles de degradar-se biològicament.

Diferenciant en dos grups en funció de la seva gestió:

- a) Fracció vegetal de mida petita i tipus no llenyós (gespa, fullaraca, rams de flors, etc.) assimilable a la FORM.
- b) Poda. Fracció vegetal de mida gran i tipus llenyós, que requereix d'una trituració prèvia a la seva valorització

Com ja s'ha explicat a l'apartat 1.2.1, la producció mundial de residus sòlids municipals és aproximadament 1300 milions de tones anuals i s'estima que, el 2025, la producció ascendirà a 2200 milions de tones anuals amb, aproximadament, el 46% corresponent de residus orgànics (Al Seadi et al., 2013).

Segons l'estudi de Campuzano et al., (2016), durant molts anys els residus sòlids municipals eren eliminats en abocadors, però, a causa del gran impacte pel medi ambient, les normes són ara estrictes i només permeten l'abocament de residus sota consideracions especials tal com determina la directiva d'abocadors publicada el 1999 (1999/31/EC) per la Unió Europea. En els abocadors es produeix la degradació anaeròbia de la matèria biodegradable de forma natural i generalment es produeix biogàs que és emès a l'atmosfera o usat per a la producció d'energia elèctrica (Palmisano et al., 1996).

La tendència és evitar, reduir, reutilitzar, reciclar, recuperar i tractar la FORM i, si no hi ha res més possible, disposar dels residus restants en abocador (Al Seadi et al., 2013). En aquest sentit, en els anys 90, la legislació europea va ordenar el tancament de diversos



abocadors evitant aquesta pràctica i promovent la separació interna de les diferents fraccions dels residus (Mata-Alvarez et al., 2000).

### 1.3.2. LA FRACCIÓ ORGÀNICA DELS RESIDUS MUNICIPALS A CATALUNYA

L'any 2017 la recollida selectiva bruta de FORM (vol dir sense descomptar les fraccions que no són matèria orgànica), servei prestat per 768 municipis va ascendir a 385786 tones, un 2.02 % més respecte al 2016, ARC (2017a). Aquesta evolució de la FORM a Catalunya es pot veure a la Figura 1.2, existeix un creixement progressiu fins l'any 2011, després s'estanca deguda a la crisi, i a partir del 2017, existeix un lleuger creixement. És un indicador clau que la FORM està creixent i que ha de continuar-lo fent degut a que hi ha un percentatge molt considerable de FORM que no s'està seleccionant i va anant al contenidor de la RESTA. El percentatge de fracció orgànica determinat segons l'estudi de la bossa tipus del residu municipal és de l'ordre d'un 30% en pes (PRECAT20, 2014), actualment a la realitat és que només s'està recuperant un 10%, per tant, 1/3 de la FORM potencial.

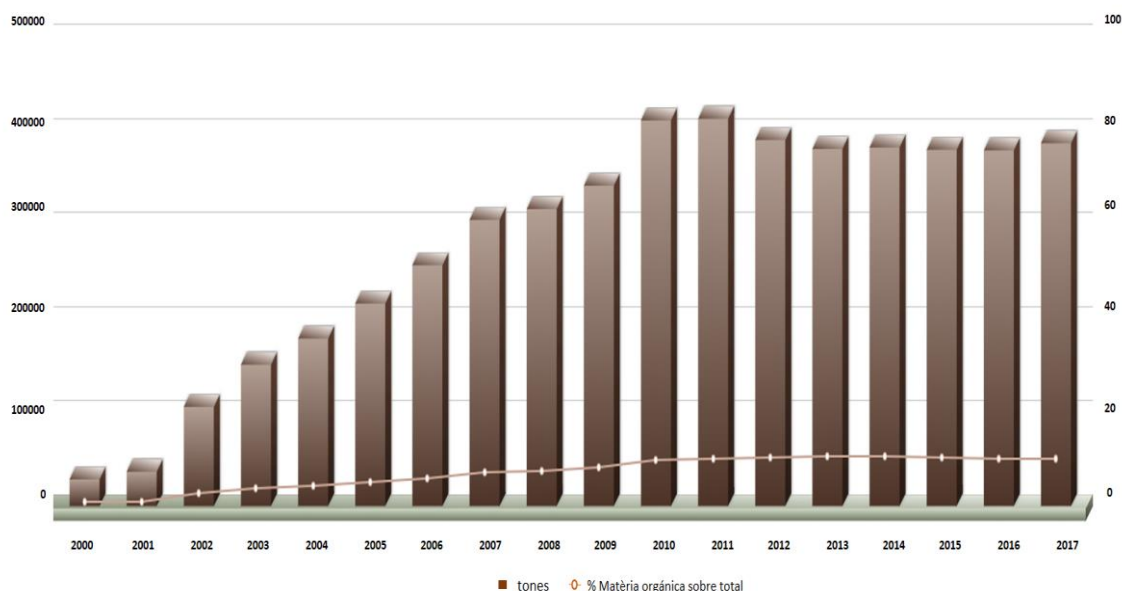


Figura 1.2. Evolució de la recollida FORM (2000-2017). Font: ARC, 2017b

Els materials recollits selectivament es destinen a processos de reciclatge i reutilització. Aquests materials generalment contenen una petita part de residus que no correspon a la

fracció i se'ls anomena impropis. Així doncs, s'anomena recollida selectiva neta o recuperació a les fraccions recollides selectivament menys els impropis que continguin.

Per conèixer la composició de la fracció orgànica és necessari realitzar caracteritzacions. Gràcies a aquesta informació, es pot veure si existeix una bona selecció del residu per part dels ciutadans i poder enfocar les campanyes de comunicació amb l'objectiu de millorar la qualitat de la FORM. També és una informació completament necessària per poder realitzar dissenys de futures plantes de tractament de la FORM o bé analitzar millores, ja que permet fer una previsió del comportament del residu en el procés de tractament. L'any 2017, la qualitat de la FORM recollida a Catalunya presentava una mitja d'impropis d'un 12% (ARC, 2017a).

Un dels factors clau que afecta a la qualitat de la FORM, per tant, a la major o menor presència d'impropis són els sistemes de recollida de residus municipals (Puig-Ventosa et al., 2013). A la Taula 1.4 es pot veure l'impacte que té el tipus de recollida en la qualitat de la FORM recollida. En l'any 2008, el percentatge d'impropis més baix va correspondre a la recollida porta a porta (PaP) per quatre fraccions, per altra part el percentatge d'impropis més alt va correspondre als contenidors soterrats, sent d'un 21.63%, els circuits analitzats van ser molt més elevats en el cas de contenidors que en el de porta a porta, sent de 408 circuits respecte a 144. En qualsevol cas, segons aquests resultats queda palès que el sistema de recollida porta a porta presenta un resultat millor en la mitjana de totes les caracteritzacions realitzades, sent de 5.79%, en comparat amb el sistema de recollida per contenidors que era d'un 11.61%.

**Taula 1.4.** Percentatge aritmètic (en pes) dels impropis de la FORM per diferents sistemes de recollida (2006-2008) (Puig-Ventosa et al., 2013)

Sistema de recollida		Número de circuits	2006	2007	2008
Porta a porta	Dos fraccions	36	8.17%	7.82%	8.49%
	Tres fraccions	9	3.96%	3.38%	3.83%
	Quatre fraccions	73	4.40%	3.58%	2.86%
	Cinc fraccions	26	10.75%	8.20%	10.07%
	Total	144	6.66%	5.71%	5.79%
Contenidors	Contenidors per fracció única	392	9.75%	8.84%	9.08%
	Contenidors per dues fraccions	4	28.03%	16.49%	12.79%
	Contenidors soterrats	12	23.52%	23.21%	21.63%
	Total	408	10.34%	11.07%	11.61%

Dades més actualitzades, continuen donant un impacte més negatiu a la recollida en contenidors front la recollida porta a porta. Segons les últimes dades publicades (Portaaporta, 2019) que es recullen a la Taula 1.5, el sistema de recollida porta a porta i el de pagament per generació presenten una qualitat de la FORM inferior a un 3% d'impropis, la quantitat de FORM recollida de 131 kg habitant<sup>-1</sup>any<sup>-1</sup> i una recollida selectiva d'un 85%, resultats que superen els objectius determinats pel PRECAT20. Per altra banda, la recollida selectiva en contenidor és la que presenta els pitjors resultats tant en quantitat de FORM com la seva qualitat i la recollida selectiva d'aquells municipi que fan servir aquest sistema de recollida que és d'un 36%, incomplint els objectius establerts. Un altre factor que també es compara entre els diferents sistemes de recollida és l'impacte mediambiental mitjançant la petjada de carboni, el PaP genera 65 Kg CO<sub>2</sub>eq habitant<sup>-1</sup>any<sup>-1</sup> respecte els contenidors que és de l'ordre del més del doble 138 Kg CO<sub>2</sub>eq habitant<sup>-1</sup>any<sup>-1</sup>, un altre indicador clau. (Portaaporta, 2019).

**Taula 1.5.** Resultats dels diferents sistemes de recollida a Catalunya (Portaaporta, 2019)

SISTEMA DE RECOLLIDA	% RECOLLIDA SELECTIVA (Dades 2017)	QUANTITAT DE FORM Kg habitant <sup>-1</sup> any <sup>-1</sup> (Dades 2017)	QUALITAT DE LA FORM. % Impropis (Dades 2018)	PETJADA DE CARBONI Kg CO <sub>2</sub> eq habitant <sup>-1</sup> any <sup>-1</sup> (Dades 2017)
PaP + Pagament per Generació	85%	131	<3	49
PaP	64%	105	<6	65
Contenidor	36%	50	14	138

## 1.4. ECONOMIA CIRCULAR

L'economia circular ha estat definida per Kirchherr et al. (2017) com aquelles accions que substitueixen el concepte de final de vida mitjançant la reducció, el reciclatge i la recuperació de materials en els processos de producció, distribució i consum. Aquesta definició també inclou diferents nivells d'actuació en micro (productes, empreses o consumidors), meso (parcs ecoindustrials) i macro escala (ciutat, regió, etc.). L'escenari de nivell macro presenta una àmplia gama d'oportunitats per implementar estratègies en el marc de l'Economia Circular.

La gestió dels residus que duen a terme els ens locals és imprescindible per implementar una economia circular. Aquest nou model d'economia circular busca poder reproduir artificialment els processos de la naturalesa per fer-los més sostenibles tal com es pot veure a la Figura 1.3. (Marcet et al., 2018).

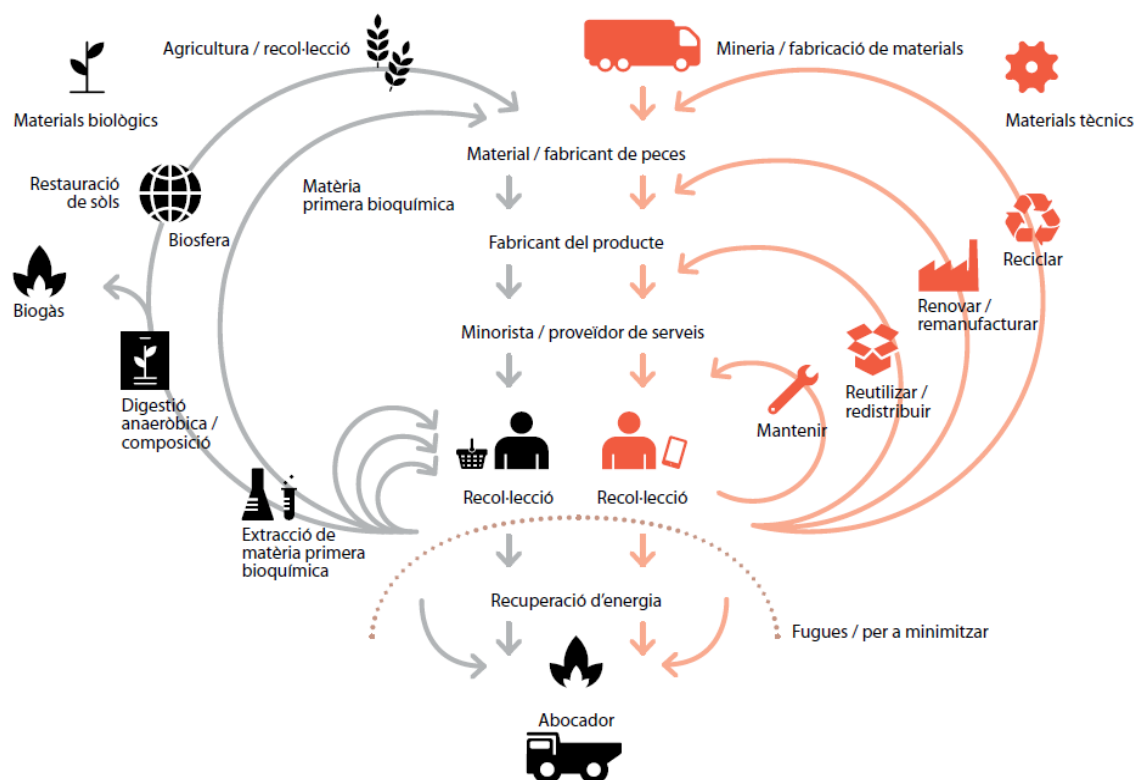


Figura 1.3. Economia circular (Marcet et al., 2018)

Els RSM són recursos valuosos que sembla lògic fer-los servir com a recursos energètics, ja que el poder calorífic mitjà de dels residus sòlids municipals és aproximadament 10 MJ/kg (Malinauskaite et al., 2017).

Convertir residus en energia pot ser una clau per a una economia circular que minimitzi la generació de residus i els converteixi en un recurs valuós en forma d'energia. Com que l'economia circular està al capdavant de l'agenda de la UE (European Commission, 2017), tots els Estats membres de la UE (inclosos els països de l'EEA) han de prioritzar a l'ús dels residus com un recurs valuós tenint en compte les prioritats en la gestió dels residus: prevenció, preparació per la reutilització, reciclatge, altre tipus de valorització inclosa l'energètica i per últim l'eliminació.

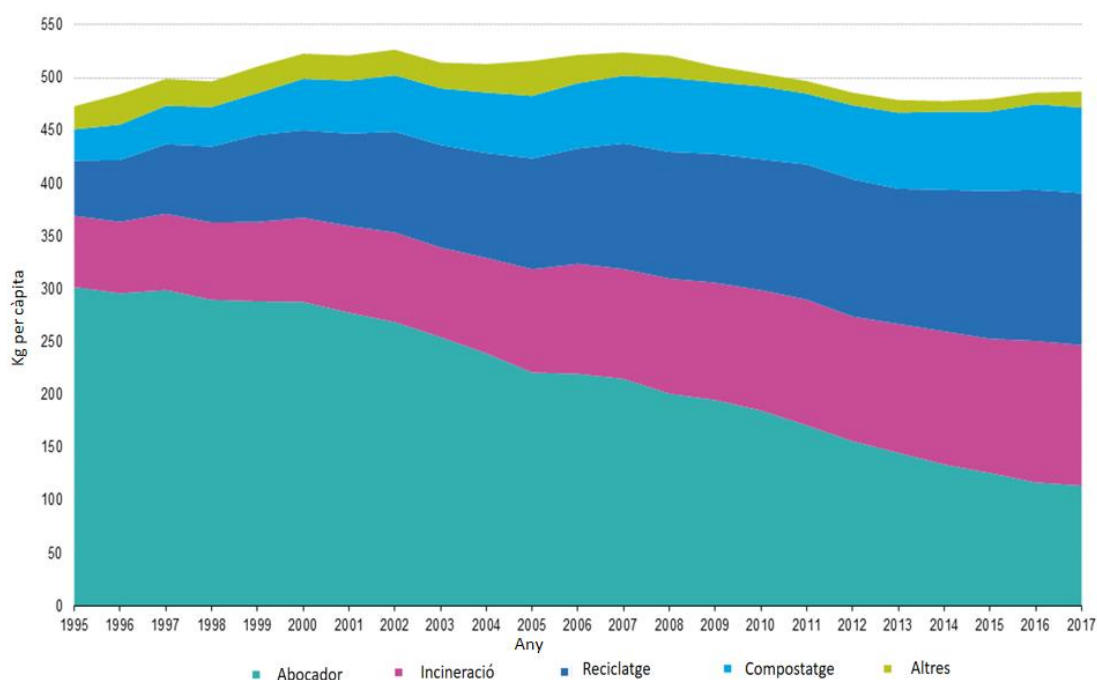


Figura 1.4. Tractament del residu sòlid municipal en EU-27 pel tipus de tractament, (kg per càpita), 1995-2017 (Eurostat)

Aquesta jerarquia en la gestió dels residus queda palesa a la Figura 1.4, analitzant l'evolució del tractament del residu sòlid municipal des de l'any 1995 fins el 2017. És clara la tendència que el destí d'abocador s'ha reduït considerablement, prenent força altres gestions com són el reciclatge, el compostatge i finalment la incineració, tal com determinen les

directives europees (Consell de la Unió Europea, 1999) amb els programes d'acció (European Union Law, 2013).

Segons un estudi de la Comissió Europea (European Commission, 2017), en l'any 2014, aproximadament, un 1,5% del consum final total d'energia de la UE es va assolir recuperant energia dels residus mitjançant la incineració, la coïncineració en forns de ciment i la digestió anaeròbia (és a dir, al voltant de 676 PJ any<sup>-1</sup>). Així mateix aquest estudi també concreta que aquest percentatge no hauria d'augmentar significativament en el futur sempre i quan es destinin més residus al reciclatge, la millora a l'eficiència energètica dels processos de "waste to energy" (WtE) i fer promoció de tots aquells processos que combinen la recuperació material i energètica.

Tradicionalment, el waste-to-energy (WtE) estava associat a la incineració. Actualment, aquest terme és molt més ampli i abasta diversos tractaments de residus, entre ells la digestió anaeròbia, i els processos que generen energia (sigui en forma d'electricitat i / o calor o produint un combustible derivat del residu).

Dins del marc de l'economia circular, l'aprofitament de residus com a matèria primera en altres processos industrials seria un objectiu fonamental. Els residus industrials tenen un paper protagonista, a l'igual que els residus comercials. Els residus industrials, per la seva importància quantitativa i les seves característiques, disposen d'un programa de gestió i d'un model de gestió específics.

Raga et al. (2018) expliquen que en la situació que ens trobem en que els recursos s'esgoten i el consum és insostenible, cal avançar cap a l'economia circular, amb un enfoc decidit en la remanufacturació, el reciclatge i la reutilització.

A nivell mundial en l'any 2018, la producció de residus industrials va ser de 16400 milions de tones, després el segueixen els residus plàstics, els residus de construcció i demolició i finalment els RSM; que en percentatge de distribució serien 56%, 21.8%, 16% i 6% respectivament, quedant un 0.2% corresponents al residus electrònics, (Raga et al., 2018)

Entre les innovacions i les tendències en matèria de gestió de residus industrials estaria la d'aproximació de la política de dipòsit zero, de forma que progressivament s'està avançant en nous mètodes de bioestabilització dels residus en la digestió anaeròbia, així com en la producció de biogàs per a la producció d'energia, (Marcet et al., 2018)

Es tracta d'una tendència mundial l'aprofitament dels residus industrials, i en el cas del residus orgànics industrials fer-los servir per un aprofitament energètic mitjançant digestió anaeròbia i codigestió.

## **1.5. DIGESTIÓ ANAERÒBIA I CODIGESTIÓ**

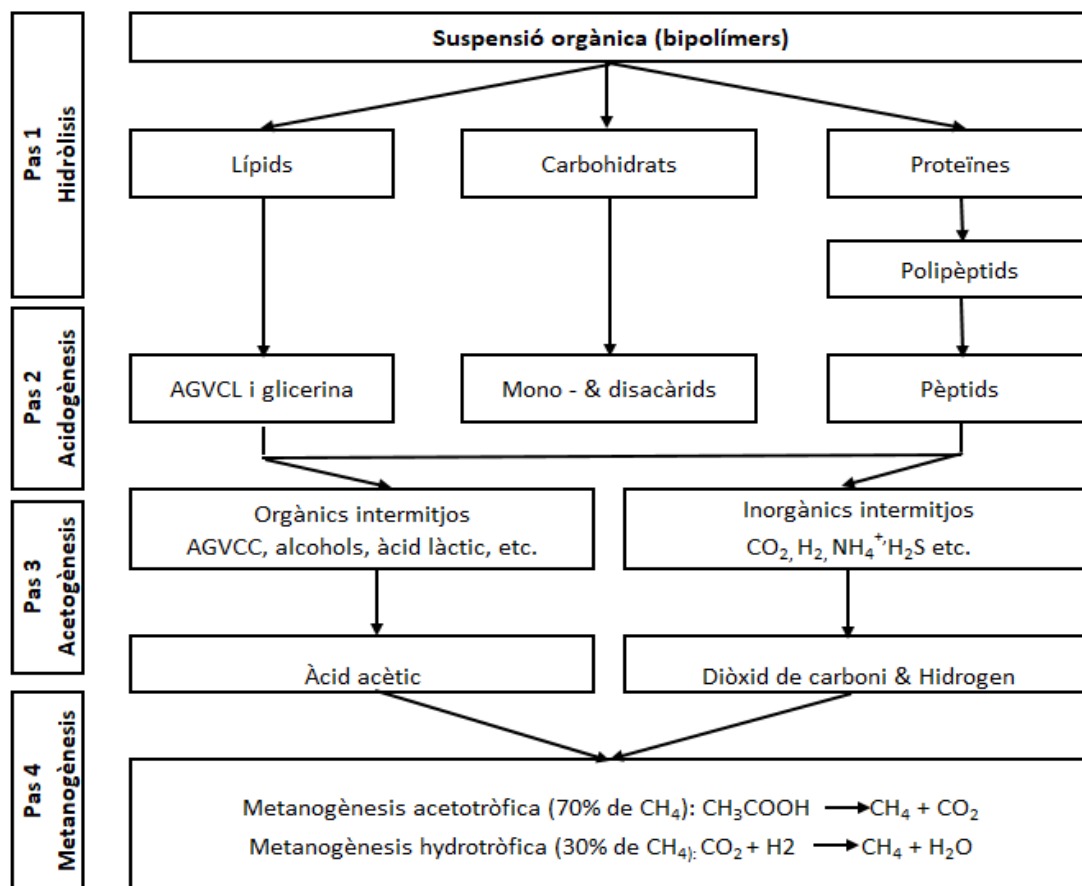
### **1.5.1. LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA**

La digestió anaeròbia o biometanització és un procés biològic de descomposició de la matèria orgànica en absència d'oxigen i que està constituïda per diferents etapes per produir finalment biogàs (65% de metà aproximadament) i un residu líquid que conserva bona part dels nutrients originals.

A la Figura 1.5 podem veure de forma esquemàtica cadascuna de les etapes i com s'interrelacionen entre elles. Concretament les etapes es poden dividir:

- 1) **Hidròlisis:** descomposició de les macromolècules en molècules simples o monòmers gràcies a l'actuació de microorganismes anaerobis facultatius, per tant, per aquests la presència de l'oxigen no és un limitant. L'etapa d'hidròlisis es duu a terme en un tanc independent on s'injecta una petita quantitat d'aire per afavorir aquesta etapa.
- 2) **Acidogènesis:** descomposició a través dels bacteris acidogènics dels monòmers en àcids grassos volàtils (AGV).

- 3) Acetogènesi: Conversió dels AGV en àcid acètic, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. El metabolisme acetogènic es caracteritza per una absoluta dependència de l'eliminació d'hidrogen pels bacteris que l'utilitzen, com poden ser els bacteris metanògens hidrogenòfils o els bacteris sulfatoreductors en presència de sulfats.
- 4) Metanogènesi: a través dels bacteris metanogènics l'acetat, H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, format, metanol i metilamines són fermentats a metà i CO<sub>2</sub>. Aquest tipus de bacteris són anaerobis estrictes. Pot també produir-se àcid sulfhídric, el qual cal eliminar si es vol utilitzar el biogàs mitjançant clorur fèrric o processos biològics, ja que la seva presència provoca problemes en el funcionament dels motors de cogeneració, provocant corrosió i incrustacions.



**Figura 1.5.** Visió general dels quatre passos principals de la reacció del procés de digestió anaeròbia: hidròlisi, acidogènesi, acetogènesi i metanogènesi. AGVCL (Àcids grassos volàtils de cadena llarga), AGVCC (Àcids grassos volàtils de cadena curta). Madsen et al. (2011)



Durant els últims anys, la digestió anaeròbia de FORM i altres residus orgànics han estat àmpliament utilitzats com a forma de recuperar energia en forma de biogàs (metà) i molts investigadors, empreses i agències governamentals estan treballant activament per potenciar la implantació d'aquest procés (Wang et al., 2014; Guendouz et al., 2010; Mata-Alvarez et al., 2000).

En comparació amb la incineració o l'abocament de residus, la digestió anaeròbia no representa un procés potencialment contaminant quan el biogàs produït s'utilitza adequadament (Wang et al., 2014; Dong et al., 2010; Guendouz et al., 2010) . A la Taula 1.6 es poden comparar els diferents factors d'emissió de diferents vies de gestió de RSM. L'opció de classificació, biometanització humida i posterior deposició en abocador és el que presenta el factor més baix.

Segons l'estudi de Mata-Alvarez et al. (2000), els factors d'emissió són relativament inferiors al tractament aeròbic. De fet, la digestió anaeròbia és la via de gestió més prometedora, es tracta d'un procés sostenible per al tractament dels residus orgànics perquè produeix energia i complements de fertilitzants com el compost ric en nitrogen (Walter et al., 2016; Fisgativa et al., 2016; Suwannarat i Ritchie, 2015).

**Taula 1.6.** Factors d'emissió per diferents sistemes de gestió de RSM. (Mata-Alvarez et al.(2000))

Tractament	Factor d'emissió (tones eq. CO <sub>2</sub> /tones de RSM)
Abocador	1.97
Incineració	1.67
Classificació + Compostatge + abocador	1.61
Classificació + Compostatge + Incineració	1.41
Classificació + Biometanització seca + abocador	1.42
Classificació + Biometanització humida + abocador	1.19

Edwards et al. (2018), apliquen una eina de l'anàlisi del cicle de vida, que incorpora tant un anàlisi de cicle de vida (ACV) ambiental com un ACV social per poder prendre una decisió respecte quina és la millor via de gestió pels residus orgànics alimentaris. Els resultats van indicar que la digestió anaeròbica o la co-digestió per aquest tipus de residu mostren tenir un impacte ambiental més reduït que altres tractaments.

Quan es processa correctament el biogàs permet eliminar l'emissió de metà a l'atmosfera, per tant, la disminució de les emissions d'efecte hivernacle i olors i els problemes sanitaris dels abocadors (Nielfa et al., 2015; Agyeman i Tao, 2014). Per altra banda, hi ha desavantatges com la complexitat de posada en marxa dels reactors (Angelidaki et al., 2006), i la presència de compostos tòxics i inhibidors quan la FORM no està separada adequadament dels residus no orgànics (CEPA, 2008). A més, el control del procés necessita una anàlisi complex, perquè és sensiblement diferent en funció de la composició dels residus, ja que pot afectar la cinètica del procés (Fisgativa et al., 2016). Així, per exemple, els residus de les restes de menjar que contenen greixos tendeixen a afectar negativament a la cinètica de la reacció (Suwannarat i Ritchie, 2015). La composició de la FORM determina el comportament que tindrà en els processos biològic i l'obtenció de l'energia corresponent per la seva producció de biogàs. La composició de la FORM també afecta la qualitat del digest (Al Seadi i Lukehurst, 2012).

El digest que s'obté d'un procés de digestió anaeròbia es porta a un procés de compostatge barrejat juntament amb estructurant com pot ser fracció vegetal, palet astellat... El procés de compostatge és un sistema de tractament de la matèria orgànica en el que gràcies a una activitat microbiana i en condicions aeròbiques i termofíliques produeix un producte estable i higienitzat que es denomina compost.

El compostatge requereix un control molt acurat de tota una sèrie de paràmetres:

- Equilibri entre el contingut d'aigua i aire del material a compostar
- El pH inicial ha de trobar-se entre 6-8
- Bon equilibri de nutrients
- La temperatura

Pel que fa a la tecnologia, els processos de digestió anaeròbia es poden dur a terme en via seca o en via humida, en funció del contingut en matèria seca de la matèria orgànica que s'alimenta als digestors.

### **1.5.2. COMPARACIÓ ENTRE LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA PER VIA SECA I PER VIA HUMIDA**

La digestió anaeròbia per via humida es pot definir com la digestió amb menys del 15% de sòlids totals (ST) en el digestor, el que s'anomena de baixa concentració de sòlids; així si està per sobre d'aquest valor s'anomena per via seca o d'alta concentració de sòlids.

Una seqüència típica de processos que cal portar a terme en via seca i via humida serien els següents:

En Digestió anaeròbia per via seca:

- Etapa prèvia de tractament mecànic.
- Trituració i alimentació mitjançant bomba.
- Digestió anaeròbia
- Deshidratació mínima del residu digerit
- Emmagatzemament del biogàs

En digestió anaeròbia per via humida:

- Etapa prèvia de tractament mecànic.
- Pretractament humit del material
- Digestió anaeròbia
- Deshidratació del residu digerit
- Emmagatzemament del biogàs

A Europa, la digestió en via seca de la FORM ha estat dominant des de principis dels anys noranta. Es va observar un augment dels sistemes humits entre 2000 i 2005 quan es van posar en funcionament una sèrie de plantes en via humida a gran escala, després des del 2005 va tornar novament haver-hi més plantes instal·lades en via seca (De Baere et al., 2008). En l'any 2008, la fermentació anaeròbia en via seca proporcionava a nivell europeu gairebé el 54% de la capacitat, mentre que la digestió en via humida corresponia un 46% de la capacitat total instal·lada (De Baere et al., 2008)

Fagbohunge et al. (2015) va establir una comparativa resumida de les dues tecnologies a nivell global que es pot veure a la Taula 1.7 i ens serveix com a punt de partida per analitzar

les dues tecnologies, la major concentració en sòlids totals pel que fa a la digestió anaeròbia per via seca (10-40%), i, per tant, un rati d'alimentació superior en sòlids volàtils (SV) al ser més concentrat, de 7-15 g SV m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, implica que el volum requerit sigui inferior en via seca versus via humida.

Taula 1.7. Comparativa de la digestió anaeròbia via seca i via humida per FORM (Fagbohunge et al., 2015)

Paràmetre	Via humida	Via seca
<b>Sòlids totals</b>	<10%	10-40%
<b>Mode operacional</b>	Únic i multi etapes DA	Únic i multi etapes DA
<b>Règim alimentació</b>	Elevada humitat. Elevada producció biogàs	Baixa humitat. Baixa producció biogàs
<b>Reducció de sòlids volàtils</b>	50-70 %	< 40 %
<b>Rati alimentació</b>	< 7 g SV m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>	7-15 g SV m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
<b>Inhibició</b>	Més dispersió i difusió	Menys dispersió i elevada adsorció en el material orgànic
<b>Sistema de barreja</b>	Sistema de barreja intern. Recirculació de la suspensió i el biogàs	Recirculació biogàs i lixiviats. Agitació parcial
<b>Necessitats d'escalfament</b>	Elevat calor, necessari degut al gran volum	Menys calor degut al volum més petit
<b>Problemes operacionals</b>	L'equipament de bombeig és menys sofisticat degut a l'elevada humitat	Requeriment d'un equipament de bombeig molt sofisticat
<b>Substrat</b>	No apte per a substrats hidrofòbics com els materials lignocel·lulòsics	Apte per a substrats hidrofòbics
<b>Manipulació del digestat</b>	Requereix deshidratació	Deshidratació mínima
<b>Qualitat del digestat</b>	Menys estable però el contingut en nutrients és elevat	Mes estable amb un contingut en nutrients baix

Els paràmetres amb els que es poden comparar aquestes tecnologies són flexibilitat, qualitat del material d'entrada al digestor, consum energètic, qualitat del digest i producció del biogàs.

### 1) Flexibilitat

La via humida ens permet tractar diferents tipus de residus (residus alimentaris, residus comercials, RSM) ja que presenta una alta capacitat d'extracció de les impureses mitjançant el procés de tractament humit. En via seca, al entrar tot el material sense fer cap separació, pot haver-hi problemes d'acumulació d'impureses, a banda del pretractament sec que és comú en les dues tecnologies.

## 2) Qualitat del material d'entrada al digestor

El procés de tractament humit fa una selecció de la fracció orgànica ja que extreu gran part de les impureses abans d'entrar al digestor.

Un inconvenient en els digestors de via humida és la possibilitat d'estratificació, en concret, la creació de capes flotants que pot provocar problemes mecànics i falta de rendiment en el procés (Luning et al., 2003).

Per altra part, en les plantes de digestió anaeròbia en via seca en introduir tot el residu amb les impureses triturades pot provocar la pèrdua del volum útil per la sedimentació de sòlids (inerts) al fons del digestor, o per acumulació de materials flotants a la part superior. Això comporta un cost periòdic de buidatge i neteja dels digestors, una disminució de la producció de biogàs i problemes en el manteniment (Àlvarez et al., 2018). Segons aquest estudi s'han pogut fer proves en un digestor pilot amb digestió anaeròbia per via seca (tecnologia VALORGA) modificant el disseny del digestor consistent en l'eliminació en la paret centrat del digestor i modificant la inclinació del fons del digestor. En aquest cas per poder comparar el disseny inicial amb aquest nou model han fet servir identificadors per radiofreqüència per determinar l'acumulació de residus dins del digestor; els resultats han demostrat que les partícules d'alta densitat (pesats) i els lleugers no es trobaven presents en aquest nou model.

## 3) Consum energètic

El tractament humit no es tradueix en un major consum elèctric en comparació amb els pretractaments necessaris per a la via seca, ja que els molins trituradors de gran potència que s'han d'instal·lar per reduir la grandària de partícula consumeixen molta més energia que els homogeneïtzadors i hidrociclons de la via humida. En concret, el tractament humit (procés previ a digestió) té un consum de 11.72 kW/t FORM (comunicació personal) respecte al consum del procés de via seca previ a digestor que implica una trituració del material i enviament mitjançant bomba mescladora tipus Putzmeister. Només aquesta bomba consumeix aproximadament 12 kW/t FORM (tecnologia Dranco).

#### 4) Qualitat del digest

L'eliminació de contaminants abans del tractament biològic redueix la contaminació del digest tractat amb metalls pesants, vidre i plàstics, etc. El pre-tractament mecànic humit i el sistema de Digestió Anaeròbia humit tenen un efecte de rentat en el material que es processa, que garanteix una alta qualitat del digestat tractat.

En el cas de la via seca, el fet de reduir la deshidratació ja que el material surt del digestor a una concentració de sòlids més alta, facilita la manipulació d'aquest digestat, també permet ser un bon sistema per plantes descentralitzades amb escassetat d'aigua i demanda de fertilitzants orgànics. (Fagbohunge, M. et al., 2015).

#### 5) Producció de biogàs

Els resultats que s'obtenen de la producció de biogàs comparant les tecnologies via seca i via humida presenta uns resultats similars. La producció específica del gas és pràcticament idèntica (Luning et al., 2003)

Durant els darrers anys com s'ha comentat anteriorment, hi ha hagut diferents tecnologies que s'han anat utilitzant en via seca a Europa pel tractament de la FORM: principalment, Dranco, Kompogas i Valorga. El rendiment del biogàs en relació amb aquestes tecnologies correspon entre 0.3 a 0.5 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> sòlids volàtils (SV) (Kothari et al., 2014).

En el cas de la via humida per tecnologia BTA, el rendiment de biogàs correspon a 0.4-0.5 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> sòlids volàtils (SV) (Informació pròpia).

En algunes tecnologies seques que a més a més treballen a règim termòfil (50°C-55°C), la producció de biogàs es veu agreujada pel que fa a la difusió d'alguns tòxics, com l'amoníac o el sulfur d'hidrogen, el despreniment del qual és major quant majors són les temperatures. Aquest últim punt fa que, si bé la producció de gas sigui major, la riquesa en metà disminueix (Fagbohunge et al., 2015), perquè la proporció d'amoníac i de sulfhídric que arrossega és major, i a més a més té més quantitat de vapor d'aigua.

A la Taula 1.8 es pot veure les tecnologies més utilitzades per la digestió anaeròbia de FORM i les principals característiques (Clarke, 2018). Els rendiments de producció de CH<sub>4</sub> dels diferents processos van entre 163 a 256 Nm<sup>3</sup> t SV<sup>-1</sup>, presentant el rendiment més

elevat la tecnologia DRANCO (DA per via seca) i la tecnologia BTA (DA per via humida). Els rendiments més baixos corresponen a les tecnologies Kompogas i Beko, ambdues de digestió anaeròbia per via seca, la primera en continu i condicions termofíliques i la segona en discontinu i condicions mesofíliques.

Taula 1.8. Tecnologies de DA per la FORM (Clarke, 2018)

Procés	Descripció	Alimentació	CH <sub>4</sub> Nm <sup>3</sup> t SV <sup>-1</sup>	Kg SV m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	Referència
Valorga (Planta de Varenes Jarcy)	Via seca continua 30% ST en digestor 40°C Es connecten els fluxos en un tanc vertical Planta TMB: Prefermentadors rotatius de 4 m. Digest compleix paràmetres compostatge estàndard.	50000 t FORM any <sup>-1</sup> , seleccionat de 100000 RSM· any <sup>-1</sup>  Fracció orgànica: 48% ST, 70% SV.	219	5.3	Fruteau de Laclos et al. (2008)
Dranco (Planta Brecht)	Via seca continua 31% ST en digestor 55°C Flux vertical descendent Mescla parcial mitjançant la combinació d'entrada de residus amb digest. Volum digestor 800 m <sup>3</sup>	20000 t any <sup>-1</sup> residu orgànic  15% cuines, 75% jardins, 10% paper  Fracció orgànica: 40% ST, 55% SV.	256	14.9	de Baere (2000)
Kompogas (Winterthur Plant)	Via seca continua 25% ST en digestor 55°C Flux de tap horitzontal, amb dents giratòries de baixa velocitat Mescla parcial mitjançant la combinació d'entrada residus amb digestat Volum digestor 1500 m <sup>3</sup>	23000 t any <sup>-1</sup> residu verd i residu alimentari.  40% ST i 70% SV	163	11.8	Hitachi Zosen Inova
BTA (Bavaria plant)	Via humida continua Aprox. 10% ST en digestor 38°C Pulpeig en 70°C, extracció hidràulica de contaminants Volum digestor 1800 m <sup>3</sup>	15000 t any <sup>-1</sup> 88% FORM, 9% residu alimentari industrial. 3% ramader 28% ST, 68% SV	255	4.9	Kübler et al (2000)
BEKON (Steinfurt plant)	Via seca discontinua 37°C TRH= 28 dies 12 bunkers Recirculació de lixiviats, inoculació mitjançant la barreja amb el digest	44000 t any <sup>-1</sup> Residu alimentari i residu verd  40% ST, 70% SV	167	7.5	BEKON Holding AG (2016)

### **1.5.3. SITUACIÓ DE LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA I LA CODIGESTIÓ**

El canvi climàtic és, sens dubte, el problema medi ambiental més imminent que avui s'enfronta el món. L'augment de la temperatura global tindrà certs efectes importants sobre els ecosistemes, la fauna i les cadenes alimentàries i, finalment, la vida humana. Hi ha un consens general que l'escalfament global es deu a l'emissió antropogènica a gran escala dels gasos d'efecte hivernacle. De fet, encara hi ha una gran part de la demanda energètica mundial que està satisfeta mitjançant l'ús de combustibles fòssils.

Segons l'Associació d'empreses d'energia renovables (APPA, 2019), a nivell mundial, les energies renovables van augmentar la seva contribució al consum d'energia primària en un 5.6% durant el 2017 i van representar el 10.4% del total. La distribució del consum d'energia primària comparant-lo amb l'any 2016 mostra que: el petroli va créixer un 1.4% fins a arribar al 34.2% , el carbó va disminuir la seva contribució un 0.7% fins al 27.6%, el gas natural va augmentar 2.7%, i es va situar en tercera posició amb el 23.4%. Així, en l'any 2017 un 85.2% de l'energia primària consumida al món prové de combustibles fòssils. L'energia nuclear va representar el 4.4% del consum d'energia primària a nivell mundial, amb un creixement del 0.9%. El consum global d'energia en el món va créixer un 1.9% el 2017.

L'energia provinent de la biomassa i dels residus són considerades com unes fonts potencials d'energia renovable en evolució i creixement, sobretot des del punt de vista que es pot garantir la generació d'aquestes fonts, a diferència d'altres tipus com l'energia solar i l'energia eòlica (Appels et al., 2011). Les diferents tecnologies disponibles per al tractament de la biomassa i els residus es poden subdividir en termoquímica, processos de conversió bioquímics i fisicoquímics. Així, la digestió anaeròbia, classificada dins dels processos de conversió bioquímics, és un procés robust i àmpliament aplicat. De fet, els digestors a escala industrial ja es remunten a la primera meitat del segle vint, (Appels et al., 2011)



En els últims anys, l'aplicació de la digestió anaeròbia per al tractament dels residus orgànics s'ha anat estenent i la quantitat de digestat ha augmentat a una taxa de creixement anual del 25% (Buffiere et al., 2008).

L'avantatge més important del procés de la DA és la producció de biogàs, una font d'energia renovable utilitzada per obtenir energia elèctrica i calor directe, així com l'estabilització de la matèria orgànica (Appels et al., 2011; Awasthi et al., 2018). La producció del biogàs, contribueix a disminuir els gasos d'efecte hivernacle degut a la disminució en l'ús dels combustibles fòssils, a més de la reducció de residus orgànics enviats a l'abocador. Addicionalment, la DA produeix bioproductes líquids i sòlids que poden ser utilitzats com a fertilitzant o esmena orgànica (Capson-Tojo et al., 2016). No obstant, la DA de substrats simples també anomenada monodigestió podria estar relacionada amb alguna feblesa: la FORM podria contenir materials impropis i/o metalls pesats que inhibeixen els microorganismes de la digestió anaeròbia (Mata-Alvarez et al., 2014; Mehariya et al., 2018). En aquest sentit, la codigestió anaeròbica (coDA) de una barreja de dos o més substrats és un molt bon procediment per contrarestar algunes d'aquestes deficiències de la monodigestió (Mata-Alvarez et al., 2014).

La codigestió contribueix a potenciar la degradació de la matèria orgànica i conseqüentment la producció de biogàs mentre s'utilitza el digestor existent i la planta de tractament (Braun et al., 2002; Pavi et al., 2017). A més, coDA de substrats amb diverses propietats proveeix de millorar propietats com poden ser: la millora del balanç de nutrients degut a la presència d'una gran varietat de fonts de nutrients líders a una gran diversitat en el ecosistema microbià, contribueix a la dilució dels tòxics o components inhibitoris, afavoreix un òptim contingut d'humitat, incrementa la quantitat de residu tractat, millora els ratis de degradació, impulsa l'estabilitat del digest, i a més de processar simultàniament residus generats en les proximitats (Mata-Alvarez et al., 2014; Pavi et al., 2017; Silvestre et al., 2015; Wang et al., 2018; Zamanzadeh et al., 2017). Les propietats del substrat, el rati de mescla i la distància de les instal·lacions de DA son els principals factors analitzats quan selecciones el co-substrat per coDA (Mata-Alvarez et al., 2014).

Molts autors han destacat que existeix forta competència entre les plantes de codigestió anaeròbia per trobar cosubstrats d'alta qualitat (Madsen et al., 2011). Hi ha diversos estudis que indiquen que la codigestió anaeròbia és una opció molt convenient i de futur degut a l'aprofitament de diferents substrats orgànics en comparació a una digestió anaeròbia convencional (Mata-Álvarez et al., 2000). No obstant, Mata-Álvarez et al. (2011) va assenyalar que les pràctiques de codigestió no són tan difoses com es podria desitjar ja que existeixen en molts casos dificultats per part de les administracions.

A la Taula 1.9 hi ha un resum de diferents experiments de laboratori sobre codigestió entre fangs d'aigües residuals i FORM. És important destacar que la codigestió a escala laboratori presenta molts anys d'experiència, trobant experiments des de fa més de 40 anys, en canvi en el cas de la codigestió de la FORM els experiments són a partir de finals dels anys 80. També un fet destacable és que la gran majoria dels experiments realitzats ha estat en condicions mesofíliques.

**Taula 1.9.** Característiques d'alguns experiments de laboratori sobre codigestió entre fangs d'aigües residuals i FORM (Mata-Álvarez et al. (2011))

Mida reactor	Rang temperatura	Substrats	Referència
40 L	22-40°C	RSM i FAR	Mata-Álvarez et al. (2011)
4, 9 i 1600 L	22-40°C	RSM i FAR	
30000 L	Mesofílic	FORM i FAR	
2 L	Mesofílic i termofílic	Fangs paperera, biosòlids i RSM	
20 L, RMC	37°C	Barreja FP:RFA (65:35) i FORM	
No detallat	Mesofílic	FORM, residus industrials i biosòlids	
2 L, diversos nivells de barreja	37°C	FORM, FP i RFA	
2 L, diversos nivells de barreja	37°C	FORM, FP i RFA	
0.5 L, tests discontinus laboratori	Mesofílic	RSM i FP	
0.5 L, tests discontinus laboratori	25, 35, 55°C	Fang pretractat amb NaOH i	
40 L, CSTR	56°C i dues etapes (56-36°C)	FORM i FAR	
350 L, simulació anaeròbia de reactors d'abocadors	35-40°C	RSM i barreja de fang industrial	
3 L, diversos nivells de barreja	Mesofílic	FORM i FP	
350 L, simulació anaeròbia de reactors d'abocadors	35-40°C	RSM i barreja de fang industrial	
200 L, CSTR	35-37°C	FORM i RFA	
0.1 L, tests discontinus laboratori	35°C	FP amb RSM tractat	

Mida reactor	Rang temperatura	Substrats	Referència
		mecànicament i biològicament	
40 L, CSTR	Mesofílic	FAR i FORM	
31 L, Simulador Bioreactor	30°C ±1°C	RSM i Fangs de tancament sèptic	
2000 mL	55°C	Fems, residus orgànics industrials i FORM	Hansen et al. (2004)
100 mL per substrats homogenis 500 mL a 2000 mL per substrats heterogenis	37°C condicions mesofíliques 55°C condicions termofíliques	Matèria orgànica que serà digerida a gran escala VDI 4630 (Guia alemanya)	Holliger et al. (2016)

RMC: Reactor mescla completa; RA: Residu alimentari; RSM: Residu sòlid municipal; FORM: Fracció orgànica del residu municipal; FP: Fang primari; FAR: Fang aigües residuals; RFA: Residu fang activat;

La codigestió anaeròbia de residus alimentaris i fangs d'aigües residuals proporciona una sèrie de beneficis econòmics i ambientals, evitant la gestió de residus a deposició controlada final i permet recuperar residus com a recursos en el marc de l'economia circular. També es destaca que la codigestió està més extensament estesa en aquells països que hi ha una política favorable en energia i gestió de residus tal com es pot veure a la Taula 1.10 (Nghiem, L. D., 2017). Respecte a la quantitat de plantes de biogàs de FORM per milió d'habitants són de 0.16 per Austràlia, 2.22 per Alemanya i 5.77 per Itàlia; per altra part, la quantitat de plantes de biogàs de fangs d'aigües residuals per milió d'habitants són de 1.96 per Austràlia, 17.28 per Alemanya i de 1.13 per Itàlia. En conjunt (plantes de fangs i plantes de FORM), observem que efectivament els països que presenten uns ratis de plantes de biogàs per milió d'habitant més alt, són Alemanya i Itàlia, els quals presenten uns incentius més alts i on està prohibit l'entrada de residu biodegradable a abocador.

**Taula 1.10.** Comparativa entre Austràlia, Alemanya, i Itàlia en termes de plantes de digestió anaeròbia per bioenergia, incentius per producció d'energies renovables, i polítiques de gestió de residus, (Nghiem, L.D.,2017)

País	Població (milions)	Plantes de biogàs		Incentiu per bioenergia (€/kWh)	Residu biodegradable a abocador
		Fang residuals aigües	FORM		
Austràlia	25	49	4	0.03	Impost
Alemanya	81	1400	180	0.18	Prohibit
Itàlia	60	68	346	0.23	Prohibit

## 1.6. PLANTES DE DIGESTIÓ ANAERÒBIQUES DE TRACTAMENT DE LA FORM

Només una petita fracció de la FORM és digerida anaeròbiament a tot el món. El major nombre de plantes de tractament de digestió anaeròbia són a la UE, encara que només un 20% dels fluxos de residus biodegradables és tractat biològicament a Europa (Clarke, W.P, 2018). D'aquesta fracció tractada biològicament, només el 25% és digerit (De Baere i Mattheeuws, 2012). En l'any 2014 hi havia 244 plantes de digestió anaeròbica per la FORM (Clarke, 2018). El compostatge és el procés més estès a tots els països de la UE, incloent Àustria que és el país amb el percentatge més alt de separació de residu orgànic. (Barth et al., 2012). A la Taula 1.11 es detallen les capacitats de tractament de les plantes de tractament de la FORM a Catalunya. De les 21 instal·lacions existents actualment, només hi ha 4 que són de digestió anaeròbia. La capacitat de tractament total de totes les plantes és de 447800 t any<sup>-1</sup>, de les quals 249184 t fan un sistema de tractament de digestió anaeròbia i posterior compostatge (un 55% en pes). Evidentment algunes hauran estat sotmeses a modificacions a les seves llicències ambientals o autoritzacions ambientals.

**Taula 1.11.** Plantes de tractament de la fracció orgànica del residu municipal (comunicació pròpia). C és compostatge i DA és digestió Anaeròbia.

Id.	Plantes de compostatge /DA	Sistema tractament	Capacitat tractament (t FORM any <sup>-1</sup> )
1	Boadella i les Escaules	C	100
2	Botarell	C	37000
3	Ecoparc 1 (Barcelona)	DA + C	90000
4	Ecoparc 2 (Montcada i Reixac)	DA + C	90000
5	Espluga de Francolí	C	7000
6	Granollers	DA + C	51184
7	Jorba	C	5000
8	La Seu d'Urgell	C	3500
9	Llagostera	C	18000
10	Malla	C	1500
11	Manresa	C	20000
12	Mas de Barberans	C	5000
13	Montoliu de Lleida	C	18000
14	Olot	C	12000
15	Sant Cugat del Vallès	C	8000
16	Sant Pere de Ribes	C	13700
17	Santa Coloma de Farners	C	12500
18	Tàrraga	C	10000
19	Terrassa	DA + C	18500
20	Torrelles de Llobregat	C	4500
21	Tremp	C	5000
22	Orís	C	10000
23	Sort	C	750
24	Clariana de Cardener	C	1000
25	Pedret i Marzà	C	10000

Revisant la bibliografia no s'ha trobat informació relacionada amb balanços de matèria, d'energia i econòmics a plantes de Digestió Anaeròbia, que és l'objecte principal d'aquesta tesi. S'han trobat referències pel que fa al procés de compostatge (Zhang et al., 2011). Aquest estudi, analitza diferents instal·lacions de compostatge que tracten diferents tipus de productes orgànics. Aquests residus van ser estudiats mitjançant enquestes de qüestionaris i mitjançant un anàlisi químic del material recollit a les instal·lacions. Es van categoritzar els costos d'explotació, hi havia una certa economia d'escala per als salaris i els costos de manteniment, però els costos d'electricitat i de combustible van ser proporcionals a la quantitat de residus.

Pognani et al. (2012) va realitzar un anàlisi de balanç de masses d'una planta combinada de digestió anaeròbia en via seca i compostatge, proporcionant una informació real de la instal·lació. Una conclusió important d'aquest estudi és que l'etapa de la digestió anaeròbia va ser el principal responsable de la reducció de la matèria biodegradable inicial en un 58.5%, mentre que el procés de compostatge va reduir la humitat i va estabilitzar els residus.

Sanscartier et al. (2011) presenta un estudi de la producció elèctrica de la digestió anaeròbia de residu orgànic domèstic a Ontario, on s'analitza la planta a nivell tècnic i econòmic i també un anàlisi de les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Una conclusió d'aquest estudi és que si la venda d'energia elèctrica està sotmesa a tarifa de primes, les economies d'escala permet que les instal·lacions de digestió anaeròbia que processen una quantitat superior a 30000 t any<sup>-1</sup> permet un estalvi en els costos de gestió de residus i són competitives en costos en comparativa a l'abocament.

Murphy et al. (2006) va publicar un estudi tècnic i econòmic de comparativa entre el compostatge i la digestió anaeròbia del residu municipal biodegradable a Irlanda. El seu estudi es va basar en 4 mides de plantes: 10000 t any<sup>-1</sup>, 30000 t any<sup>-1</sup>, 50000 t any<sup>-1</sup>, 100000 t a<sup>-1</sup>. En aquest estudi conclou que per instal·lacions que tracten fins a 50000 t any<sup>-1</sup>, l'opció del compostatge és econòmicament més favorable que la Digestió Anaeròbia i en el cas que s'eliminessin els impostos relacionats amb el biogàs, a partir de 20000 t any<sup>-1</sup> seria més econòmica una planta de Digestió Anaeròbia. Es tracta d'un estudi local, però és molt

interessant perquè analitzen factors claus que afecten a la rendibilitat de les plantes de Digestió Anaeròbica pel que fa als impostos especials i a les primes que determina cada govern.

### **1.7. CONSORCI PER A LA GESTIÓ DELS RESIDUS DEL VALLÈS ORIENTAL**

A principis de l'any 1998 s'inicià el procediment per aprovar i constituir el Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental (en endavant Consorci), amb l'aprovació dels seus estatuts, a instància del Consell Comarcal i 39 ajuntaments de la comarca, amb la finalitat de realitzar la creació, gestió i prestació de forma unificada de serveis i activitats d'interès comú en matèria de residus a la comarca del Vallès Oriental, i també gestionar, mitjançant delegació expressa dels seus membres, totes aquelles activitats i serveis vinculats amb el seu objecte i finalitats, que es recollien en el primer article dels seus estatuts. Aquest procés culmina, en la constitució del Consorci el 2 de juny de 1998 i la seva posterior inscripció en el Registre d'Entitats Locals de Catalunya, si bé altres ajuntaments es van incorporar amb posterioritat.

Aquests estatuts han estat modificats en data 27 de juny de 2018, on es va aprovar inicialment la modificació dels estatuts del Consorci, finalment en data 15 d'abril de 2019 són publicats els nous estatuts (Consorci, 2019).

Després d'aquests anys de funcionament del Consorci, s'ha donat prioritat a l'execució d'obres d'infraestructura bàsica dels residus com la xarxa de deixalleries comarcal, la planta de transferència de la resta i la planta de digestió anaeròbica i de compostatge i el suport a les polítiques municipals de recollida selectiva.

A l'article 4 dels seus estatuts defineix quins són els seus objectius. Els quals corresponen:

- a) La construcció, l'explotació, la conservació i el manteniment de les instal·lacions necessàries per a les operacions de tractament, reciclatge i deposició controlada de residus sòlids municipals i assimilables i tots aquells d'acord amb la normativa aplicable en la matèria.

- b) El foment de l'aplicació de la recollida selectiva i del reciclatge dels residus municipals i assimilables que puguin ser aollits.
- c) La gestió unificada, en l'àmbit del Vallès Oriental, de les activitats i competències per qualsevol de les formes admeses que la legislació vigent atribueixi als ens consorciats, en matèria de gestió de residus.

El Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental disposa d'autorització ambiental amb exp. B1RA160047. En aquesta autorització ambiental estan definits tots aquells residus que estarien autoritzats a poder ser tractats a la planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental que estan recollits a la Taula 1.12.

**Taula 1.12.** Codis CER autoritzats a l'Autorització Ambiental.

<b>02 RESIDUS DE L'AGRICULTURA, HORTICULTURA, AQÜICULTURA, SILVICULTURA, CAÇA I PESCA; RESIDUS DE LA PREPARACIÓ I ELABORACIÓ D'ALIMENTS</b>
<b>02 01 Residus de l'agricultura, horticultura, aqüicultura, silvicultura, caça i pesca</b>
020101 Llots de rentat i neteja
020102 Residus de teixits animals (sandach de C3)
020103 Residus de teixits de vegetals
020107 Residus de la silvicultura
<b>02 03 Residus de la preparació i elaboració de fruites, hortalisses, cereals, olis comestibles, cacau, cafè, i tabac; producció de conserves; producció de llevat i extracte de llevat, preparació i fermentació de melasses</b>
020301 Llots de rentat i neteja, pelat, centrifugat i separació
020304 Materials inadequats per al consum o l'elaboració
020305 Llots del tractament in situ d'efluents
<b>02 04 Residus de l'elaboració de sucre</b>
020403 Llots de tractament in situ d'efluents
<b>02 05 Residus de la indústria de productes làctics</b>
020501 Materials inadequats per al consum o l'elaboració (sandach de C3)
020502 Llots de tractament in situ d'efluents
<b>02 06 Residus de la indústria del pa i pastisseria</b>
020601 Materials no aptes per al consum o l'elaboració
020603 Llots del tractament in situ d'efluents
<b>02 07 Residus de la producció de begudes alcohòliques i no alcohòliques (excepte cafè, te i cacau)</b>
020701 Residus de rentat, neteja i reducció mecànica de matèries primeres
020702 Residus de la destil·lació d'alcohols
020704 Materials no aptes per al consum o l'elaboració
020705 Llots del tractament in situ d'efluents
<b>03 RESIDUS DE LA TRANSFORMACIÓ DE LA FUSTA I DE LA PRODUCCIÓ DE TAULERS I MOBLES, PASTA DE PAPER, PAPER I CARTRÓ</b>
<b>03 01 Residus de la transformació de la fusta i de la producció de taulers i mobles</b>

030101 Restes d'escorça i suro
030105 Serradures, encenalls, retalls, fusta, taulers de partícules i fulloles diferents dels esmentats en el codi 030104
<b>03 03 Residus de la producció i transformació de pasta de paper, paper i cartró</b>
030301 Restes d'escorça i fusta
030310 Restes de fibres i llots de fibres, de materials de càrrega i d'estucat, obtinguts per separació mecànica
030311 Llots del tractament in situ d'efluents, diferents dels especificats en el codi 030310
<b>04 RESIDUS DE LES INDÚSTRIES DEL CUIR, LA PELL I DEL TÈXIL</b>
<b>04 01 Residus de les indústries del cuir i de la pell</b>
040101 Carnasses i serratges d'encalçament (sandach de C3)
040107 Llots, en particular els procedents del tractament in situ d'efluents, que no contenen crom
<b>04 02 Residus de la indústria tèxtil</b>
040210 Matèria orgànica de productes naturals (com ara greix i cera)
040221 Residus de fibres tèxtils no processades (només si són d'origen natural)
040222 Residus de fibres tèxtils processades (només si són d'origen natural)
<b>16 RESIDUS NO ESPECIFICATS EN CAP ALTRE CAPÍTOL DE LA LLISTA</b>
<b>1603 Llots de productes fora d'especificació i productes no utilitzats</b>
160306 Residus orgànics diferents dels especificats en el codi 160305
<b>19 RESIDUS DE LES INSTAL·LACIONS PER AL TRACTAMENT DE RESIDUS, DE LES PLANTES EXTERNES DE TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS I DE LA PREPARACIÓ D'AIGUA PER AL CONSUM HUMÀ I D'AIGUA PER A ÚS INDUSTRIAL</b>
<b>19 05 Residus del tractament aerobi de residus sòlids</b>
190501 Fracció no compostada de residus municipals i assimilables (veure nota 2)
190502 Fracció no compostada de residus de procedència animal o vegetal
<b>19 06 Residus del tractament anaerobi de residus</b>
190603 Licors del tractament anaerobi de residus municipals (veure nota 2)
190604 Llots de digestió del tractament anaerobi de residus municipals (veure nota 2)
190605 Licors del tractament anaerobi de residus animals i vegetals
190606 Llots de digestió del tractament anaerobi de residus animals i vegetals
<b>19 08 Residus de les plantes de tractament d'aigües residuals no especificats en cap altra categoria</b>
190805 Llots del tractament d'aigües residuals urbanes
190812 Llots procedents del tractament biològic d'aigües residuals industrials diferents dels especificats en el codi 190811 (veure nota 1)
190814 Llots procedents d'altres tractaments d'aigües residuals industrials diferents dels especificats en el codi 190813 (veure nota 1)
<b>20 RESIDUS MUNICIPALS (residus domèstics i residus assimilables procedents dels comerços, indústries i institucions), INCLOSES LES FRACCIONS RECOLLIDES DE MANERA SELECTIVA</b>
<b>20 01 Fraccions recollides de manera selectiva</b>
200108 Residus biodegradables de cuines i restaurants (sandach de C3)
200125 Olis i greixos comestibles (sandach de C3)
200138 Fusta diferent de l'especificada en el codi 200137
<b>20 02 Residus de parcs i jardins (inclosos els residus de cementiris)</b>
200201 Residus biodegradables
<b>20 03 Altres Residus municipals</b>
200302 Residus de mercats amb absència total d'impropis (sandach de C3)
200304 Llots de fosses sèptiques

Notes:



(1) Els residus amb els codis: 160306, 190812, 190814, només es podran tractar en el cas de procedir d'instal·lacions amb matèries primeres d'origen biogènic (animal i/o vegetal), lliures d'impropis i innocus (absència de contaminants).

(2) els residus amb els codis CER 190501, 190603 i 190604, corresponen a la fracció orgànica dels residus municipals (FORM) recollida selectivament.

La Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental té un paper crucial en la comarca del Vallès Oriental i en la estratègia de la gestió del residu a Catalunya, representant un clar compromís de recuperació i valorització. En vista de les possibilitats per maximitzar la producció de biogàs de la Planta a través d'estratègies de codigestió, el Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental identifica oportunitats per estimular la qualitat i la quantitat del biogàs produït analitzant substrats locals en un procés de coDA juntament amb la FORM.

El Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental aposta clarament per l'Economia Circular, en trobem diferents exemples:

- El Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental té el projecte **RNOVA**, el qual va ser premiat en l'any 2014 amb el 12è Premi Ciutat Sostenible a la Categoria de Gestió de Residus. Es tracta d'una iniciativa per a la inclusió laboral de persones amb discapacitat o en risc d'exclusió mitjançant la reutilització d'objectes de segona mà provinents de la xarxa de deixalleries comarcal que combina la sostenibilitat ambiental i la sensibilitat social. Aquesta comercialització s'està duent a terme a través de centres especials de treball, membres de la xarxa LISMIVO, que formen i donen feina a persones amb discapacitat.
- Ha participat en diversos projectes Europeus. A continuació, a la Taula 1.13 es detallen els projectes en els que el CGRVO ha participat, el rol i si han estat seleccionats.

**Taula 1.13.** Projectes europeus en les que ha participat el CGRVO

Any	Projecte europeu	Objectiu projecte	Rol	Situació
2016	Emantics (Energy Management for Industrial Circular Heat Recovery Systems). Projecte europeu H2020	Demostrar i explotar les oportunitats de simbiosis de la recuperació de calor en un polígon industrial	Associated partners (suport)	No va ser concedit per la comissió europea
2016	Thermos. Projecte europeu H2020	Eines de control de l'energia tèrmica (subministrament i demanda)	Associated partners (suport)	Concedit per la comissió europea
2016	CongostNet. Urban Innovative Actions (UIA)	Subministrament de xarxes de calor en els polígons industrials	Partner	No va ser concedit per la comissió europea
2017	Quality Standards for Urban Biowastes. Es tracta d'un programa SUDOE.	Anàlisis dels diferents paràmetres per determinar uns estàndards de qualitat en funció del producte (digest...)	Associated partners (suport)	No va ser concedit per la comissió europea
2017	Cemowas. Es tracta d'un programa SUDOE	Implementació d'estratègies locals d'economia circular rutilitzant la matèria orgànica i les aigües	Associated partners (suport)	Concedit per la comissió europea
2017	Sustainable Industrial network management for heat simbiosis. Projecte H2020	Recuperació del calor industrial, incorporant tecnologies innovadores.	Associated partners (suport)	Concedit per la comissió europea
2017	Bioloops (Local Opportunities to optimize the planet's resources)	Foment de l'economia circular	Partner	No va ser concedit per la comissió europea

Actualment, s'està treballant per demanar algun projecte per fer una Planta Pilot per realitzar les proves de codigestió amb diferents tipus de residus orgànics (comercials i industrials).

## 1.8. REFERÈNCIES

ARC, Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 2017a. Balanç de les dades estadístiques de residus municipals de l'any 2017. Disponible a : < [http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/dades\\_2017.pdf](http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/dades_2017.pdf)> consultat 1 d'abril de 2019]

- ARC, Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 2017b. Disponible a :  
<<http://estadistiques.arc.cat/ARC/>>[consultat 1 d'abril de 2019]
- ARC, Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya (2019). Disponible a:  
<[http://residus.gencat.cat/ca/ambits\\_dactuacio/tipus\\_de\\_residu/](http://residus.gencat.cat/ca/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/)> [consultat 1  
d'abril de 2019]
- Agyeman, F.O., Tao, W., 2014. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: effects of food waste particle size and organic loading rate. *J. Environ. Manage.* 133, 268–274.
- Al Seadi, T., Lukehurst, C., 2012. Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas Report.
- Al Seadi, T., Owen, N., Hellström, H., Kang, H., 2013. Source separation of MSW: an overview of the source separation and separate collection of the digestible fraction of household waste, and other similar wastes from municipalities, aimed to be used as feedstock for anaerobic digestion in biogas plants. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas Report.
- Álvarez, C., Colón, J., López, A.C., Fernández Polanco, M., Benbelkacem, H., Buffière, P., 2018. Hydrodynamics of high solids anaerobic reactor: Characterization of solid segregation and liquid mixing pattern in a pilot plant VALORGA facility under different reactor geometry. *Waste Manage.* 76, 306-314.
- Angelidaki, I., Chen, X., Cui, J., Kaparaju, P., Ellegaard, L., 2006. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up procedure for continuously stirred tank reactor. *Water Res.* 40 (14), 2621–2628.
- APPA, 2019. <[www.appa.es](http://www.appa.es)> [consultat 1 d'abril de 2019]
- Appels, L., Lauwers, J., Degreè, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., Dewil, R., 2011. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4295–4301.
- Awasthi, S.K., Joshi, R., Dhar, H., Verma, S., Awasthi, M.K., Varjani, S., Sarsaiya, S., Zhang, Z., Kumar, S., 2018. Improving methane yield and quality via co-digestion of cow dung mixed with food waste. *Bioresour. Technol.* 251, 259–263.
- Banks CJ, Zhang Y, Jiang Y, Heaven S (2012) Trace element requirements for stable food waste digestion at elevated ammonia concentrations. *Bioresour Technol.* 104, 127–135.

- Barth, J., Amlinger, F., Favoino, E., 2012. Biowaste management and framework legislation in EU member states. [en línia]. Disponible: [http://www3.moew.government.bg/files/file/Waste/Biowaste/Phase\\_I/120910\\_MS\\_survey\\_FR\\_v2.0\\_EN.pdf](http://www3.moew.government.bg/files/file/Waste/Biowaste/Phase_I/120910_MS_survey_FR_v2.0_EN.pdf). [consultat 10 de maig de 2016]
- Braguglia, C.M., Gallipoli, A., Gianico, A., Pagliaccia, P., 2018. Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review. *Bioresour. Technol.* 248, 37–56.
- Braun, R., Holm-nielsen, J.B., Seadi, T. a L., 2002. Potential of Co-digestion. *IEA Bioenergy* 16.
- Buffiere P, Mirquez LD, Steyer JP, Bernet N, Delgenes JP., 2008. Anaerobic digestion of solid wastes needs research to face an increasing industrial success. *Int J Chem React Eng.* 6, A94.
- Campuzano, R., González-Martínez, S., 2016. Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Manage.* 54, 3-12.
- Capson-Tojo, G., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J.-P., Delgenès, J.-P., Escudié, R., 2016. Food waste valorization via anaerobic processes: a review. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology.* 15, 499–547.
- CEPA (California Environmental Protection Agency), 2008. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. California Environmental Protection Agency  
<<http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/Documents/1275/2008011.pdf>>.
- Clarke, W.P., 2018. The uptake of anaerobic digestion for the organic fraction of municipal solid waste – Push versus pull factors. *Bioresour. Technol.* 249, 1040–1043.
- Consell de la Unió Europea. 1999. Directiva 1999/31/EC, sobre l'abocament de residus. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EN:NOT>.
- Consorci,2019.<[http://www.cresidusvo.info/perfil/conres/recursos/recursos/estatuts\\_del\\_s\\_consorc\\_i\\_per\\_a\\_la\\_gesti\\_\\_dels\\_residus\\_del\\_vall\\_s\\_oriental.pdf](http://www.cresidusvo.info/perfil/conres/recursos/recursos/estatuts_del_s_consorc_i_per_a_la_gesti__dels_residus_del_vall_s_oriental.pdf)>.[consultat 10 de maig de 2019]
- De Baere, L., Mattheeuws, B., 2008. State of the art 2008- Anaerobic digestion of solid waste. *Waste Manage. World.*  
<[http://www.waste-management-world.com/articles/print\\_screen.cfm](http://www.waste-management-world.com/articles/print_screen.cfm)>. [consultat 2 de maig de 2019]
- De Baere, L., Mattheeuws, B., 2012. Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of MSW

in Europe, experience and prospects, *Waste Manage.* 3, 517–526.

De Baere, L., Mattheeuws, B., 2017. Production of clean compost out of mixed MSW: a giant leap towards zero waste. <<http://www.ows.be/es/installations-biogaz/publicaciones/>> [consultat 1 d'abril de 2019]

Decret 27/1999, de 9 de febrer, de la gestió dels residus sanitaris. [en línia] Disponible a <[https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/%3Faction%3Dfitxa%26mode%3Dsingle%26documentId%3D187544%26language%3Dca\\_ES](https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/%3Faction%3Dfitxa%26mode%3Dsingle%26documentId%3D187544%26language%3Dca_ES)>. [Consultat 1 de juny de 2018]

Decret Legislatiu 1/2009, de 21 de juliol, pel qual s'aprova el Text refòs de la Llei reguladora dels residus. [en línia] Disponible a <[https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/?documentId=497897&action=fitxa](https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?documentId=497897&action=fitxa)>. [Consultat 1 de juny de 2018]

Decret 89/2010, de 29 de juny, pel qual s'aprova el Programa de gestió de residus de la Construcció de Catalunya (PROGROC), es regula la producció i gestió dels residus de la construcció i demolició, i el cànon sobre la deposició controlada dels residus de la construcció. [en línia] Disponible a <[https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/?documentId=553004&action=fitxa](https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?documentId=553004&action=fitxa)>. [Consultat 1 de juny de 2018]

Decret 40/2014, de 25 de març, d'ordenació de les explotacions ramaderes.[en línia] Disponible<[https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa/?action=fitxa&mode=single&documentId=658359&language=ca\\_ES](https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?action=fitxa&mode=single&documentId=658359&language=ca_ES)>. [Consultat 1 de juny de 2018]

Directiva europea, 2008/98/CE.del 19 de novembre de 2008. [en línia] Disponible a <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0098:EN:NOT>> . [Consultat 11 de març de 2019]

Dong, L., Zhenhong, Y., Yongming, S., 2010. Semi-dry mesophilic anaerobic digestion of water sorted organic fraction of municipal solid waste (WS-OFMSW). *Bioresour. Technol.* 101 (8), 2722–2728.

Edwards, J., Burn, S., Crossin, E., Othman, M., 2018. Life cycle costing of municipal food waste management systems: The effect of environmental externalities and transfer costs using local government case studies. *Resour., Conservation & Recycling.* 138, 118-129.

- European Commission (2010). Assessment of the management of bio-waste. Working document: Accompanying the Communication from the Commission On future steps in bio-waste management in the European Union. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:52010SC0577> [Consultat 1 de juny de 2018]
- European Commission. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions - the role of waste-to-energy in the circular economy. COM/2017/0034 Final. <2017. <http://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf>>. [Consultat 1 de juny de 2018]
- European Union Law. Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet'. Disponible a <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013D1386>> [Consultat 1 de juny de 2018]
- Eurostat. Municipal waste treatment in EU-27 by type of treatment, (kg per capita), 1995-2015. n.d.
- Fagbohungebe, M., Dodd, I., Herbert, B., Li, H., Ricketts, L., Semple, k., 2015. High Solid anaerobic digestion: Operational Challenges and possibilities. Environment. Technol. and Innova. 4, 268-284
- Fisgativa, H., Tremier, A., Dabert, P., 2016. Characterizing the variability of food waste quality: a need for efficient valorisation through anaerobic digestion. Waste Manage. 50, 264–274.
- Greenpeace, 2017. Encuesta cambio climático de Greenpeace [en línia] Disponible a: <<https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/el-cambio-climatico-ya-es-la-principal-preocupacion-medioambiental-de-la-sociedad-espanola/>> [consultat 1 juny 2019]
- Guendouz, J., Buffière, P., Cacho, J., Carrère, M., Delgenes, J.P., 2010. Dry anaerobic digestion in batch mode: design and operation of a laboratory-scale, completely mixed reactor. Waste Manage. 30 (10), 1768–1771.

- Hansen, T. L., Schmidt, J. E., Angelidaki, I., Marca, E., Jansen, J., Mosbaek, H., Christensen, T. H., 2004. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Manage.* 24, 393-400.
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.-C., Fruteau de Laclos, H., Gashimi, D., Hack, G., Hartel, M., Heerenklage, J., Horvath, I. S., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizoasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J. V., Paterson, M., Paus, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Pfund, F. R., Strömberg, S., Torrijos, M., Eekert, M., Lier, J., Wedwitschka, H., Wierinck, I., 2016. Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Sci. & Technol.* 74.11, 2515-2522.
- Hoornweg D., Bhada-Tata P., 2012. *What a waste: a global review of solid waste management.* World Bank, Washington, DC.
- Institut Cerdà, 2014. *Estudi sobre la generació de residus comercials a Catalunya.* <[http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/tipus\\_de\\_residu/residus\\_comercials/estudi\\_residus\\_comercials\\_2014.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/residus_comercials/estudi_residus_comercials_2014.pdf)> [consultat 10 de maig de 2019)
- Karak, T., Bhagat, R. M., 2012. Municipal solid waste generation, Composition and Management: The World Scenario. *Critical rev. Environ. Sci. Technol.* 42, 1509–1630.
- Kothari, R., Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K., 2014. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 39, 174-195
- Kawai, K., Tasaki, T., 2016. Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *Waste Manage.* 18:1-13
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* 127, 221-232.
- Luning, L., van Zundert, E.H.M., Brinkmann, A.J.F., 2003. Comparison of dry and wet digestion for solid waste. *Water Sci. and Technol.* vol.48, 15-20.
- Madsen, M., Holm-Nielsen, J., B., 2011. Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 3141-3155.

- Marcet, X., Marcet, M., Vergés, F., 2018. Què és l'economia circular i per què es important pel territori. Papers del Pacte Industrial, número 4. Pacte Industrial de la Regió Metropolitana de Barcelona.
- Martín González, L., 2011. Anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid wastes. Co-digestion with fat, oil and grease wastes from sewage treatment plants. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible a: <<https://xpv.uab.cat/teseo/,DanaInfo=.awxyCii0jilszzMu3rQw.,SSL+imprimirFicheroTesis.do?idFichero=aHCA30ChC74%3D>> [Consultat 1 de març de 2018]
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P., 2000. Anaerobic digestion of organic solid waste. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresour. Technol.* 74 (1), 3–16.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., Astals, S., 2011. Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling. *Critical Reviews in Biotechnology.* 31(2), 99-111.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M.S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S., 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 36, 412–427.
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczynska, D., Stanchev, P., Katsou, E., 2017. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy.* 141, 2013-2044
- Mehariya, S., Patel, A.K., Obulisamy, P.K., Punniyakotti, E., Wong, J.W.C., 2018. Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: Current status and perspective. *Bioresour. Technol.* 265, 519–531.
- Murphy, J., Power, N., 2006. A Technical, Economic and Environmental Comparison of Composting and Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Waste. *Journal of Environmental Science and Health Part A.* 41, 865–879
- Nghiem, L. D., Koch, K., Bolzonella, D., Drewes, J.E., 2017. Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 72, 354-362.
- Nielfa, A., Cano, R., Fdz-Polanco, M., 2015. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnol. Rep.* 5, 14–21.



- OCDE, 2019. Municipal Waste [en línia] Disponible a:<  
<https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>> [consultat 2 maig 2019]
- Palmisano, A.C., Barlaz, M.A., 1996. Microbiology of Solid Waste. CRC Press. Taylos & Francis Group, USA.
- Pavi, S., Kramer, L.E., Gomes, L.P., Miranda, L.A.S., 2017. Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. Bioresour. Technol. 228, 362–367.
- Pham TPT, Kaushik R, Parshetti GK et al (2014) Food-waste-toenergy conversion technologies: current status and future directions. Waste Manage. 38, 399–408.
- Pla Estatal Marco de Gestió de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Pla aprovat mitjançant Resolució de 16 de novembre de 2015, de la Direcció General de Qualitat i Avaluació Ambiental i Medi Natural, per la qual cosa es publica l'Acord del Consell de Ministres el 6 de novembre de 2015. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-13490>
- Pognani, M., Barrena, R., Font, X., Sánchez, A., 2012. A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant. Waste Manage. 32, 799-805
- Portaaporta, 2019. La recollida porta a porta a Catalunya, febrer 2019. [en línia]. Disponible a: <<http://www.portaaporta.cat/ca/index.php>> [consultat 1 juny 2019]
- PRECAT20, 2014. Programa general de prevenció i gestió de residus i recursos de Catalunya 2013-2020. [en línia]. Disponible a: <<http://www20.gencat.cat/docs/arc/Home/Ambits%20dactuacio/Planificacio/PROCAT20/PRECAT20.pdf>> [consultat 1 març 2019]
- Puig-Ventosa, I., Freire-González, J., Jofra-Sara, M., 2013. Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste. Waste Manage. & Research 31[5], 510-517.
- Raga, C., Salvat, R., 2018. Gestió Intel·ligent de residus: simbiosi industrial. Informe de Vigilància Tecnològica. Hubb 30.
- Rand, T., Haukohl, J. and Marxen, U. (2000) Municipal SolidWaste Incineration: Requirements for a successful Project. World Bank Technical Paper no. WTP462. [en línia]. Disponible a: <<http://www-wds.worldbank.org>>. [Consultat 1 de juny de 2018]
- Real Decret 102/2014, de 21 de febrer, per la gestió responsable i segura del combustible nuclear gastat i els residus radioactius. [en línia]. Disponible a:

- <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-2489](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-2489)>. [Consultat 1 de juny de 2018]
- Sanscartier, D., MacLean, H., Saville, B., 2012. Electricity Production from Anaerobic Digestion of Household Organic Waste in Ontario: Techno-Economic and GHG Emission Analyses. *Environmental Science & Technology*. 46, 1233-1242.
- Silvestre, G., Bonmatí, A., Fernández, B., 2015. Optimisation of sewage sludge anaerobic digestion through co-digestion with OFMSW: Effect of collection system and particle size. *Waste Manage.* 43, 137–143.
- Spora, 2018. Guia i experiències de referència per a la implantació de la recollida selectiva dels residus municipals. Biblioteca de Catalunya.
- Suwannarat, J., Ritchie, R.J., 2015. Anaerobic digestion of food waste using yeast. *Waste Manage.* 42, 61–66.
- Kiran, E. U, Trzcinski AP, Ng WJ, Liu Y (2014) Bioconversion of food waste to energy: a review. *Fuel* 134:389–399.
- Walter, A., Probst, M., Hinterberger, S., Müller, H., Insam, H., 2016. Biotic and abiotic dynamics of a high solid-state anaerobic digestion box-type container system. *Waste Manage.* 49, 26–35.
- Wang, M., Sun, X., Li, P., Yin, L., Liu, D., Zhang, Y., Li, W., Zheng, G., 2014. A novel alternative feeding mode for semi-continuous anaerobic co-digestion of food waste with chicken manure. *Bioresour. Technol.* 164, 309–314.
- Wang, Y., Li, G., Chi, M., Sun, Y., Zhang, J., Jiang, S., Cui, Z., 2018. Effects of co-digestion of cucumber residues to corn stover and pig manure ratio on methane production in solid state anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 250, 328–336.
- Zamanzadeh, M., Hagen, L.H., Svensson, K., Linjordet, R., Horn, S.J., 2017. Biogas production from food waste via co-digestion and digestion- effects on performance and microbial ecology. *Sci. Rep.* 7, 17664.
- Zhang, H., Matsuto, T., 2011. Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste. *Waste Manage.* 31, 416-422.



## **CAPÍTOL 2. OBJECTIUS DE LA TESI**

### ***Resum***

Es defineixen els objectius generals de la tesi presentada així com els objectius específics derivats d'ells.



## **CAPÍTOL 2. OBJECTIUS DE LA TESI**

L'objectiu general d'aquesta tesi és aplicar els principis de l'Economia Circular mitjançant la codigestió en una planta de digestió anaeròbica i compostatge de FORM que està actualment funcionant, la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental.

Els objectius específics d'aquesta tesi són:

- 1) Localitzar, caracteritzar i seleccionar residus orgànics comercials i industrials dels voltants de la Planta d'estudi.
- 2) Quantificar el potencial de producció de biogàs dels residus seleccionats per tal de valoritzar-los i ser considerats com recurs.
- 3) Realitzar el balanç de matèria de la planta considerant l'entrada dels diferents tipus de residus orgànics seleccionats.
- 4) Realitzar el balanç d'energia per analitzar quina seria la previsió del potencial de generació d'energia elèctrica i tèrmica.
- 5) Realitzar l'estudi econòmic i el càlcul del cost del tractament dels residus seleccionats.

Els resultats es presenten en diversos capítols en funció del tipus de resultats:

- Capítol 4. Característiques dels cosubstrats
- Capítol 5. Balanços de matèria i d'energia
- Capítol 6. Anàlisi econòmic

Per acabar, la Tesi finalitza amb el capítol de conclusions generals i els annexos.



## CAPÍTOL 3. MATERIALS I MÈTODES

### *Resum*

En aquest capítol es realitza una descripció del tractament de la planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental.

Es defineixen els cosubstrats estudiats, les seves característiques principals i els codis CER.

Finalment es descriuen els mètodes analítics utilitzats per obtenir els resultats. Així com els assaigs de potencial de producció de biogàs (BMP) realitzats de cada residu i el seu model cinètic.





## CAPÍTOL 3. MATERIALS I MÈTODES

### 3.1. DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA

#### 3.1.1. INTRODUCCIÓ

La planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental (en endavant la Planta) és una planta de digestió anaeròbica en via humida d'escala mitjana (BTA® tecnologies) localitzada a Granollers (Catalunya, Espanya), que tracta la fracció orgànica del residu municipal dels municipis de les comarques Vallès Oriental (44% de la FORM tractada), Maresme (53%) i alguns municipis del Moianès (3%). A la Figura 3.1 es pot veure una imatge aèria de la planta.

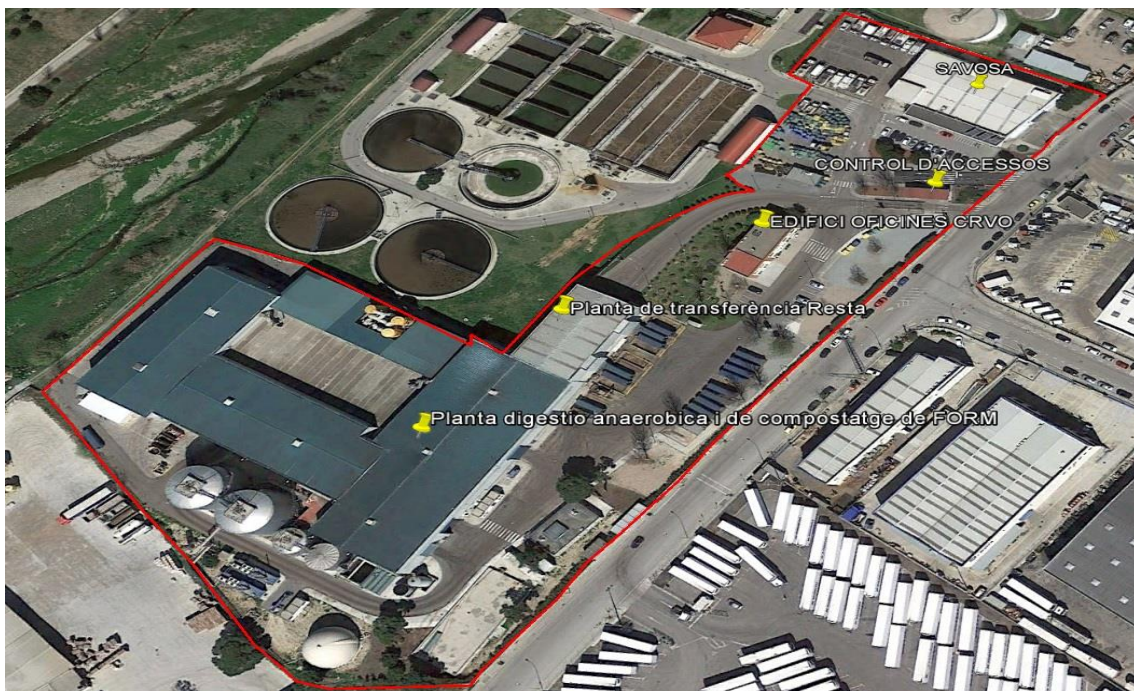


Figura 3.1. Imatge aèria de la planta

La planta té una autorització ambiental per poder tractar 51184 tones de FORM. L'any 2017 van entrar 50432.08 tones de FORM, representant un increment d'un 2.3% respecte l'any 2016 i en el 2018 van entrar 52524 tones de FORM, incrementant un 4% els resultats de l'any anterior, i té una producció de biogàs de 4.250.000 Nm<sup>3</sup> any<sup>-1</sup>. Actualment s'ha

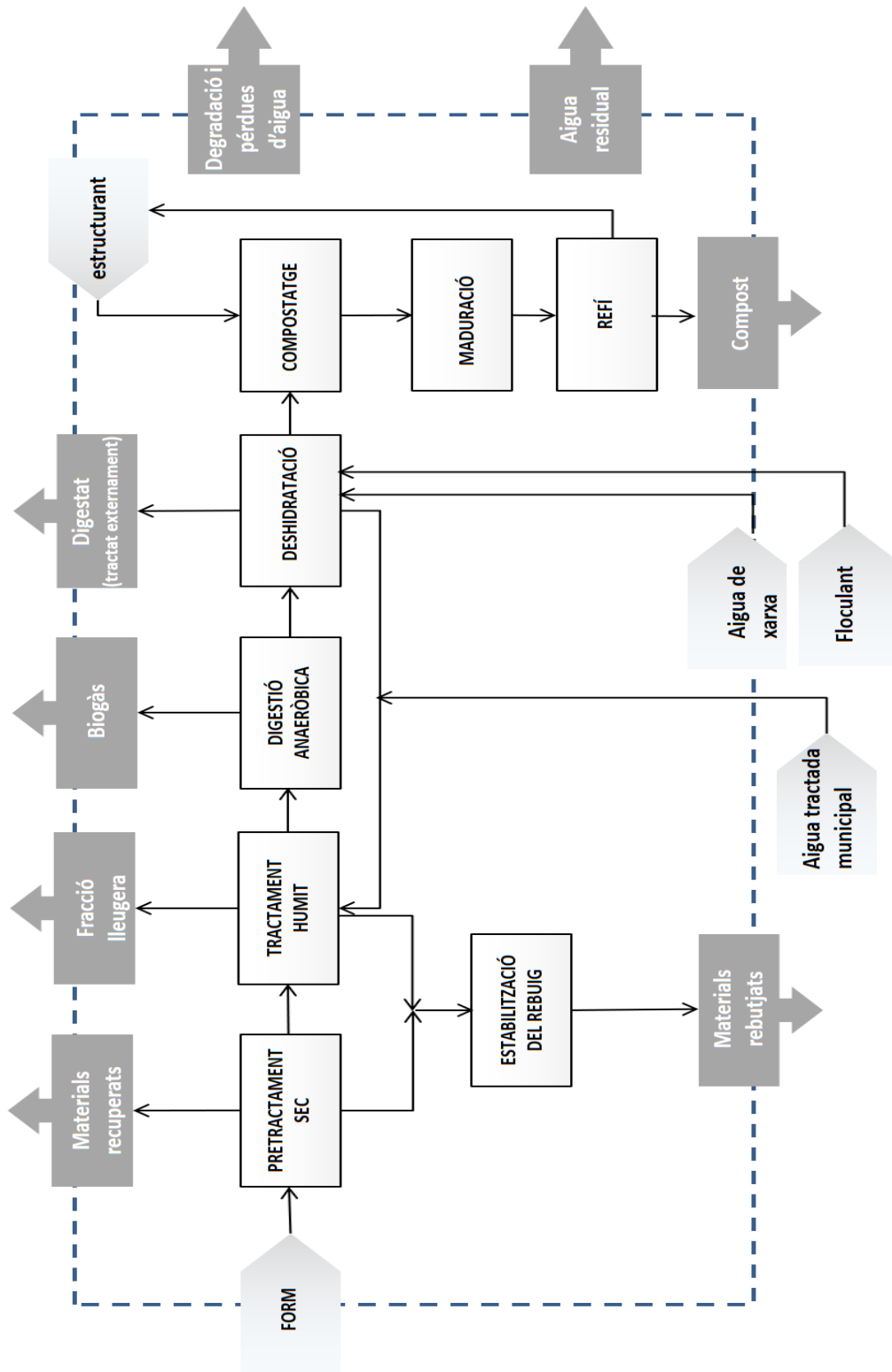
sol·licitat un canvi no substancial per ampliar la quantitat de tones a 55000 t any<sup>-1</sup> de FORM, que seria la quantitat màxima que tindria capacitat la instal·lació.

La composició de la FORM que entra a la Planta (Taula 3.1) presenta un percentatge elevat de fracció vegetal, especialment, de fracció vegetal de mida petita i que és assimilable a la fracció orgànica. El percentatge d'impropis, al voltant d'un 8% de mitjana és un valor constant durant aquests darrers anys.

Taula 3.1. Composició FORM 2018 (mitja ponderada)

COMPOSICIÓ FORM		%	%
FRACCIÓ ORGÀNICA	Fracció orgànica	56.03	85.61
	FV assimilable FO	29.58	
PODA	Poda	6.42	6.42
IMPROPIS	Vidre	0.54	7.97
	Paper	0.78	
	Plàstics mix i film	2.18	
	Bosses de plàstic	1.29	
	Metall fèrric	0.22	
	Metall no fèrric	0.14	
	Tèxtil	0.54	
	Tèxtil Sanitari	0.73	
	Residus especials	0.03	
	Voluminosos	0.02	
	Altres	1.50	
TOTAL		100	100

De forma resumida, el procés consisteix en cinc passos principalment (Fig 3.2): (1) el pretractament sec per eliminar els residus inorgànics, recuperar els materials reciclables i obtenir la fracció orgànica, (2) el tractament humit, per preparar la fracció orgànica per la digestió anaeròbica humida afegint aigua, eliminant els materials pesats (sorra, vidre...) i la fracció lleugera (principalment fibres vegetals), (3) el tractament biològic basat en una digestió anaeròbica humida mesofílica seguida de (4) compostatge del digest deshidratat, i (5) el post tractament del refí del compost resultant.



**Figura 3.2.** Diagrama de fluxos dels processos de tractament de la FORM a la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental.

### 3.1.2. BREU DESCRIPCIÓ

L'explicació tècnica detallada de la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus està a l'annex I. En aquest apartat es farà una breu descripció del procés, el qual consta de les següents etapes:

- Pretractament sec: és el procés en el que la FORM passa per tota una sèrie d'equips mecànics (obrebosses, trómel de 100 mm, separador magnètic) per extreure les impureses en via seca, Figura 3.3. L'objectiu és obtenir una orgànica "pretractada" el més neta possible amb una mida < 100mm que s'envia al procés de tractament humit. S'obté un rebuig del pretractament sec que s'envia a valorització energètica, també s'obté un material recuperat que és material fèrric i s'envia a recuperador.



Figura 3.3. Àrea de pretractament sec

- Tractament humit: la fracció orgànica pretractada és conduïda a un fons mòbil des d'on s'inicia el procés de tractament humit, Figura 3.4. La funció d'aquest procés es barrejar la matèria orgànica amb aigua de procés i formar una suspensió orgànica que finalment serà conduïda al procés de digestió anaeròbia. Els equips principals són els púlpers, equips de 32 m<sup>3</sup> d'estructura cilíndrica i fons cònic amb un tamís de 10 mm en la part inferior i un agitador a la part central. En el púlper s'eliminen les impureses com és la fracció lleugera (material que sura a dins del púlper) que s'extreu mitjançant una sistema hidràulic que pentina la part superficial i la fracció

pesada que queda en el fons i s'extreu mitjançant un cargol deshidratador. La suspensió orgànica passa pel tamís de 10 mm i és conduïda als hidrociclons.



Figura 3.4. Àrea de tractament humit

Els hidrociclons (Figura 3.5) tenen la funció d'eliminar les sorres de mida petita i aquestes són conduïdes juntament amb la fracció pesada a un contenidor i d'aquí són expedides a deposició final.



Figura 3.5. Hidrociclons

- Digestió anaeròbia: la suspensió orgànica, neta d'impureses, és alimentada a un tanc d'hidròlisis on s'injecta una petita quantitat d'aire per iniciar aquesta etapa i facilitar el procés de descomposició de la matèria orgànica als digestors, Figura 3.6. Es disposa de dos digestors de 3000 m<sup>3</sup> cadascun d'ells on té lloc la digestió anaeròbia, la fermentació de la suspensió orgànica en biogàs (aproximadament 65%



CH<sub>4</sub>) i un residu líquid que conté encara prou matèria orgànica per poder compostar. El biogàs produït s'emmagatzema en un gasòmetre i després s'envia al procés de cogeneració. El temps de residència en el digestor és d'aproximadament 15 dies.



**Figura 3.6.** Digestió Anaeròbia

- Deshidratació: El residu orgànic líquid del digestor és conduït als cargols deshidratadors que tenen la funció de separar la fase sòlida (digest) de la fase líquida (aigua de procés), es fa servir floculant per poder fer una òptima separació i obtenir una aigua de procés amb un baix contingut en matèria seca, ja que després es recircula per fer-la servir com aigua de procés en el procés de tractament humit.
- Compostatge: es disposen de 12 túnels de compostatge, dels quals 9 es fan servir per compostar el digest i 3 són utilitzats per l'estabilització del rebuig. El digest es barreja amb palet astellat per donar-li estructura i crear porositat perquè faci un correcte procés de compostatge, Figura 3.7. El material està dins del túnel aproximadament 15 dies on madura, higienitza i s'estabilitza..



**Figura 3.7.** Àrea de compostatge

- Refí: una vegada ha finalitzat el procés de compostatge és necessari que sigui refinat per separar el compost de l'estructurant que s'ha fet servir. La instal·lació (Figura 3.8) consta d'una garbella que fa aquesta separació, també té una taula densimètrica per si hi hagués impropis com plàstics i inerts. L'estructurant separat es recircula i es torna a fer servir. El compost obtingut és un producte estable, higienitzat, madur, ric en micro i macro nutrients, la seva sortida és per agricultura i jardineria.



**Figura 3.8.** Instal·lació Refí

- Tractament d'aigües residuals: actualment no està en operació, s'envia a una depuradora externa.



- Tractament d'aire: La planta aspira  $100000\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$  de les diferents naus de procés. Tot aquest aire passa en primer lloc per un procés de tractament químic basat en uns rentadors químic (àcid i posteriorment bàsic), Figura 3.9. El rentador químic àcid té la funció d'eliminar  $\text{NH}_3$  que procedeix del procés de compostatge mitjançant la dosificació de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  i produint una sal  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , el rentador bàsic té poc ús en la instal·lació. Finalment s'envia a l'humidificador per proporcionar-li humitat i finalment entra al procés biològic del biofiltre on una sèrie de microorganismes s'encarreguen d'eliminar les partícules que fan mala olor.



**Figura 3.9.** Tractament d'aïres

### 3.2. CO-SUBSTRATS

Les fonts per poder localitzar els substrats van ser la informació facilitada per l'Agència de Residus de Catalunya i la informació facilitada per l'Ajuntament de Granollers dels polígons industrials. Això ha permès poder fer una tria d'aquells residus més aptes pel procés industrial, els quals pertanyen principalment al sector comercial (cadena supermercats) i industrial alimentari.

Els co-substrats estudiats que es descriuen en la Taula 3.2 van ser obtinguts de les indústries localitzades pròximes a la Planta, en un radi de 10 kilòmetres.

**Taula 3.2.** Descripció dels residus utilitzats com a co-substrats.

Tipus residus	Codi residu UE*	Residus	Descripció
Residus orgànics comercials (Supermercats)	200108/200302	Residu procedent de supermercat (SM1)	Conté fruites, verdures, carn i peix. Envasat en plats i safates. (Fig 3.10)
	200108/200302	Residu procedent de supermercat (SM2)	SM1 triturat (Fig 3.11)
	200108/200302	Residu procedent de supermercat (SM3)	Conté pa i pizzas (Fig 3.12)
	200108/200302	Residu procedent de supermercat (SM4)	Conté fruites i verdures (Fig 3.13)
Residus indústria alimentària	Subproducte	Residu de la producció de la lasanya	Conté principalment carn (Fig 3.14)
	020203	Residu de la producció de la lasanya	Conté principalment pasta (Fig 3.14)
	020201	Residu d'una empresa de patates fregides	Midó (Fig 3.15)
	020201	Residu d'una empresa de patates fregides	Pell patata (Fig 3.15)
	190501/190502	Residu d'una planta de tractament de residus d'orgànica comercial	Produït Durant l'autoclau de residu comercial no destinat per alimentació. Fig (3.16)
	190501/190502	Residu d'una planta de tractament de residus d'orgànica comercial	Suspensió orgànica de l'autoclau tamisada a 2 mm de mida de malla.
	161002	Aigua residual d'una indústria de formulacions i barreges líquides.	Aigua residual amb un alt contingut de matèria orgànica
Residus biodièsel	Subproducte	Residu d'una empresa de biodièsel	Glicerol i aigua (50:50) (Fig 3.17)
	Subproducte	Aigües residuals d'una empresa de biodièsel	Aigües residuals de la destil·lació glicerol:aigua (Fig 3.17)

\* Decisió de la comissió europea 2000/532/EC



**Figura 3.10. SM1**



**Figura 3.11. SM2**



**Figura 3.12. SM3**



Figura 3.13. SM4



Figura 3.14. Residus de la lasanya



Figura 3.15. Residus de les patates



Figura 3.16. Residus orgànics líquids comercials

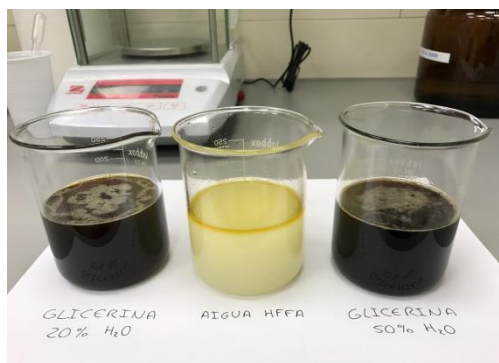


Figura 3.17. Residus del glicerol

### 3.3. MÈTODES ANALÍTICS

#### 3.3.1. SÒLIDS TOTALS I SÒLIDS VOLÀTILS

El contingut de sòlids totals (ST) i de sòlids volàtils (SV) han estat determinats mitjançant els mètodes estàndard (APHA, 2012).

Aproximadament 25 mL del residu es van utilitzar per avaluar el contingut de ST i SV dels diferents co-substrats. Es requereixen quantitats més altes quan es van analitzar mostres sòlides heterogènies, com el residu dels supermercats, per tal d'assegurar que la mostra sigui representativa. La mostra es col·locava en una càpsula i a dins d'una estufa es va deixar a 105 ° C durant 24 hores. Després de l'evaporació d'aigua, la matèria seca restant, determinada gravimètricament, corresponia al contingut ST de la mostra (equació 3.1). Posteriorment, la càpsula es va col·locar en un forn de mufla (550 ° C, 2h) on es va incinerar la part orgànica del contingut de la mostra, mentre que la matèria inorgànica resta a la càpsula. De nou, el contingut de SV es va determinar gravimètricament (Equació 3.2)

$$ST = \frac{\text{Pes de la mostra a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Pes de la mostra fresca}}, \text{ [g L}^{-1} \text{ o g kg}^{-1}] \quad \text{Eq. 3.1}$$

$$SV = \frac{\text{Pes de la mostra a } 105^{\circ}\text{C} - \text{Pes de la mostra a } 550^{\circ}\text{C}}{\text{Pes de la mostra fresca}}, \text{ [g L}^{-1} \text{ o g kg}^{-1}\text{]}$$

Eq. 3.2

### 3.3.2. pH

El pH va ser mesurat fent servir un pHmetre (Crison) calibrat amb solucions tampó de pH 4.0 i 7.0 abans de cada conjunt de mesures a realitzar.

### 3.3.3. COMPOSICIÓ DEL BIOGÀS

El contingut de diòxid de carboni i de metà han estat analitzats fent servir un cromatògraf de gasos. Les especificacions del qual estan a la Taula 3.3.

**Taula 3.3.** Especificacions del cromatògraf de gasos per anàlisi del biogàs

Cromatògraf	Hewlett Packard 5890
Detector	Detector de conductivitat tèrmica (TCD)
Columna	Supelco Porapack Q (250°C) 3m x 1/8"
Gas portador	Heli a 338 kPa
Temperatura del forn	70°C
Temperatura injector	150°C
Temperatura Detector	180°C
Volum mostra	100 µL
Detalls d'injecció	Manual injecció
Rang de detecció	0-100% (v/v)
Temps d'execució	3 min

### 3.3.4. CONTINGUT EN METALLS

El contingut en metalls va ser analitzat fent servir un equip ICP-OES Thermo ICAP 7400 acord al mètode UNE-EN-ISO 11885. Aquest anàlisi va ser realitzat pel Laboratori Eurofins Agroambiental (Lleida, Espanya).

### **3.3.5. ÍNDEX RESPIROMÈTRIC DINÀMIC**

L'índex de respirometria dinàmica (IRD) consisteix en la mesura d'O<sub>2</sub> consumit per microorganismes que degraden la fracció orgànica fàcilment degradable sota condicions aeròbiques estandarditzades (Adani, et al., 2004).

Aquest anàlisi va ser realitzat per la Universitat Autònoma de Barcelona i el procediment ha seguit el que va ser determinat per Ponsa, 2010.

### **3.4. ASSAIG DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓ DE BIOGÀS (BMP)**

Es van realitzar assajos de potencial de biogàs (BMP) per mesurar la producció de metà dels residus presentats a la Taula 3.2. Els tests de BMP es van basar en el procediment descrit a Martín-González et al. (2010).

L'inòcul per a l'assaig es va obtenir a partir de la sortida del digestor anaerobi mesòfil que tracta FORM a la planta, treballant sota operacions d'estat estacionari i TRH de 16 dies.

Es van realitzar aquests tests a temperatura mesòfila ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Es van utilitzar ampolles d'alumini de 900 mL com a reactors, amb un volum de treball de 600 ml. Els assaigs es van realitzar d'acord amb un rati d'inòcul a substrat de 2: 1 en una base SV, utilitzant 500 mL com a volum inòcul fix. Els reactors van ser omplerts amb aigua destil·lada fins al volum de treball (600 mL), després de tancar, el volum d'aire que quedava a la part superior de les ampolles es va buidar amb N<sub>2</sub> per garantir condicions anaeròbies.

Es va utilitzar un manòmetre SMC (1 bar, 5% de precisió) per mesurar la producció de biogàs a l'espai lliure dels reactors al llarg del temps de duració de l'assaig, fins a l'esgotament de la producció de biogàs. La producció de biogàs volumètric acumulat es va calcular tenint en compte l'augment de pressió en el volum de l'espai superior.



La producció neta del biogàs es va calcular restant la producció de biogàs de l'inòcul (reactor blanc) de la producció bruta de biogàs dels reactors de mostra. Es va dur a terme una prova de control amb cel·lulosa per verificar l'activitat biològica de l'inòcul segons l'Institut Alemany per a la Normalització (Govern Federal Alemany, 2001) descartant aquells assaigs on l'inòcul no era prou actiu. Periòdicament, les mostres de gas van ser preses dels reactors per analitzar la composició del biogàs mitjançant cromatografia de gasos.



**Figura 3.18.** Reactors en discontinu utilitzats pels tests BMP



**Figura 3.19.** Mesura pel cromatògraf de gasos



Els assaigs es van realitzar en triplicat, i els resultats es van expressar com el volum de biogàs produït per gram de sòlids volàtils sota condicions estàndard de temperatura ambient (L biogàs o metà kg SV<sup>-1</sup> a T = 298 K, P = 1.0133 bar). Per obtenir el volum produït de biogàs en condicions estàndard en cada reactor al llarg de duració de l'assaig es va fer servir l'equació 3.3.

$$V_{STP} = \frac{T_{ST} \times P_R \times V_R}{P_{SP} \times T_R} \quad \text{eq. 3.3}$$

On:

V<sub>STP</sub>: volum del biogàs en condicions estàndard (mL)

P<sub>R</sub>: pressió a dins del reactor (atm)

V<sub>R</sub>: Volum lliure superior del reactor (mL)

T<sub>ST</sub>: Temperatura en condicions estàndard (K)= 298 K

P<sub>SP</sub>: Pressió en condicions estàndard (atm)= 1 atm

T<sub>R</sub>: Temperatura dins del reactor discontinu (K)= 310 K en condicions mesofíliques.

### 3.5. MODEL CINÈTIC

Els paràmetres cinètics van ser calculats utilitzant el model de Gompertz modificat descrit en equació 3.4 (Nielfa et al., 2015).

$$P_{net}(t) = P_{max} \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_{max} e}{P_{max}} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad \text{Eq.3.4}$$

On:

P<sub>net</sub>(t): Producció neta de metà acumulat (mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>) en el moment t

P<sub>max</sub>: Producció del potencial de metà (mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>)

R<sub>max</sub>: Rati de producció de metà màxim (mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

λ: fase de latència (d)

Els càlculs mitjançant l'equació 3.4 van ser realitzats utilitzant el software Matlab R2015a (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA).

### 3.6. REFERÈNCIES

- Adani, F., Confalonieri, R., & Tambone, F. (2004). Dynamic respiration index as a descriptor of the biological stability of organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, 33(5), 1866–1876. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.1866>
- APHA, 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, DC, New York: American Public Health Association.
- German Federal Government, 2001. Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements and on Biological Waste-Treatment Facilities (Abfallablagerungsverordnung – AbfAbIV) 1998, 50.
- Martín-González, L., Colturato, L.F.F., Font, X., Vicent, T., 2010. Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Manag.* 30, 1854–1859.
- Nielfa, A., Cano, R., Fdz-Polanco, M., 2015. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnol. Reports* 5, 14–21.
- Ponsá Salas, S., 2010. Different indices to express biodegradability in organic solid wastes. Application to full scale waste treatment plants. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible a: <<https://xpv.uab.cat/record/,DanaInfo=.adefCyfhGkj3,SSL+127296>> [consultat 22 maig 2019]



## **CAPÍTOL 4. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBSTRATS**

### ***Resum***

En aquest capítol es presenta la caracterització dels diferents residus estudiats. Es defineixen les proves industrials realitzades als residus orgànics comercials, així com les conclusions més importants de totes aquestes caracteritzacions i proves realitzades. Així mateix es presenten els resultats de les proves a escala industrial amb residu comercial, que tenen com a objectiu principal determinar la qualitat de rebuig generat en el tractament humit i els possibles problemes de procés.

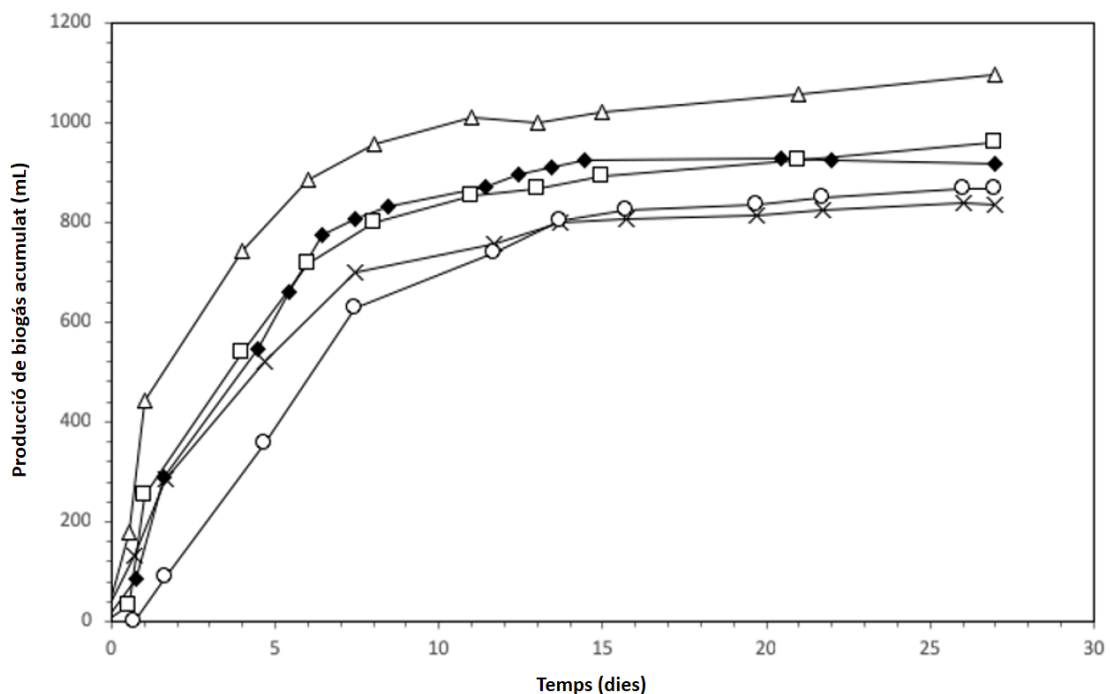


## CAPÍTOL 4. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBSTRATS

### 4.1. CARACTERITZACIÓ DELS COSUBSTRATS

Per millorar la producció de biogàs mitjançant l'estratègia coDA, es van buscar i caracteritzar 13 potencials cosubstrats (Taula 3.1) generats en l'entorn de la Planta. Per cada un d'ells es van dur a terme assajos de BMP.

L'objectiu de la determinació dels BMP és conèixer quin és el potencial de producció de biogàs per tal de posteriorment aplicar aquests valors al balanç de matèria. Com a exemple dels resultats de BMP, la Figura 4.1 mostra la producció de biogàs net de la FORM actual (residu de referència) i els diferents cosubstrats obtinguts dels supermercats (SM1, SM2, SM3, SM4). Aquests quatre residus de supermercats, són assimilables a municipals i això explica que fos pràcticament instantània la seva activitat metanogènica amb l'inòcul de la Planta.



**Figura 4.1.** Producció de biogàs net dels residus dels supermercats i el residu de referència (FORM): (◇) supermercat 1; (□) supermercat 2; (△) supermercat 3; (X) supermercat 4; (○) FORM.

Per poder comparar el potencial de producció de biogàs és necessari mostrar els valors referits als SV del substrat. La taula 4.1 mostra aquests valors, a més dels paràmetres cinètics corresponents a l'ajust al model de Gompertz per cada un dels substrats estudiats.

Taula 4.1. Potencial de biogàs i metà pels cosubstrats estudiats. Paràmetres experimentals i cinètics.

Substrats	%ST	%SV	Potencial biogàs (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> )	Potencial metà (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> )	Model Gompertz						
					Potencial Biogàs			Potencial Metà			
					r <sup>2</sup>	P <sub>max</sub> (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> )	λ Lag phase (d)	P <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> )	R <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	λ Fase de latència (d)	
Residu de referència (FORM)	8.63±1.61	73.47±11.56	454.27±46.62	261.37±18.53	0.975	435.13±9.38	58.51±6.58	0±0.43	252.75±3.75	38.8±3.44	0±0.29
Residu alimentari de supermercat (SM1)	6.61±0.25	88.49±0.2	447.7±47.0	282.5±29.6	0.996	454.31±3.86	80.20±3.52	0.46±0.14	285.98±2.41	50.44±2.19	0.46±0.14
Residu alimentari de supermercat (SM2)	7.5±0.02	87.71±0.05	694±24.29	468.6±16.4	0.965	651.57±22.57	113.97±20.84	<0	439.63±15.23	76.90±14.06	<0
Residu alimentari de supermercat (SM3)	2.58±0.03	68.15±5.85	569.82±64.39	408.13±46.12	0.975	538.03±18.23	82.28±11.87	0.16±0.44	385.36±13.06	58.94±8.50	0.16±0.44
Residu alimentari de supermercat (SM4)	2.16±0.04	66.29±0.05	490.75±12.62	344.13±9.13	0.998	488.86±3.62	53.99±2.3	0±0.18	343.91±2.43	38.92±1.62	0±0.17
Residu de la producció de lasanya (carn)	35.04±1.19	95.09±0.33	581.23±65.03	377.17±42.23	0.988	556.17±11.26	101.09±13.29	0.38±0.52	360.87±7.29	65.61±8.62	0.38±0.52
Residu de la producció de lasanya (pasta)	43.70±0.52	99.24±0.18	311.9±9.58	202.04±6.87	0.997	303.43±5.66	40.33±3.69	0.79±0.40	196.57±3.66	26.13±2.39	0.79±0.40



Substrats	%ST	%SV	Potencial biogàs	Potencial metà	Model Gompertz						
					r <sup>2</sup>	Potencial Biogàs			Potencial Metà		
						P <sub>max</sub> (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> )	R <sub>max</sub> (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	λ Lag phase (d)	P <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> )	R <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	λ Fase de latència (d)
Residu d'una fàbrica de patates fregides (midó)	12.70± 1.08	92.18± 1.45	499.44±63. 05	305.29± 39.00	0.987	489.4 ± 9.75	57.37 ± 6.03	0.53 ± 0.43	299.94 ± 5.81	36 ± 3.74	0.57 ± 0.41
Residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata)	42.68± 1.34	91.90± 6.2	344.68±67. 36	216.15± 43.31	0.999	345.17 ± 1.86	56.77 ± 2.22	1.99 ± 0.13	219.12 ± 1.14	37.82 ± 1.5	2.05 ± 0.13
Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% diluïció	41.03± 0.09	90.54±0. 48	759.53±13 9.29	563.70± 104.02	0.980	784.08 ± 11.9	76.56 ± 5.4	0 ± 0.4	583.55 ± 10.24	52.97 ± 4.14	0 ± 0.4
Aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% diluïció	44.58± 1.23	100.00±3 .1	1036.86±2 21.07	798.73± 171.34	0.985	1227.3 ± 47.83	58.51 ± 3.85	5.98 ± 0.56	959.73 ± 39.8	47.14 ± 3.43	6.28 ± 0.61
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial.	19.74± 0.73	87.56± 1.2	578.38±85. 34	421.13± 62.36	0.994	562.1 ± 7.16	100.6 ± 6.69	1.98 ± 0.21	410.82 ± 4.98	78.16 ± 5.17	2.01 ± 0.2

Substrats	%ST	%SV	Potencial biogàs (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> )	Potencial metà (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> )	Model Gompertz							
					Potencial Biogàs				Potencial Metà			
					P <sub>max</sub> (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> )	R <sub>max</sub> (mL biogàs g SV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	λ Lag phase (d)	P <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> )	R <sub>max</sub> (mL CH <sub>4</sub> g SV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	λ Fase de latència (d)	r <sup>2</sup>	
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)	20.26±0.03	81.75±0.77	769.63±267.85	550.53±189.08	756.6 ± 15.92	113.84 ± 10.62	0.81 ± 0.35	543.13 ± 11.36	80.93 ± 7.47	0.81 ± 0.35	0.980	
Aigua residual d'una empresa d'alimentació	8.24±0.13	81.53±1.57	479.66±23.07	320.54±15.43	486.12 ± 11.54	66.27 ± 6.92	0.01 ± 0.43	325.85 ± 7.78	43.71 ± 4.53	0.02 ± 0.43	0.97	

Així comparant els diferents residus estudiats entre sí com a substrats, es poden classificar en tres blocs:

- Els residus comercials (SM1, SM2, SM3 i SM4), que presenten valors similars de potencial de biogàs en condicions similars. El punt destacable, és l'augment en la producció de biogàs del SM1 a SM2 al introduir una etapa prèvia de trituració ja que són el mateix residu. Els valors obtinguts són de l'ordre de  $447.7 \pm 47.01$  mL biogàs g  $SV^{-1}$  a  $694 \pm 24.29$  mL biogàs g  $SV^{-1}$ , aquest últim valor corresponent al residu del SM2. El residu comercial SM1 i la FORM presenten valors similars, i on està el canvi significatiu és pel fet d'introduir una etapa prèvia de trituració. Segons dades bibliogràfiques, els resultats obtinguts per assajos pel residu orgànic comercial són de l'ordre  $491-535$  mL  $CH_4$  g  $SV^{-1}$  (Browne et al., 2014), valors més elevats que els obtinguts pel residu orgànic comercial, a excepció del SM2.
- Els residus de la Indústria alimentaria (residus de la lasanya, residus de la patata i residus líquids de empreses d'alimentació) han estat variats i exclouent els residus de la lasanya (pasta) i el de la pell de patata, han donat uns resultats de l'ordre de  $479.66 \pm 23.07$  mL biogàs g  $SV^{-1}$  a  $769.63 \pm 267.85$  mL biogàs g  $SV^{-1}$ ; aquest últim valor correspon al residu líquid amb fracció orgànica triturada procedent de residus orgànics comercials i que s'ha tamisat per treure les impureses, per tant, una etapa prèvia de trituració produeix un rendiment superior. Veure a l'annex II, apartat 9, les proves que es van anar realitzant fins determinar que el tamís de 2mm era el més òptim (informació subministrada per l'empresa).
- Els residus provinents del biodièsel presenten uns valors molt més alts en comparativa als altres dos blocs. Els resultats són de l'ordre de  $759.53 \pm 139.29$  mL biogàs g  $SV^{-1}$  a  $1036.86 \pm 221.07$  mL biogàs g  $SV^{-1}$ .

En general, els resultats obtinguts pels assajos de BMP en referència a l'aplicació del model de Gompertz s'ajusten prou bé. L'únic cas que presenta una variació important ha estat el resultat de l'aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució ja que el BMP era de  $1036.86 \pm 221.07$  mL biogàs g  $SV^{-1}$  i amb el model Gompertz ha

estat de  $1227.3 \pm 47.83$  mL biogàs g SV<sup>-1</sup>, representant un diferència d'un 18%, quan els altres resultats dels altres residus ha estat com a màxim d'un 4.4%.

Un altre paràmetre a analitzar és la fase de latència ( $\lambda$ ) que representa el temps que triga en començar a produir biogàs. Cal dir que en un procés en continu aquest paràmetre no seria gaire important i també que el valor de  $\lambda$  es veu fortament influenciat per l'inòcul utilitzat. A continuació, veiem els resultats que presenten els tres grups de residus:

- La FORM i els residus orgànics comercials presenten uns valors per sota del 0.5 dies. Valor coherent perquè es tracten de residus assimilables a municipals, que ràpidament inicien la seva descomposició i producció de biogàs ja que l'inòcul està adaptat.
- Els residus industrials alimentaris, els valors més elevats (2 dies) els presenten el residu de la pell de patata (2.05) i el residu líquid d'una planta de residu alimentari comercial.
- Els residus del biodièsel presenten unes diferències considerables entre ells, mentre que el glicerol és pràcticament zero dies, l'aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució correspon a 6.28 dies. Per tant, aquest residu li ha costat més de 6 dies en produir biogàs, encara que la producció global ha estat el valor més elevat.

El residu dels que s'han estudiat que presenta un potencial de biogàs (Taula 4.1) més elevat ha estat l'aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució sent de  $1036.86 \pm 221.07$  mL biogàs g SV<sup>-1</sup> ( es pot veure l'anàlisi completa de l'empresa a l'annex II, apartat 10), i per altra part, els que han presentat un valor més baix ha estat el residu de la producció de la lasanya (la pasta) sent de  $311.9 \pm 9.58$  mL biogàs g SV<sup>-1</sup> i el residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata) sent de  $344.68 \pm 67.36$  mL biogàs g SV<sup>-1</sup>. Les diferències en el potencial de depenen de la composició de la matèria orgànica. Aquest efecte es va parametritzar en una equació (Eq. 3.5) (Nielfa et al., 2015). Per tant, és lògic que els residus provinents del biodièsel que contenen glicerol i aquest és un dels components dels lípids, seguint aquesta equació proporcionen uns valors elevats de producció de BMP ja que presenta un coeficient de més del doble que el corresponent als

carbohidrats i les proteïnes. Per altra banda, tot el que són residus de pasta, pizza... rics en carbohidrats, el seu coeficient és més reduït respecte a les proteïnes i els lípids, en qualsevol cas tot depèn de la seva composició.

$$\text{BMP} = 415 \times \% \text{carbohidrats} + 496 \times \% \text{proteïnes} + 1014 \times \% \text{lípids} \quad \text{Eq.3.5}$$

En el cas del residu provinent del biodièsel ja està contrastat que és un excel·lent aportador d'augment de producció de biogàs mitjançant codigestió (Nartker et al., 2014), però s'ha de valorar molt bé la dosificació, ja que pot implicar una inhibició. De fet Martin et al., (2013) ja va determinar que càrregues orgàniques per sobre de 2.10 g SV L<sup>-1</sup> en pot provocar degut a l'acumulació d'àcids grassos volàtils amb la consegüent reducció del pH.

La FORM presenta un valor a la taula 4.1 de potencial de biogàs de 454.27±46.62 mL biogàs g SV<sup>-1</sup>, i de 261.37±18.53 mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>, valor similar tractant-se d'una FORM que integra molta fracció vegetal segons els resultats dels assajos realitzats per Brownee et al., 2014 que obtenia per la FORM els resultats de BMP següents: 274.1 (4.6) mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup> per rural amb jardí, 367.8 (6.2) mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup> per rural sense jardí, 296.7 (6.1) mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup> per urbà amb jardí, 343.7 (2.7) mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup> per urbà sense jardí. Comparant aquests valors, el fet que la FORM vingui amb fracció vegetal implica que, per la mateixa tipologia, hi ha una reducció de rendiment de l'ordre d'un 34%, per tant, és fonamental separar aquesta fracció vegetal en origen perquè redueix la producció de biogàs.

Comparant el resultat de la FORM de la taula 4.1 amb el resultat que va obtenir Nielfa et al., (2015) seria força superior, ja que en el seu cas va obtenir un resultat de 201.5±18.53 mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>, aproximadament un 30% inferior al nostre valor de referència, això depèn de la composició de la FORM tal com va determinar a l'equació 3.5 (Nielfa et al., 2015).

#### 4.2. PROVES INDUSTRIALS. ANÀLISIS DEL REBUIG

Per determinar la quantitat de material rebutjat produït durant el tractament dels residus de supermercats i identificar possibles problemes tècnics i operatius, es van realitzar

proves a escala industrial. Aquestes proves només es van realitzar amb el residu orgànic comercial, degut a que aquest tipus de residu és assimilable al municipal i vam poder fer proves amb una mostra significativa del residu per poder valorar la quantitat de rebuig que es genera al respecte.

Segons les característiques dels residus del supermercat (Taula 3.1), que presenta molt poca quantitat d'impropis, el punt d'alimentació al procés seleccionat va ser el tractament humit, per tant, evitant el pretractament sec.

Per a cada substrat, es van introduir entre 1.5 i 4 tones de residus en el procés. El procés d'alimentació inclou en alguns casos la trituració prèvia (Arjes, model VZ-70), degut a que volíem comparar els resultats amb trituració i sense trituració en el cas del SM1 respecte al SM2 per veure els efectes que tindria en la producció de material rebutjat i en el potencial de biogàs d'aquest cosubstrat; i en el cas del SM3 es va triturar perquè venia envasat i, per tant, era completament necessari realitzar aquesta etapa prèvia.

L'augment de biogàs a escala industrial no s'ha avaluat en aquestes proves a gran escala, ja que la quantitat de co-substrat alimentat al sistema (al voltant del 2%) no va ser suficient per mostrar un increment significatiu i durador en la producció de biogàs.

El residu de referència (FORM) produeix 396 kg de materials rebutjats en tot el tractament (sec i humit) per tona de FORM tractada. Com ja s'ha comentat, els residus dels supermercats van ser alimentats en el procés de tractament humit, en concret en el fons mòbil que dosifica al procés de tractament humit, els resultats obtinguts dels materials rebutjats per cada residu es poden veure en la taula 4.2.

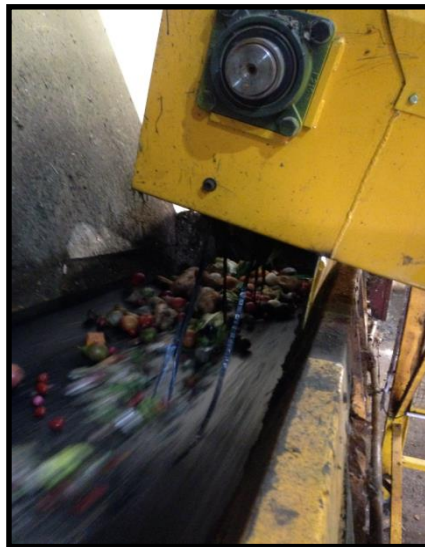
**Taula 4.2.** Resultats del materials rebutjat de les proves industrials

RESIDU	REBUIG (%)	Punt d'alimentació	Trituració prèvia
FORM	39.6%	Pretractament sec	No
Residu orgànic SM1	26.6%	Tractament humit	No
Residu orgànic SM2	23.5%	Tractament humit	Sí
Residu orgànic SM3	15.9%	Tractament humit	Sí
Residu orgànic SM4	9%	Tractament humit	No

La quantitat de material rebutjat procedent del residu SM1 en comparació amb la FORM, és un 33 % inferior, i respecte el supermercat 4, d'un 77%. Això significa una reducció dels costos de la gestió dels residus rebutjats, en comparació amb la FORM. També un estalvi de consum energètic pel fet de poder-se alimentar directament en el procés de tractament humit, com després es veurà al capítol 5.

S'ha de destacar les proves realitzades al SM1 i SM2, el residu era el mateix amb l'única diferència en que el segon havia estat triturat. El fet que fos triturat prèviament, va permetre reduir els materials rebutjats d'un 26.6% a un 23.3%, per tant, implica la reducció de les despeses de la gestió dels materials rebutjats. Però, si que s'ha de considerar el major increment en el manteniment i consum de la trituradora.

A part dels resultats quantificats, també es van observar problemes productius en la línia de tractament. En concret en processar el SM1, va haver-hi problemes d'acumulació de rodants, es quedava orgànica dins del pulper i va haver-hi embussos en la caiguda de la cinta com es pot veure a les figures 4.2, 4.3 i 4.4 respectivament.



**Figura 4.2.** Rodants a la cinta



**Figura 4.3.** Orgànica dins del pulper



**Figura 4.4.** Embús a la cinta

Realitzant la prova industrial amb el residu SM1 triturat, és a dir, el SM2 es van obtenir uns millors resultats a nivell de procés industrial: es van eliminar els problemes d'embussos i també l'acumulació dels rodants a la cinta transportadora; per altra part, la quantitat de matèria orgànica a dins del pulper es va minimitzar.



### 4.3. PROVES INDUSTRIALS. CONTINGUT EN METALLS

Amb les proves industrials que es van fer es va aprofitar per comparar el contingut de metalls entre diferents tipus de residus, en concret entre la FORM i el SM4. El SM4 era el que presentava menor quantitat d'impureses o impropis. L'objectiu era analitzar el contingut de metalls de la suspensió orgànica que hi ha dins del pulper per veure quins resultats s'obtidrien dels metalls que surten més elevats en el compost i que el fan classificar en compost de classe B. Aquests metalls són el Zinc, el Coure i el Plom.

A Espanya, la classificació del producte final, el compost, es realitza segons el Real Decret 999/2017, de 24 de novembre sobre productes fertilitzants, per el qual es modifica el Real Decret 506/2013, de 28 de juny. Aquest classificació segons el contingut en metalls és en classe A, B i C, sent classe A el que presenta menor contingut en metalls i de classe C el que presentaria més. La qualitat del compost està directament relacionada en funció del contingut d'impropis que conté la FORM (Campos, L.M et al., 2017)

Es van agafar unes mostres del contingut del pulper dels residus (FORM i SM4) en les mateixes condicions de treball. Es van analitzar els continguts de coure (Cu), plom (Pb) i zinc (Zn) a la suspensió orgànica líquida alimentada al digestor. Els resultats obtinguts es mostren a la Taula 4.3.

**Taula 4.3.** Resultats del contingut de metalls

METAL	Supermercat_4	FORM	Reducció de metalls Supermercat vs FORM
	mg/kg d.m.	mg/kg d.m.	
<b>Coure (Cu)</b>	20.4	21.8	6.42%
<b>Plom (Pb)</b>	10.7	15.2	29.61%
<b>Zinc (Zn)</b>	59	83	28.92%

Com es pot observar a la Taula 4.3, el plom i el zinc implicava una reducció en el contingut de metalls de quasi un 30%, i la del coure en un 6.4%. Amb aquests resultats i extrapolant segons els resultats obtinguts del compost de la Planta, ens indica que podríem tenir un compost de classe A per aquest tipus de residu.

D'aquesta manera, l'ús de SM4 com a co-substrat podria, depenent de la quantitat que es tracti, millorar la qualitat del compost o ve es podria fer una línia individual per aquest tipus de residu de més qualitat per poder obtenir un compost de millor qualitat, un compost de classe A. Per tant, la qualitat de la FORM determina la qualitat del producte compost.

Tanmateix, això no es va considerar per a l'avaluació econòmica del capítol 6.

#### **4.4. CONCLUSIONS**

Dels 13 cosubstrats analitzats , tots presenten un potencial de biogàs superior al de la FORM, a excepció dels cosubstrats: pell de patates i el de la lasanya (només pasta); per tant, tots serien interessants i atractius com a cosubstrats, encara que en menys ordre serien els dos cosubstrats amb un potencial de biogàs inferior a la FORM, també s'ha de destacar que les generacions d'aquests residus són baixes, per tant, el seu impacte a la producció de la Planta també.

El cosubstrat que va reportar el major potencial de biogàs i metà (1227.3 mL de biogàs g SV<sup>-1</sup> i 959.73 mL de CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>) van ser les aigües de destil·lació del glicerol en comparació amb l'alimentació actual (FORM) al digestor (435.13 mL de biogàs g SV<sup>-1</sup> i 252.75 mL CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>).

El cosubstrat amb el menor potencial va ser el residu de la producció de lasanya que reportava 303.43 ml de biogàs g SV<sup>-1</sup> i 196.57 ml de CH<sub>4</sub> g SV<sup>-1</sup>.

S'ha observat que en funció de la qualitat de la matèria orgànica, és a dir, el percentatge d'impropis o impureses que contingui hi ha una relació amb el contingut de metalls que presenten aquests residus i que posteriorment, es traslladarà al producte final o compost. La qualitat del compost es classifica en funció del contingut en metalls tal com determina el RD 506/2013 sobre productes fertilitzants.

#### **4.5. REFERÈNCIES**

- Browne, J.D., Allen, E., Murphy, J.D., 2014. Assessing the variability in biomethane production from the organic fraction of municipal solid waste in batch and continuous operation. *Applied Energy*, 128, 307-314.
- Campos Rodrigues, L.M., Puig-Ventosa, I., García, A., Guerrero, T., López, M, Martínez-Farré, F. X. 2017). Incidencia de los materiales improprios sobre la calidad del compost producido en las plantas de tratamiento biológico de Cataluña. *Revista RETEMA*. Marzo/Abril 2017, 46-52.
- Nartker, S., Ammerman, M., Aurandt, J., Stogsdil, M., Hayden, O., Antle, C., 2014. Increasing biogas production from sewage sludge anaerobic co-digestion process by adding crude glycerol from biodiesel industry. *Waste Manage.* 34, 2567-2571.
- Nielfa, A., Cano, R., Fdz-Polanco, M., 2015. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnology Reports* 5, 14-21.
- Martin, M.A., Fernández, R., Serrano, A., Siles, J.A., 2013. Semi-continuous anaerobic co-digestion of orange peel waste and residual glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Waste Manage.* 33, 1633-1639

## **CAPÍTOL 5. BALANÇOS DE MATÈRIA I D'ENERGIA**

### ***Resum***

En aquest capítol es presenten els resultats dels balanços de matèria i d'energia de la planta en procés actualment, així com la previsió de creixement en base a tots els cosubstrats estudiats, amb l'objectiu de veure l'impacte que té en els diferents fluxos materials i energètics i servirà per valorar quin serà l'impacte econòmic pel tractament de cadascun d'aquests residus en el capítol 6.



## CAPÍTOL 5. BALANÇOS DE MATÈRIA I D'ENERGIA

### 5.1. BALANÇ DE MATÈRIA

#### 5.1.1. INTRODUCCIÓ

Els balanç de matèria de la Planta de Digestió Anaeròbica i Compostatge del CCTRVO és un punt clau per poder realitzar posteriorment l'anàlisi econòmic del tractament d'aquests possibles residus orgànics. El balanç de matèria és un element clau d'un procés industrial per analitzar la quantitat de cadascun dels fluxos d'entrada i sortida, valorar rendiments i poder realitzar comparatives entre diferents instal·lacions amb l'objectiu d'estudi i millora o bé plantejar diferents escenaris de futur. Tot i així, hi ha pocs estudis de balanços a nivell industrial de processos de fracció orgànica recollits de forma separada (Banks et al., 2011).

Per poder realitzar els balanços ha estat necessari utilitzar diferents fonts d'informació i de dades per tal que els resultats obtinguts fossin reals i precisos. Concretament:

- 1) S'han utilitzat els històrics de tots els anàlisis realitzats al CTRVO dels diferents fluxos de la planta de l'any 2016.
- 2) S'han utilitzat les dades obtingudes en un treball de final de màster (Mejía, 2017) on s'estudiaven els rendiments del procés de compostatge.
- 3) S'han fet servir tots els resultats obtinguts a partir dels BMP. Ha permès calcular quin seria el potencial de biogàs que produiria cada residu en funció de la seva caracterització.
- 4) S'han fet servir els resultats de les diferents proves industrials. Els residus orgànics dels supermercats han estat provats a la planta i ens ha permès tenir dades reals de la producció de rebuig.
- 5) S'han tingut en compte el punt d'alimentació al procés industrial. És un factor molt important el punt on es podria alimentar perquè això determina si és necessari o no realitzar els pretractaments.

En resum, els residus sòlids provats i estudiats es podien alimentar en el tractament humit i en el cas dels residus que eren líquids (últims 5 residus de la Taula 4.1:

glicerol i les suspensions orgàniques procedents d'empreses d'alimentació) es podien alimentar directament en els digestors anaerobis.

El balanç de matèria de la planta (Taula 5.1) ha estat el primer punt de partida per poder valorar posteriorment l'impacte que té l'entrada d'altres cosubstrats a la planta. S'ha agafat l'any 2016 com un any model en el que la situació de la planta ha estat representativa amb un funcionament completament normal pel que fa al procés de tractament de la FORM i la producció i consum d'energia elèctrica.

**Taula 5.1.** Balanç de matèria de la Planta corresponent a les dades de l'any 2016. Tots els valors en tones i referenciats al tractament de 1 tona de FORM.

ENTRADES		SORTIDES	
Estructurant	0.01	Biogàs	0.1
Floculant	$4.3 \cdot 10^{-4}$	Compost	0.1
Aigua neta	0.16	Materials rebutjats	0.41
Aigua tractada	0.57	Materials reciclats	$1.2 \cdot 10^{-3}$
		Digest externament compostat degut a la sobrecapacitat de la planta.	0.03
		Aigua residual	0.88
		Degradació i pèrdua humitat	0.21

En la taula 5.1 es pot observar com a rendiments importants i dades més significatives, que d'una tona de FORM, s'obté un 10% del seu pes com a compost i un 10% com a biogàs, la degradació o pèrdua d'humitat és d'un 21% i un 41% correspon a material rebutjat dintre del procés productiu.

Comparant amb altres autors, referent a les dades de rendiment de compost i de biogàs, observem els següents resultats:

Zhang et al. (2011) realitza una comparativa de plantes de compostatge que tracten FORM i s'obtenen un resultat per tona de FORM tractada, que van des de 0.13 t fins a 0.88 t.

Kothari et al. (2014) presenta un balanç de matèria d'una planta de digestió anaeròbica via seca i obté uns resultats per tona d'entrada de FORM de  $100 \text{ m}^3$  de biogàs per tona, que

equivaldria a 0.12 tones de biogàs per tona de FORM tractada. I per altra part, presenta 0.42 t de digest per tona d'entrada.

Pognani et al (2012a) realitza un balanç de matèria d'una planta de digestió anaeròbica via seca i obté uns resultats per tona d'entrada de FORM de 23.7 Nm<sup>3</sup> de biogàs per 100 kg d'entrada FORM (89.5%) i diatomees (10.5%), que equivaldria a 0.28 tones de biogàs per tona d'entrada de material a aquesta planta. I produeix 0.27 t de compost.

Segons aquests estudis, les dades productives de la planta (taula 5.1) es trobarien amb uns rendiments inferiors pel que respecta a la producció de compost. També s'ha de tenir en compte que es tracta d'una planta de digestió anaeròbica per via humida i pel que fa al biogàs estaria dintre dels resultats obtinguts per Kothari et al. (2014), encara que hi haurà una diferència considerable amb la planta de digestió anaeròbica via seca de Pognani et al. (2012a)

A la figura 5.1 es presenta un balanç de matèria de la planta detallat per tots els fluxes produïts i que ha servit com a base per poder realitzar tots els balanços de matèria dels diferents cosubstrats.

L'obtenció de les dades d'aquest balanç han estat per tres vies que queden delimitades per colors en cadascun d'ells:

- 1) D1: En gris es presenten les dades reals corresponents al balanç de producció de l'any 2016.
- 2) D2: En taronja les que corresponen a les dades que han estat calculades matemàticament al balanç.
- 3) D3: En verd les dades que provenen del projecte de la planta, estimades o bé Treball de final de màster (Mejía, 2017). En concret corresponen a les següents dades:
  - La dada de condensats de biofiltres, que correspon a la mateixa informació que disposaven al balanç del projecte de la planta, sent de 2530 t any<sup>-1</sup>.



- La quantitat de digest total, es tracta d'una dada obtinguda del treball de final de màster (Mejía, 2017) on s'obté que el rendiment d'obtenció del digestat correspon a un 10% respecte a l'entrada als cargols deshidratadors.
- La relació de la fracció vegetal recirculada també ha estat un valor de Mejía, 2017. Que corresponia a una relació en pes de digest: estructurant de 1:1.80.

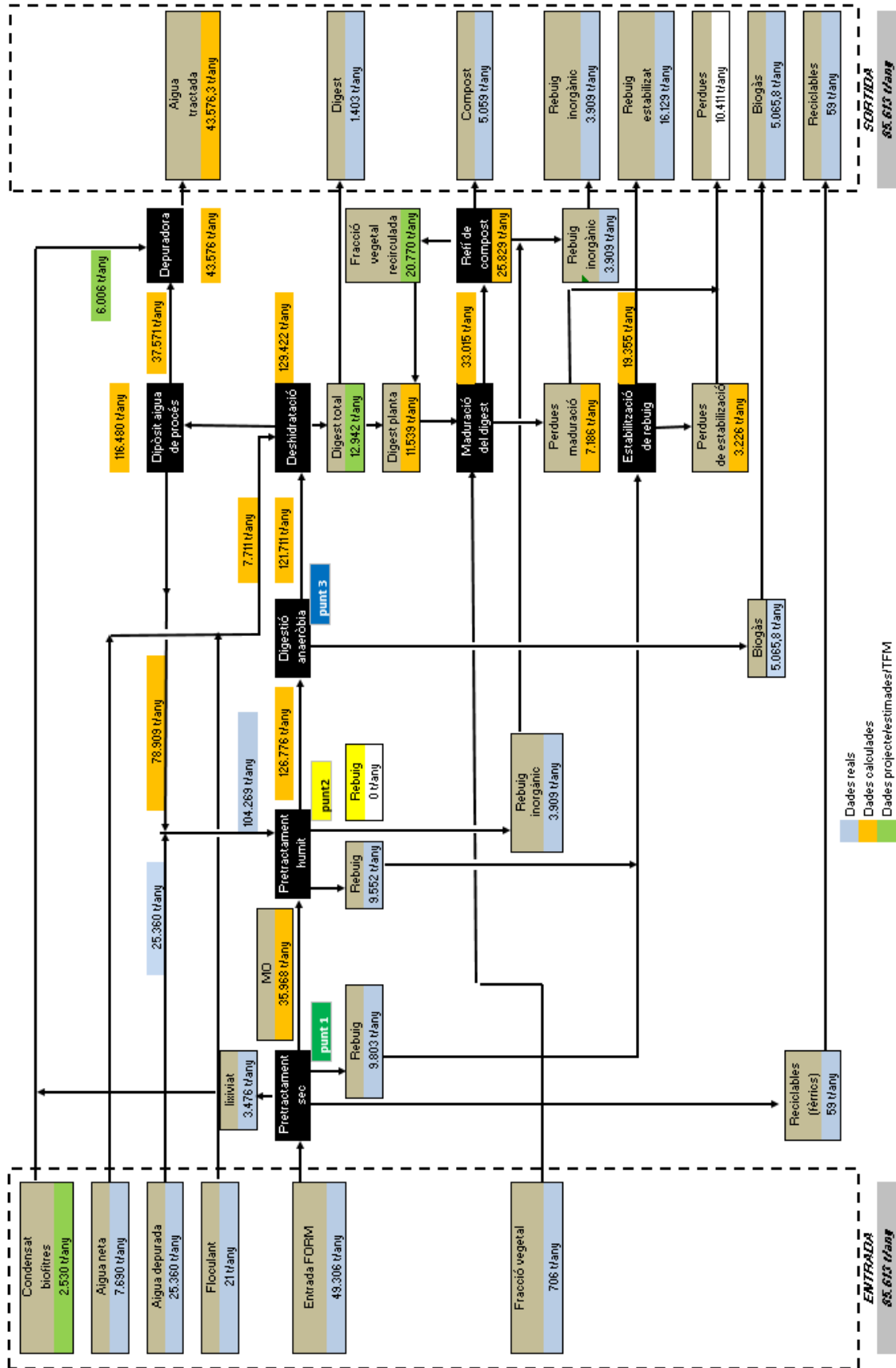


Figura 5.1. Balanç de matèria de la Planta corresponent a les dades de l'any 2016.

També s'ha fet un balanç de masses (ST, SV) de l'àrea de biometanització tenint en compte el la mitjana de tots els resultats analítics de l'any 2016, (Figura 5.2).

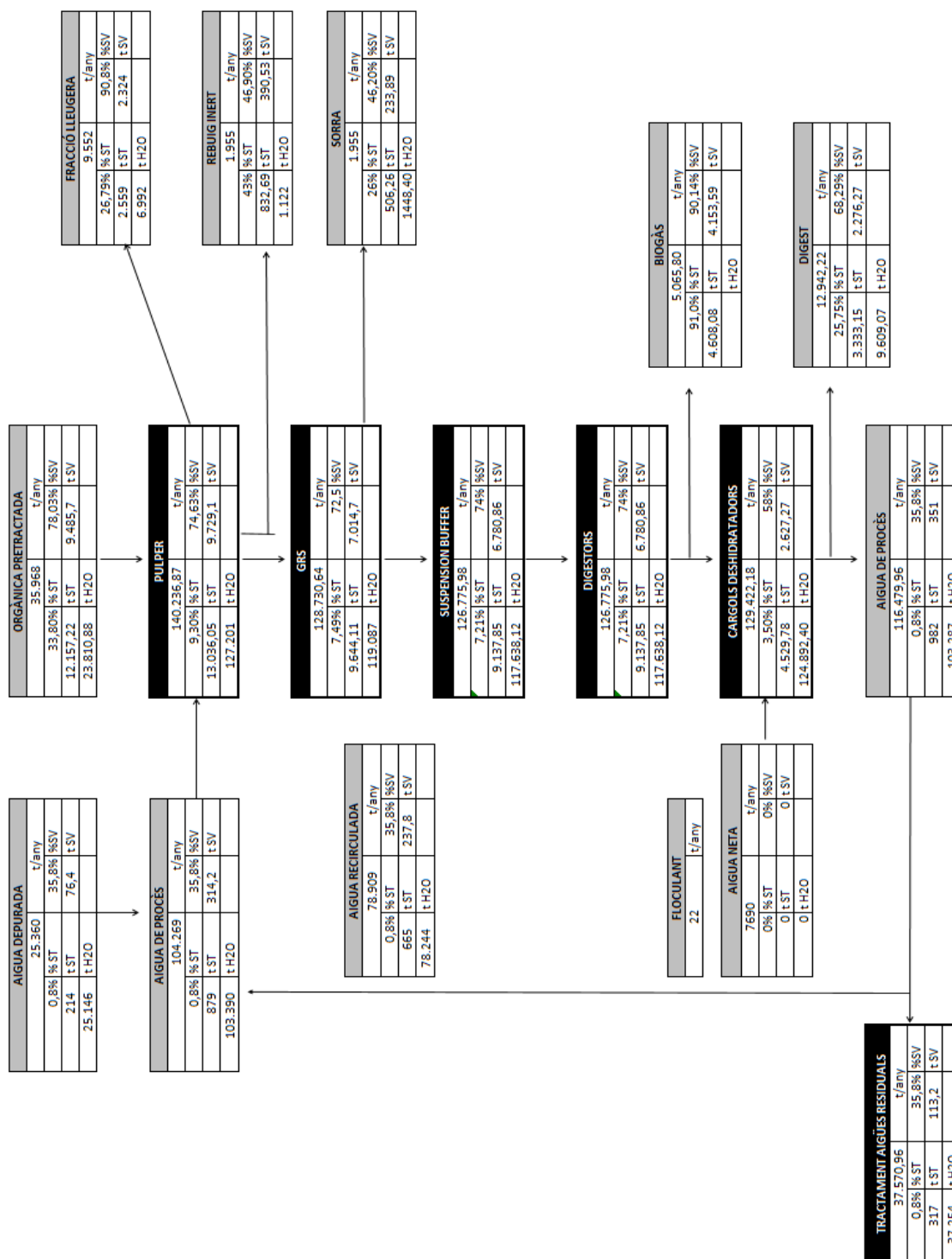


Figura 5.2. Balanç de matèria de la biometanització corresponent a les dades de l'any 2016.

El rendiment de biogàs a nivell industrial que presenta la planta per tona de SV alimentada al digestor és de  $597.73 \text{ Nm}^3 \text{ t SV}^{-1}$ . Comparant aquest valor hi hauria molta variació respecte al valor de referència, però en aquest cas el valor que s'hauria de comparar respecte els BMP correspondria al del pulper, ja que les mostres que han estat analitzades tant de la FORM (referència) com les dels supermercats que es van fer proves reals correspon al contingut del pulper. Per tant, en aquest cas, per comparar els mateixos valors, el valor resultant seria de  $433.90 \text{ Nm}^3 \text{ t SV}^{-1}$  (surts inferior que al digestor perquè en el pulper havia més contingut de sòlids volàtils), valor molt similar al del BMP de la FORM (Taula 4.1) que presentava un resultat de  $454.27 \pm 46.62 \text{ Nm}^3 \text{ t SV}^{-1}$ .

És important destacar també l'efecte que tenen els rebutjos a la planta respecte al potencial de biogàs. Els rebutjos de la Planta van ser estudiats per Colazo et al., 2015 i es mostren a la Taula 5.2:

**Taula 5.2.** Potencial de biogàs rebutjos de la planta (Colazo et al., 2015).

Flux	% Humitat	%SV	BMP (mL biogas g SV <sup>-1</sup> )
Rebuig pretractament sec	59	88.7	94±12.9
Fracció lleugera	75.5	85.7	181.6±45.6
Fracció pesada	28.1	17.7	51.9±9.6

És destacable el potencial de biogàs que té la fracció lleugera, aquesta fracció en la seva composició es tracta d'un 85% fracció vegetal, 5% matèria orgànica i un 10% impropis. Motiu pel qual, actualment aquesta fracció s'està enviant a un procés de compostatge.

S'han analitzat diferents mostres dels fluxos de la FORM per veure quins resultats s'obtidrien pel que fa a l'índex respiromètric dinàmic (IRD) i es veu una correlació molt clara amb l'estabilitat del residu tractat pel que fa al fet si és ràpidament biodegradable. Segons Ponsá (2010) estableix que IRD entre  $0.5$  i  $1.5 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{MS h}^{-1}$  són considerats estables i valors d'IRD superiors a  $1.5 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{MS h}^{-1}$  són considerats inestables.

La AT4 defineix la quantitat de matèria orgànica biodegradable total, per tant, valors alts indica que són residus amb un alt contingut de matèria orgànica biodegradable. A la Taula 5.3 es poden veure els resultats de les mostres analitzades.

**Taula 5.3.** Resultats índex respiromètric dinàmic, UAB (2019). FORM\_e és la FORM d'entrada a la Planta. FORM\_pre és la matèria orgànica processada pel pretractament sec, fracció lleugera és el residu que surt del procés de tractament humit, el rebuig inert és la fracció pesada i les sorres que surt de procés del tractament humit, el digest és el fang que surt dels cargols deshidratadors i el compost és el producte acabat. FAS és free air space (porositat)

Paràmetre	Unitats	FORM_e	FORM_pre	Fracció lleugera	Rebuig inert	Digest	Compost
Humitat	% smf	69.17	59.3	62.5	80.7	69.3	51.8
MO(%)	% sms	94.85	91.9	13.72	1.36	68	69.4
pH		6.38	5.91	7.4	8.38	8.92	8.15
FAS(%)	%	55	68	80	6	34	63
IRD24	(mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> MS h <sup>-1</sup> )	3.75	3.62	0.24	0.35	1.24	0.4
AT4	(mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> MS)	284.58	295.0	57.55	24.34	95.9	28.3

Segons aquests resultats, es pot comprovar que efectivament la fracció lleugera, el rebuig inert, el digestat i el compost tots presenten un IRD < 1.5 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS h<sup>-1</sup>, per tant, tots estan estabilitzats. Evidentment, el compost és el que presenta un valor més baix, 0.4 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS h<sup>-1</sup>. Aquests resultats són similars als d'altres estudis realitzats (Pognani et al., 2012b). Per tant, aquests resultats confirmen l'eficàcia que té el procés de compostatge, obtenint un producte estable i madur. Així mateix, també és de comentar que els residus analitzats, tant la fracció lleugera com el rebuig inert que han tingut una etapa prèvia d'estabilització, ha complert el seu objectiu ja que ambdós presenten uns resultats per sota dels 0.4 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS h<sup>-1</sup>.

Respecte als resultats de l'AT4 es veuen uns resultats coherents en base a l'origen de les mostres analitzades. Les mostres que presenten uns valors més alts són les corresponents a la FORM tant d'entrada com pretractada, sent 284.58 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS i 295.0 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS respectivament, en aquests casos es tracta del residu orgànic fresc sense haver estat tractat biològicament. Els valors més baixos d'AT4 corresponen al rebuig inert, 24.34 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS i el compost, 28.3 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS; en el cas del rebuig inert és degut a que s'ha fet una bona separació mecànica de la FORM i arrossega una mínima quantitat de matèria orgànica biodegradable; per altra banda, el resultat baix del compost indica que el producte és madur i estable. El resultat del digest, una mica més de tres vegades que el resultat del compost, 95.9 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS indica que és un residu que té potencial de matèria orgànica biodegradable encara alt per poder ser degradat en un procés de compostatge. Finalment, el resultat de la fracció lleugera, 57.55 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>MS indica que encara té matèria orgànica

per realitzar una degradació d'aquesta, això és degut a que la composició d'aquesta fracció conté un percentatge molt elevat (aprox. 85%) de fracció vegetal per poder realitzar un procés de compostatge com és el destí actual que té aquesta fracció.

### 5.1.2. RESULTATS DELS BALANÇOS DE MATÈRIA DELS DIFERENTS SUBSTRATS

Com s'ha explicat anteriorment, en funció de les característiques dels residus estudiats implica que es podrien alimentar en diferents punts de la planta tal com es pot veure a la taula 5.4:

- Punt 1: pretractament sec
- Punt 2: Tractament humit
- Punt 3: Digestió Anaeròbia

**Taula 5.4.** Punt d'alimentació en la planta de cadascun dels substrats.

SUBSTRATS	PUNT D'ALIMENTACIÓ	EQUIP
Residu de referència (FORM)	Pretractament sec	Obrebosses
Residu alimentari de supermercat (SM1)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu alimentari de supermercat (SM2)	Tractament humit	Trituradora+ Fons mòbil
Residu alimentari de supermercat (SM3)	Tractament humit	Trituradora+ Fons mòbil
Residu alimentari de supermercat (SM4)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu de la producció de lasanya (carn)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu de la producció de lasanya (pasta)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu d'una fàbrica de patates fregides (midó)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata)	Tractament humit	Fons mòbil
Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% dilució	Digestió Anaeròbia	Tanc de suspensió (previ DA)
Aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució	Digestió Anaeròbia	Tanc de suspensió (previ DA)
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial.	Digestió Anaeròbia	Tanc de suspensió (previ DA)
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)	Digestió Anaeròbia	Tanc de suspensió (previ DA)
Aigua residual d'una empresa d'alimentació	Digestió Anaeròbia	Tanc de suspensió (previ DA)

A la taula 5.5, estan els resultats previstos de la producció de biogàs potencial de cadascun dels substrats en base a les seves característiques: BMP, % ST, %SV i l'estimació en tones de cadascun dels substrats que podrien entrar en la planta.

En funció d'aquests resultats classificaríem en tres grups els residus en base a les quantitats potencials de producció de biogàs i la quantitat disponible d'aquests residus:

- 1) Residus amb una producció de biogàs potencial fins a  $50000 \text{ Nm}^3 \text{ any}^{-1}$ : que correspondria als residus dels supermercats, residus de les patates fregides, residus de past i aigües residuals d'una empresa d'alimentació.
  
- 2) Residus amb una producció de biogàs potencial de  $50000 \text{ Nm}^3 \text{ any}^{-1}$  a  $135000 \text{ Nm}^3 \text{ any}^{-1}$  que correspondria al residus de pasta que contenen carn.
  
- 3 ) Residus amb una producció de biogàs potencial per sobre dels 2 milions  $\text{Nm}^3 \text{ any}^{-1}$ . Aquests residus corresponen als que provenen del biodièsel i el residu líquid d'una planta de tractament de residu orgànic comercial.

Taula 5.5. Producció de biogàs dels substrats

Substrat	%ST	%SV	Potencial biogàs (mL biogàs/ g SV)	Aprox.		t SV	Producció Nm <sup>3</sup> /any	biogàs
				Quantitat de residu t/any				
Residu alimentari de supermercat (SM1)	6.61	88.49	454.31	300		50.80	23077.2	
Residu alimentari de supermercat (SM2)	7.5	87.71	651.57	300		57.13	37222.6	
Residu alimentari de supermercat (SM3)	2.58	68.15	538.03	300		15.27	8215.4	
Residu alimentari de supermercat (SM4)	2.16	66.29	488.86	100		4.14	2026.3	
Residu de la producció de lasanya (carn)	35	95.09	556.17	728		242.57	134908.1	
Residu de la producció de lasanya (pasta)	43.7	99.24	303.43	73,5		31.88	9671.9	
Residu d'una fàbrica de patates fregides (midó)	12.7	92.18	489.4	50		5.85	2864.7	
Residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata)	42.7	91.9	345.17	50		19.61	6769.3	
Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% dilució (1)	41	90.54	784.08	8030		2983.03	2338933.8	
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)	20.26	81.75	756.6	6000		2876.67	2176492.2	
Aigua residual d'una empresa d'alimentació	8.24	81.53	486.12	150		29.16	14177.1	
<b>TOTAL</b>				<b>16081.5</b>			<b>4732974.1</b>	

(1) En aquesta taula no s'ha considerat el residu corresponent a Aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució perquè aquest es produeix de la destil·lació d'aquest residu. Per tant, s'ha considerat que el 100% pel càlcul de potencial de biogàs sense necessitat d'aquesta etapa.



Per tant, per la realització de cadascun dels balanços dels diferents cosubstrats s'ha fet servir de base el balanç de matèria de la FORM, introduint els diferents cosubstrats amb l'impacte en la generació de biogàs en base al BMP corresponent, la quantitat de rebuig segons les proves industrials i les relacions i proporcions que s'han tingut en compte en el balanç inicial de la FORM.

A continuació es presenten a les Figures 5.3, 5.4 i 5.5, els balanços de matèria dels diferents tipus de substrats estudiats (la resta de balanços dels altres substrats figuren a l'annex III):

- El Balanç en la Figura 5.3 que correspon a l'alimentació al punt 2 (tractament humit) del supermercat 2.
- El Balanç en la Figura 5.4 que correspon a alimentació al punt 2 (tractament humit) del residu de pasta amb carn procedent d'una empresa d'alimentació.
- El Balanç en la Figura 5.5 que correspon a l'alimentació al punt 3 (Digestió anaeròbia) del residu de la producció del biodièsel (glicerol: aigua) 1%.







## 5.2. BALANÇ D'ENERGIA

### 5.2.1. INTRODUCCIÓ

El balanç d'energia també és un element prioritari per analitzar els fluxos de generació, així com de consum d'una planta industrial. Per una part, s'ha analitzat el potencial energètic que té el residu orgànic que es vol tractar a la planta a partir de la seva producció de biogàs, i així determinar la producció d'energia equivalent en base al rendiment del procés de cogeneració. Per altra part, també s'ha realitzat l'anàlisi del consum elèctric necessari per poder realitzar el correcte tractament del residu en la Planta.

Kothari et al., (2014) defineix un esquema dels fluxos energètics de generació en una planta de digestió anaeròbica, que es mostra a la Fig. 5.6. En aquesta figura es veu que els % de distribució de l'energia tèrmica, elèctrica i les pèrdues correspondrien a 55%, 36% i 9% respectivament. Destacant que un 72% de l'energia tèrmica seria un calor residual que no s'està aprofitant pel procés de la planta.

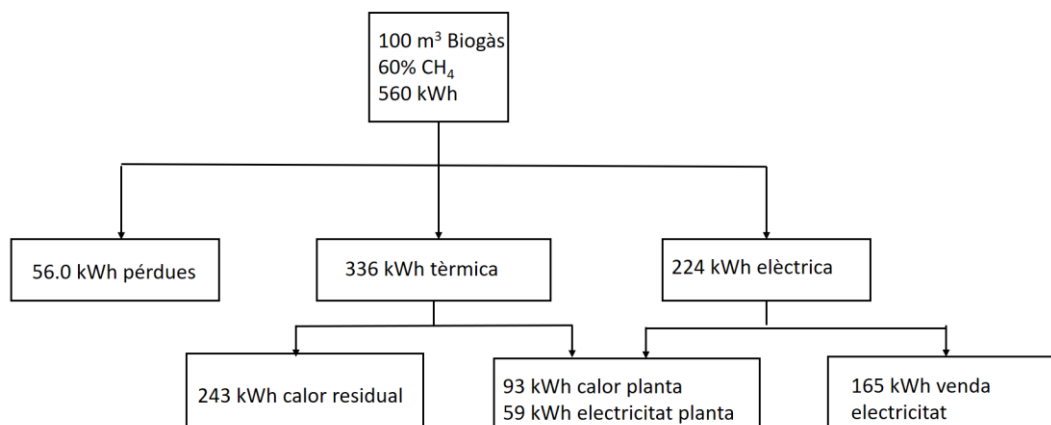


Figura 5.6. Fluxos energètics en una planta de digestió anaeròbica (Kothari et al., 2014)

Respecte al consum d'energia elèctrica en plantes de digestió anaeròbica, tampoc s'ha trobat molta informació que sigui adequada al procés en qüestió. Cal destacar un estudi realitzat per Sanscartier et al., (2011) que determina que el consum energètic en una instal·lació de digestió anaeròbica per la FORM és de 47 a 67 kWh, però en ell no concreta el tipus de tractament que es fa servir si es via humida o via seca.

### 5.2.2. BALANÇ ENERGÈTIC DE LA PLANTA

S'ha valorat el consum energètic per cada àrea de la planta i la previsió de generació d'energia (elèctrica i tèrmica) de la situació actual de tractament de la FORM tal com es veu detalladament a la taula 5.6, a partir dels històrics de consum en la planta de l'any 2016.

**Taula 5.6.** Taula de consum elèctric i generació d'energia (Informació pròpia)

CONSUM ELÈCTRIC	ÀREA	Consum anual kWh any <sup>-1</sup>	Rati kWh t <sup>-1</sup>
	Pretractament sec	280516	5.69
	Tractament humit	534949	10.85
	Digestió Anaeròbia	688190	13.96
	Deshidratació	265280	5.38
	Compostatge	640356	12.99
	Bioestabilització rebuig	113004	2.29
	Refí	209037	4.24
	Desodorització	2190000	44.42
	<b>Total</b>	<b>4921332</b>	<b>99.81</b>

GENERACIÓ ENERGIA		Producció anual kWh any <sup>-1</sup>	Rati kWh t <sup>-1</sup>
	Producció energia elèctrica real (2016)	7886149	159.94
	Producció energia tèrmica (potencial) Gasos d'escapament	3635880	73.74
	Producció energia tèrmica (potencial) (refrigeració camises bloc tèrmic)	8409820	170.56
<b>Total</b>	<b>22531854</b>	<b>404.25</b>	

A la Taula 5.6 es veu que la instal·lació de desodorització consumeix quasi el 50% del conum de la Planta. Li segueixen posteriorment els processos de digestió anaeròbia, tractament humit i compostatge que sumarien quasi un 39% del total.

La instal·lació disposa de 2 motors de cogeneració de 626 kW elèctrics. El Règim d'operació dels motors: 8.000 hores a l'any (24 hores, 365 dies any<sup>-1</sup>, disponibilitat mínima del 92.32 %). El calor residual en cada motor de cogeneració procedeix de:

- Sistema de gasos d'escapament (Taula 5.7)

- Sistema de refrigeració de camises del bloc motor (Taula 5.8)
- Sistema de refrigeració de la barreja biogàs/aire (intercooler) (Taula 5.9)

**Taula 5.7.** Dades font tèrmica gasos d'escapament (fitxa tècnica motor).

	Motor 1	Motor 2	Total
Tipus/procedència	Gasos d'escapament	Gasos d'escapament	
Grau de contaminació, brutícia	Compliment dels límits que marca l'Autorització Ambiental.		
Potència tèrmica teòrica (kWt)	246	246	492
Temperatura teòrica (°C)	150	150	
Cabal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	3485 (a una temperatura d'entrada de 375°C i de sortida de 150°C)	3485 (a una temperatura d'entrada de 375°C i de sortida de 150°C)	
Diàmetre de sortida font de calor	Xemeneia DN250		

**Taula 5.8.** Dades font tèrmica refrigeració camises bloc motor (fitxa tècnica motor).

	Motor 1	Motor 2	Total
Tipus/procedència	Refrigeració de camises del bloc motor	Refrigeració de camises del bloc motor	
Grau de contaminació, brutícia	No es disposa de dades	No es disposa de dades	
Potència tèrmica teòrica (kWt)	569	569	1.138
Temperatura teòrica (°C)	90	90	
Cabal (L h <sup>-1</sup> )	40200	40200	

**Taula 5.9.** Dades font tèrmica refrigeració camises bloc motor (fitxa tècnica motor).

	Motor 1	Motor 2	Total
Tipus/procedència	Refrigeració de la barreja biogàs/aire	Refrigeració de la barreja biogàs/aire	
Grau de contaminació, brutícia	No es disposa de dades	No es disposa de dades	
Potència tèrmica teòrica (kWt)	39	39	78
Temperatura teòrica (°C)	43.5	43.5	
Cabal (l h <sup>-1</sup> )	18800	18800	

Els valors corresponents a l'energia tèrmica dels gasos d'escapament i la refrigeració de les camises del bloc tèrmic són valors corresponents a les fitxes tècniques dels motors i també verificat amb dades bibliogràfiques (CADSM, 2017). Aquests valors corresponen a un rendiment d'un 30-35% d'energia elèctrica, 55-60% a un rendiment d'energia tèrmica i un

10% de pèrdues. Valors també molt similars als representats a la figura 5.6 que correspon a un 40% energia elèctrica, 50% energia tèrmica i 10% de pèrdues (Kothari et al., 2014)

Valorant la possible entrada de tots els residus estudiats i amb les quantitats informades per les diferents empreses, el seu potencial de biogàs a través de la modelització Gompertz i les seves característiques analítiques es pot estimar quin seria la producció màxima d'energia si entressin tots els residus a la Planta. A la Taula 5.5 es pot veure quin seria el potencial de generació de biogàs, el qual seria del doble de la producció actual.

I valorant els rendiments elèctric i tèrmic que presenta un motor de cogeneració Otto de combustió interna, podríem estimar que el potencial de generació d'energia seria el següent:

Producció de biogàs potencial: 4732974.29 Nm<sup>3</sup>/any

PCI inferior= 6.70 kWh/Nm<sup>3</sup> (Annex III, Figura 16)

Poder energètic= 31.710.927,74 kWh/Nm<sup>3</sup>

Considerant un 30% de rendiment elèctric seria de 9.513.278,32 kWh/any de producció energia elèctrica i un 50% de rendiment tèrmic, obtindríem 15.855.463,87 kWh/any.

### 5.3. CONCLUSIONS

Observant els resultats obtinguts, el potencial de biogàs que presenten i les quantitats de cosubstrat potencial, els dos residus més interessants per tractar en aquesta instal·lació són:

- Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% dilució
- Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)

Entre aquests dos residus ja implicaria el 95% de la producció de biogàs potencial estudiada. De totes maneres, especialment en el cas del glicerol seria necessari fer un estudi en reactors en continu per analitzar quines serien les concentracions màximes d'alimentació per evitar problemes d'inhibició per acumulació d'àcids grassos volàtils.



És de destacar que l'entrada d'aquests residus ve condicionada per la capacitat de la planta, però segons els resultats dels balanços materials i energètics, implicaria un augment en producció d'energia elèctrica de més del doble de la producció actual. Per tant, implicaria tota una sèrie d'inversions necessàries en l'àrea de biometanització i cogeneració per poder acceptar la totalitat dels residus.

Un altre factor clau és la quantitat d'energia tèrmica, que implicaria l'entrada d'aquests residus, que correspon més d'un 175% de la producció actual d'energia elèctrica. Aquest és un factor clau per poder valorar alternatives d'aprofitament de fluxos dins de la instal·lació industrial.

#### 5.4. REFERÈNCIES

- Banks, C. J., Chesshire, M., Heaven, S., Arnold, R., 2011. Anaerobic digestion of source-segregated domestic food waste: Performance assessment by mass and energy balance. *Bioresour. Technol.* 102, pp. 612-620.
- Colazo, A. B., Sánchez, A., Font, X., Colón, J., 2015. Environmental impact of rejected materials generated in organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion plants: Comparison of wet and dry process layout. *Waste Manage.* 43, pp. 84-97.
- Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, CADSM (2017). Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Kothari, R., Pandey, A.K., Kumar, S., Tyagi, V.V., Tyagi, S. K., 2014. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, pp. 174-195.
- Mejía, R., 2017. Balance de masa y energía de una planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de digestión anaeróbica y compostaje. Desde la extracción del digestato hasta la obtención del compost. Treball final de màster Estudios interdisciplinario de sostenibilidad medioambiental, económica y social. Especialidad: Ecología Industrial.

- Pognani, M., Barrena, R., Font, X., Sánchez, A., (2012a). A complete mass balance of a complex combined anaerobic/aerobic municipal source-separated waste treatment plant. *Waste Manage.* 32, pp. 799-805.
- Pognani, M., Barrena, R., Font, X., & Sánchez, A. (2012b). Effect of freezing on the conservation of the biological activity of organic solid wastes, 104, 832–836.
- Ponsá Salas, S., 2010. Different indices to express biodegradability in organic solid wastes. Application to full scale waste treatment plants. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible a: <<https://xpv.uab.cat/record/,DanaInfo=.adefCyfhGkj3,SSL+127296>> [consultat 22 maig 2019]
- UAB, 2019. Estudi encarregat al Departament d'Enginyeria Química seguint "Protocol per a la determinació de l'estabilitat biològica mitjançant l'Índex Respiromètric Dinàmic (IRD) en mostres de Residus Urbans Orgànics.
- Zhang, H., Matsuto, T., 2011. Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste. *Waste Manage.* 31, pp. 416-422.



## CAPÍTOL 6. ANÀLISI ECONÒMIC

### *Resum*

En aquest capítol es valoren les diferents necessitats d'inversió a la planta per poder tractar la totalitat dels residus analitzats i estudiats en aquesta tesi.

Es realitza un detallat estudi econòmic del tractament de cadascun dels substrats. Definint una sèrie de paràmetres claus que afecten a cada residu i que són característics, amb la finalitat de determinar una sèrie d'equacions per poder calcular el preu de cada residu.

Part d'aquest capítol ha estat publicat a:

Abad, V., Avila, R., Vicent, T., Font, X.,2019. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal sòlid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and econòmic factors. Bioresource Technology, 283, 10-17



## **CAPÍTOL 6. ANÀLISI ECONÒMIC**

L'anàlisi econòmic estima quin seria l'impacte econòmic pel tractament de tots aquests residus, associat a l'augment de la producció de biogàs, en una planta de digestió anaeròbia que tracta la FORM, quan es passa d'una mono-digestió a un escenari de coDA en el marc de l'Economia circular. Per assolir aquest objectiu, com ja s'ha explicat, s'han analitzat 13 residus procedents d'indústries de l'entorn de la planta, s'han caracteritzat i s'ha analitzat el seu potencial de biogàs. Posteriorment, amb la informació del balanç de matèria i els estudis econòmics de la planta, s'ha pogut analitzar el cost del tractament de cada residu orgànic estudiat i s'ha determinat un preu de tractament final.

### **6.1. PROPOSTA D'INVERSIONS**

Tal com s'ha posat de manifest raonar en el primer capítol, la coDA s'adapta a l'estratègia d'Economia Circular mitjançant l'ús de les instal·lacions municipals de residus sòlids per valoritzar els residus industrials produïts als voltants de la Planta que actualment es desvien a altres tractaments menys convenients.

Segons l'estudi realitzat hi hauria un potencial màxim d'entrada de residus orgànics de 16081 tones, dels quals 14180 serien en estat líquid i unes 1900 tones serien en estat sòlid.

Per poder fer front al tractament en la planta de la quantitat de residus estudiats, és necessari realitzar tota una sèrie d'inversions a la Planta:

- Millora en pretractament: una trituradora
- Increment de biometanització: un digester anaerobi
- Increment de generació d'energia elèctrica: un motor de cogeneració

#### **6.1.1. TRITURADORA**

La inversió de la trituradora és necessària perquè s'han pogut contrastar dues millores molt importants en el tractament dels residus orgànics. Per una banda, el residu orgànic si està

triturat, produeix un percentatge inferior de rebuig al fet que si no fos triturat ( de l'ordre d'una reducció mínima d'un 10%). Per altra banda, el potencial de producció de biogàs pel que fa a que el residu orgànic fos triturat presentava un valor superior al que fet que no fos triturat (superior a un 40%).

En concret, es van realitzar proves amb el residu del SM2 i també es van fer proves amb la FORM per veure quins resultats s'obtidrien. La màquina amb la que s'han realitzat les proves es tracta d'una trituradora ARJES, model VZ-70, pes 16500kg, motor 350 cv dièsel, amplada 2500 mm, llargada 7000 mm i alçada 2.70 m i una capacitat de 60 t h<sup>-1</sup> (Figura 6.1).



**Figura 6.1.** Trituradora ARJES, model VZ-70

Al capítol 4, a l'apartat 4.2 s'expliquen les proves industrials que es van realitzar per aquells residus orgànics de supermercat, per poder determinar quina era la quantitat de material rebutjat per tona d'entrada de FORM.

Dos dels quatre residus de supermercat van ser triturats, el SM2 i el SM4. El SM2 és el mateix que el SM1 però fent una trituració prèvia ja que es volia veure quin era l'efecte en la producció del material rebutjat i la producció de biogàs com s'ha comentat en el capítol 4, sent el resultat d'una reducció del rebuig d'un 10% i un augment en la producció de biogàs d'un 40% comparant SM2 respecte SM1.

Es va aprofitar que es disposava de la trituradora durant un parell de dies per fer proves de rendiment també amb la FORM. Es van triturar 72.3 t de FORM, i es van obtenir 24.7 t de rebuig, sent un 34.16% respecte a les entrades, un 14% inferior al rebuig que es produeix habitualment a la Planta.

La valoració econòmica de l'actuació seria de 332000€ (iva exclòs) que consistirà en els cost del subministrament de l'equip i dels seus accessoris, el cost de la màquina i accessoris són 285000€ (veure Annex IV) i també li sumariem un joc de rotors extra valorat en 47000€.

### 6.1.2. DIGESTOR ANAEROBI

Un altre punt a valorar, és l'increment de capacitat necessària en la digestió anaeròbia. Actualment, la planta disposa de dos digestors de 3000 m<sup>3</sup> de capacitat i segons l'alimentació actual als digestors, el temps de residència és d'aproximadament de 15 dies. Degut a aquest temps de residència tant ajustat i si incrementem les entrades en base als residus estudiats per no reduir-ne més aquest TRH, es necessari incrementar amb un petit digestor de 500 m<sup>3</sup>, que es valoraria el seu condicionament i auxiliars, en 400000€ (iva exclòs) tal com es detalla a la taula 6.1. A l'Annex IV hi ha el pressupost corresponent als quatre primers elements, la resta de valoracions econòmiques es tracten d'extrapolacions en base a la nostra experiència en el manteniment de la Planta.

**Taula 6.1.** Valoració econòmica Digestor Anaerobi

ELEMENT	COST (€)
Dipòsit	140000
Import sistema de llances	45000
Calorifugat	45000
Fabricació porta d'accés	16500
Revestiment interior digestor	30000
Instal·lacions elèctriques, canonades	111000
Instal·lació instrumentació	3859
Senyalització	700
Connexió fins Torxa	5920
Connexió fins intercambiador	2020
TOTAL	399999



### 6.1.3. MOTOR DE COGENERACIÓ

La capacitat de cogeneració s'ha d'incrementar com a mínim en un motor de cogeneració més, tal com s'ha explicat a l'apartat 5.2.2 del capítol 5. Si entressin tots els residus es doblaria la producció de biogàs, per aquest motiu, s'ha considerat un motor de 900 kW ja que doblaria la producció d'energia elèctrica (Figura 6.2). No es considera incrementar més en cogeneració, perquè en el cas que fos insuficient la generació d'energia elèctrica s'estudiarien altres alternatives per l'aprofitament del biogàs com una instal·lació d'upgrading o enriquiment de biogàs a biometà. El preu de l'adquisició d'un contenidor de les mateixes característiques que el motor actual i l'import dels recanvis i les despeses de connexió a xarxa, així com l'increment d'un transformador més és de 900000€ (iva exclòs). Es pot veure l'oferta del motor de cogeneració a l'annex IV.



Figura 6.2. Motor de cogeneració

### 6.1.4. TAULA D'AMORTITZACIONS

D'acord amb la Taula d'amortitzacions de l'Agència Tributària (AEAT, 2019), en el cas d'instal·lacions, en concret maquinària, el coeficient lineal màxim és un 12% o bé el període d'anys màxim 18 anys.

En el càlcul de l'amortització de tota aquesta maquinària s'ha considerat una amortització lineal de 18 anys.

El total de la inversió seria de 1632000€. A continuació a la Taula 6.2 es mostra l'amortització aplicada a aquesta inversió, que com a resultat correspondria a una amortització de 5.64 € t<sup>-1</sup> que es sumarà al preu de tractament de cadascun dels residus.

**Taula 6.2.** Detall de l'amortització de la maquinària

16081.5 Comercial i industrial										
AMORTITZACIÓ	Any1	Any2	Any3	Any4	Any5	Any6	Any7	Any8	Any9	Any10
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Amortització (€ t-1)	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64
Amortització total anual €	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66
Amortització acumulada €	90699.66	181399.32	272098.98	362798.64	453498.3	544197.96	634897.62	725597.28	816296.94	906996.6

AMORTITZACIÓ	Any11	Any12	Any13	Any14	Any15	Any16	Any17	Any18	VALOR RESIDUAL
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	
Amortització (€ t-1)	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	
Amortització total anual €	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	90699.66	
Amortització acumulada €	997696.26	1088395.92	1179095.58	1269795.24	1360494.9	1451194.56	1541894.22	1632593.88	593.88

## 6.2. ESTUDI ECONÒMIC DEL TRACTAMENT

### 6.2.1. PARÀMETRES CLAU QUE AFECTEN AL TRACTAMENT DEL RESIDU

El cost del tractament de residus depèn dels ingressos de les plantes de tractament i els costos associats al tractament dels residus. Els ingressos inclouen la venda d'electricitat, la venda de compost, els materials recuperats i el retorn del cànon en el cas que apliqui. Els costos estan determinats pels costos de personal, els costos de funcionament de la planta (consum d'electricitat, manteniment, costos de neteja, tractament d'aigües residuals, entre d'altres) i el transport i eliminació del material rebutjat.

Les característiques dels residus tenen una gran influència en els ingressos de les plantes i el cost del tractament. Els paràmetres clau que cal tenir en compte són el potencial de

biogàs, la presència de materials no biodegradables que han de ser separats mecànicament i transportats a la destinació finalista, així com les característiques físiques (residus líquids o sòlids) que influeixen en la necessitat de pretractaments.

El potencial de biogàs dels residus és un dels principals paràmetres ja que la planta converteix el biogàs en electricitat i calor. L'electricitat es ven a la xarxa elèctrica, sent un dels ingressos econòmics de la planta. En aquest sentit, els residus amb un menor potencial de biogàs que el residu actual (FORM, residu de referència) no serien acceptats pel procés de digestió anaeròbica. Es proposa un límit del 75% del potencial de biogàs de la FORM.

D'altra banda, la presència de materials no biodegradables o materials impropis com plàstics, sorra, metalls o envasos ha de ser considerada com un impacte econòmic negatiu. En condicions òptimes, l'alimentació al digestor hauria de ser 100% biodegradable, evitant l'obstrucció o la sedimentació dins del digestor, tot permetent l'ús de tot el volum del digestor. Finalment, quan estiguin els residus envasats (per exemple, residus de supermercats), s'ha de fer un pretractament de trituració per garantir el tractament adequat.

A més, segons les seves característiques (líquid, sòlid, presència de material inadequat) el punt d'alimentació era diferent, i, per tant, influeix en els costos d'energia i manteniment, ja que si s'alimenta un residu directament al digestor anaerobi no són necessaris els tractaments de l'alimentació al començament del procés de tractament i, per tant, els costos associats són diferents.

El preu que s'ha fet servir de base correspon al del tractament de la FORM que és de 83.27 € t<sup>-1</sup> per l'any 2018. A partir d'aquest, s'ha pogut calcular el preu per cada residu estudiat. L'estudi econòmic s'ha basat en el pressupost de l'any 2018 pel tractament de la FORM. (Veure Figures 17, 18, 19 i 20 de l'annex V).

La major part de la literatura publicada sobre el tractament i la gestió del RSM no considera costos i només es pot trobar una limitada literatura (Callan et al., 2001). Aquest estudi parla d'una estructura de costos simple pel que fa als RSM que estableix com a factors claus en

l'anàlisi del cost la despesa per eliminació i els costos de reciclatge. Edwards et al. (2018) ja va determinar en el seu estudi que era necessari establir una taxa d'incentius necessaris per a establir polítiques (és a dir, la tarifa d'un abocador, les tarifes d'electricitat i els crèdits de carboni) per promoure diversos sistemes alternatius de gestió de residus alimentaris.

### 6.2.1.1. DESCRIPCIÓ DELS INGRESSOS

Els ingressos que cal tenir en compte en una planta de tractament de residus orgànics són els següents:

- **La venda d'energia elèctrica.** Aquest preu de venda ve regulat actualment per l'ordre ETU/130/2017, de 17 de febrer, per la qual s'actualitzen els paràmetres retributius de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus, a efectes de la seva aplicació al semiperíode regulador que té l'inici 1 de gener de 2017. Aquesta regulació té el seu origen en la llei 24/2013, de 26 de desembre, del sector elèctric i aquest nou marc es va plasmar a través del Reial Decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus i, posteriorment, mitjançant l'aprovació de l'Ordre IET/1045/2014, de 16 de juny pel qual s'aprovaven els paràmetres retributius. Per l'any en que es va posar en marxa la instal·lació de cogeneració que va ser l'any 2011, aquesta instal·lació està identificada com a IT-00930. Segons l'ordre ETU/130/2017, en funció de l'any de posada en marxa dels motors de cogeneració tenen unes retribucions econòmiques diferents (Taula 6.3).

**Taula 6.3.** Paràmetres retributius dels motors de cogeneració

CODI IDENTIFICACIÓ	VIDA ÚTIL REGULATÒRIA (anys)	RETRIBUCIÓ A LA INVERSIÓ 2017-2019 Rinv (€/MW)	RETRIBUCIÓ OPERACIÓ Ro (€/MWh) 2018	RETRIBUCIÓ OPERACIÓ Ro (€/MWh) 2019
IT-00930	25	377060	23.131	23.317

El preu de venda d'energia elèctrica es compon del preu de mercat publicat a Operador del Mercat de l'electricitat (OMIE) i la suma de les retribucions d'inversió i

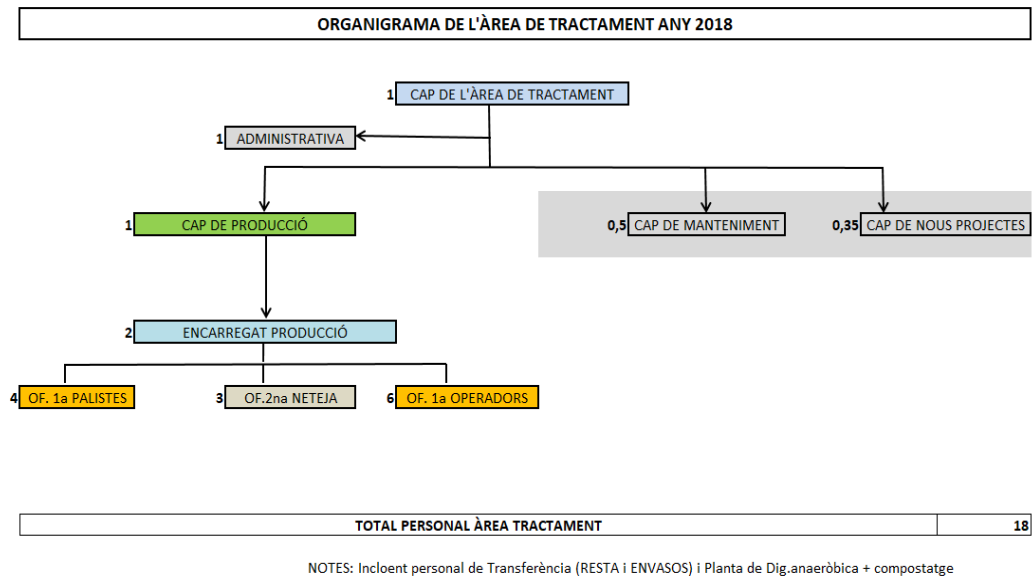
operació. La retribució de la inversió es calcula multiplicant el  $R_{inv}$  per la potència elèctrica dels motors de cogeneració. La retribució de l'operació es calcula multiplicant el  $R_o$  per la producció de l'energia elèctrica amb una limitació de 4235 hores de motor.

- **La venda de compost** correspon als ingressos produïts per la venda d'aquest producte. En la FORM s'ha considerat un possible ingrés per la venda de compost ensacat, en el cas dels residus estudiats s'ha considerat que no hi hauria ingrés degut a la situació actual de mercat.
- **La venda de materials recuperats** correspon a la venda del material fèrric separat a la línia de pretractament sec. En el cas de la FORM té un ingrés degut a que aquest residu conté material fèrric barrejat amb la matèria orgànica. En el cas dels residus estudiats s'ha considerat que no hi hauria ingrés ja que a les proves realitzades i les característiques de les mostres no presenten aquest material.
- **El retorn del cànon** correspondria a unes taxes d'incentiu que són aprovades per la Junta de Govern del Fons de Gestió de Residus de la Generalitat de Catalunya. Aquest ingrés aplica a la FORM i també al residu orgànic comercial. Veure Apartat 6.2.3, Residus (2019).

#### 6.2.1.2. DESCRIPCIÓ DELS COSTOS

Els costos els dividíem en tres blocs: costos de personal, costos de l'operació de la planta i costos del transport i la gestió de materials rebutjat.

- **El cost de personal** engloba els següents conceptes: les retribucions al personal, les hores extraordinàries, la nocturnitat i els festius, la seguretat social, la formació, conceptes del conveni com l'antiguitat, la productivitat i l'acció social. Aquestes costos són calculats en base a l'organigrama de l'Àrea de Tractament de la figura 6.3.



**Figura 6.3.** Organigrama de l'Àrea de Tractament

- **Els costos de l'operació de la Planta** estarien constituïts pels següents conceptes:
  - l'electricitat, el manteniment, el lloguer de maquinària, l'aigua, el gasoil, els reactius químics, el manteniment del biofiltre, el tractament de les aigües residuals, els materials estructurants, les assegurances, els tests i anàlisis, la neteja, la prevenció de riscos, el control d'accessos, i altres costos diversos.
- La despesa d'electricitat té diferents conceptes vinculats amb les despeses per la compra o la venda d'electricitat: energia elèctrica consumida (inclosa l'energia dels serveis auxiliars de cogeneració), el manteniment de la telemesura per la generació de l'energia elèctrica, l'agent representant de mercat per la venda, el peatge per la generació d'energia elèctrica, el servei d'assessor energètic i els impostos per la producció d'energia elèctrica i per la producció de biogàs.
- La despesa de manteniment té incloses les següents despeses: el manteniment extern industrial, manteniment d'equips (exclosos del manteniment extern) com són el manteniment dels motors de cogeneració, les revisions de baixa i alta tensió, la revisió del parallamps, la revisió de contra incendis, el contracte de la bàscula i el calibratge.
- El lloguer de maquinària es refereix al servei de pala i palista extern.
- L'aigua és el consum de l'aigua de xarxa.

- El Gasoil és el consum del gasoil de tipus B que es fa servir per la pala excavadora.
  - Els reactius químics serien el floculant que es fa servir pel funcionament dels cargols deshidratadors, l'àcid sulfúric que es fa servir pel tractament d'aïres, així com el clorur fèrric que es consumeix a la digestió anaeròbia.
  - El manteniment del biofiltre correspon a la reposició del rebliment del biofiltre.
  - El tractament de les aigües residuals correspon a la despesa pel tractament extern.
  - Els materials estructurals és l'astella de fusta que es fa servir per la barreja amb el digest en el procés de compostatge.
  - Les assegurances corresponents al funcionament de la Planta.
  - Els tests i anàlisis corresponents als anàlisis de compost i de l'àrea de biometanització.
  - La neteja correspon a un servei extern de personal de neteja, servei d'escombradora i de camió cisterna.
  - La prevenció de riscos, les despeses associades pel servei de prevenció aliè a la Planta.
  - El control d'accessos correspon al personal que està en l'entrada que realitza el pesatge de tots els camions i controla l'accés de tot el personal.
  - Altres costos associats com equips informàtics, despeses telefòniques, vestuari...
- **Els costos del transport i la gestió del material rebutjat.** La gestió dels diferents materials rebutjats són valorització energètica en el cas del rebuig de pretractament sec, deposició final en el cas del rebuig inert i compostatge en el cas del corresponent a la fracció lleugera del tractament humit degut al percentatge tan elevat de fracció vegetal que conté.

### 6.2.2. CÀLCUL DEL PREU DE CADA RESIDU

A través de la realització d'un estudi detallat de què es compon el preu públic de la FORM (Figures 17, 18, 19 i 20 de l'Annex IV), analitzant les partides que formen part dels ingressos i les despeses, s'ha pogut parametritzar mitjançant diverses equacions quins són els paràmetres que determinen la variació del preu de cada residu orgànic en comparació amb el preu de tractament la FORM.

Tots els càlculs s'han realitzat a partir del balanç de matèria de la planta del 2016 (Taula 5.1), el balanç energètic (Taula 5.6) i els resultats dels BMP del model Gompertz per determinar l'increment en la producció de biogàs, per tant, d'electricitat en base als cosubstrats estudiats (Taula 4.2).

Per tant, els ingressos de plantes de tractament de residu orgànic es poden descriure com es mostra a l'Equació 6.1. Els paràmetres i coeficients es poden trobar a les Taules 6.2 i 6.3, respectivament. Com es pot veure a l'Equació 6.1, els ingressos es compon de tres factors importants  $EP_{FORM}$ ,  $RM_{FORM}$  i el  $C_{FORM}$ , és a dir, els ingressos per l'energia elèctrica, materials recuperats i el compost respectivament. En el cas del  $EP_{FORM}$  multiplica per el coeficient A (increment de producció de biogàs) i el ratio  $\frac{PM}{PT}$  ( el PM és el preu de mercat de la venda d'energia elèctrica i el PT és la suma de  $PM + R_{inv} + R_{op}$ ) perquè en aquest cas només ingressaríem per aquest increment de biogàs pel que fa al preu de mercat ja que seria produït amb el nou motor de cogeneració on no aplica ni el  $R_i$  (retorn d'inversió) ni el  $R_o$  (retorn d'operació). El factor del  $RM_{FORM} * B$  per tots els residus estudiats serà zero ja que no hi ha materials a recuperar. I l'altre factor també serà zero ja que actualment no s'esperen ingressos per la venda de compost.

$$IN = EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1) + RM_{FORM} * B + C_{FORM} * (C+1) \quad \text{Eq. 6.1}$$

Els costos de tractament es poden calcular d'acord amb l'Equació 6.2. Els paràmetres i coeficients es poden trobar a les taules 6.2 i 6.3, respectivament. Els costos es compon de 11 factors importants. Aquests són:



- El  $ST_{FORM}$  correspon a les despeses de personal.
- El  $PO_{FORM}$  a la despesa de l'operació de la planta.
- El  $CE_{FORM}$  correspon al consum de l'electricitat i que resta perquè aquest factor es redueix respecte al consum de l'electricitat de la FORM ja que tots els residus estudiats estalvien consum elèctric en poder-se alimentar en punts més propers a la digestió anaeròbia, el coeficient D és el que determina la reducció en el consum elèctric en funció del punt d'alimentació en la Planta.
- El  $PE_{FORM}$  correspon al peatge que s'ha de pagar per la producció d'energia elèctrica, en aquest cas suma al cost ja que s'incrementa perquè hi ha una producció d'energia elèctrica més elevada que la FORM, el coeficient A és el que ens ho determina.
- El  $TB_{FORM}$  és el cost de la taxa de biogàs, l'impost d'hidrocarburs. En aquest estudi està considerat ja que es basa en el pressupost de 2018. Actualment aquest impost ja no s'ha de pagar.
- El  $M_{FORM}$  és el cost del manteniment de la Planta, aquest es veu corregit per un factor F que és la diferència de costos de manteniment en base al punt d'alimentació del residu.
- El  $MC_{FORM}$  que suma a les despeses, ja que en produir més biogàs respecte a la FORM és necessari més manteniment dels motors de cogeneració.
- El  $TAR_{FORM}$  també és un bloc que suma, es tracta de la despesa pel tractament de les aigües residuals, corregit pel coeficient G, que és l'increment de producció d'aigua residual per cada residu.
- El  $T_{ELEC} * [EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1) ]$  correspon a l'aplicació de l'impost del valor de la producció d'energia elèctrica pels majors ingressos de la venda d'energia elèctrica.
- El  $RBM_{OFMSW}$  correspon a les despeses pel transport i gestió del material rebutjat, corregit pel coeficient que determina la diferència en el percentatge de material rebutjat del residu estudiat front la FORM.

$$CO = ST_{FORM} + PO_{FORM} - D * CE_{FORM} + A * PE_{FORM} + A * TB_{FORM} - F * M_{FORM} + A * MC_{FORM} + G * TAR_{FORM} + T_{ELEC} * [EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1) ] + E * TR + RBM_{OFMSW} * (1 + H)$$

Eq. 6.2

Finalment, el preu que ha de pagar el generador de residus per al tractament dels residus a la planta es pot calcular d'acord amb l'equació 6.3. Els paràmetres i coeficients es poden trobar a les taules 6.4 i 6.5, respectivament. On DG són les despeses generals a aplicar en el preu i que s'ha considerat que per aquests tipus de residus seria d'un 10% a aplicar a la diferència entre els costos i els ingressos i finalment l'Am que és l'amortització calculada en l'apartat 6.1.4.

$$PR = CO - IN + DG * (CO - IN) + Am \quad \text{Eq. 6.3}$$

A la taula 6.4 estan tots els paràmetres utilitzats en les tres equacions anteriors. Aquests valors han sortit del pressupost de l'any 2018 de la FORM tal com es pot veure a les figures 17, 18, 19 i 20 de l'annex 5.

Els ingressos de la FORM del pressupost del 2018 es troba en la figura 17 de l'annex 5. El  $EP_{FORM}$  (ingressos per l'energia elèctrica produïda) correspon al subapartat 2.1, 18.64 € t<sup>-1</sup>. El preu de venda d'energia elèctrica de mercat (PM) s'ha considerat una mitjana de 0.05 € kWh<sup>-1</sup>. Per una altra banda, el PT (preu total de la venda d'energia elèctrica) que seria el PM + Ri +Ro ha estat de 0.12 € kWh<sup>-1</sup>. El  $RM_{FORM}$  (ingressos pel materials recuperats) correspon al subapartat 1.1 de la Figura 17.

Les despeses de la FORM del pressupost del 2018 es troben en les figures 18, 19 i 20 de l'annex 5. El  $ST_{FORM}$  és la despesa de personal que és l'apartat 1 de la Figura 18. El  $PO_{FORM}$  és el cost de l'operació de la planta, excloent l'impost sobre el valor de la producció d'energia elèctrica que s'ha considerat com un factor a banda en la fórmula  $T_{ELEC} * [EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1)]$ . El  $CE_{FORM}$  és el cost pel consum de l'energia elèctrica, que està al subapartat 2.1 de la figura 18. El  $PE_{FORM}$  és el peatge per la generació d'energia elèctrica que està al subapartat 2.4 de la figura 18. El  $TB_{FORM}$  és l'impost d'hidrocarburs que està inclòs al subapartat 2.6, sent de 1.30 € t<sup>-1</sup> i de 1.31 € t<sup>-1</sup> l'impost del valor de la producció d'energia elèctrica, que es calcula com el 7% dels ingressos de venda d'energia elèctrica, per tant, és producte de  $T_{ELEC}$  per  $EP_{FORM}$ . El  $M_{FORM}$  és la despesa de manteniment de la Planta que està al subapartat 3.1 de la Figura 18.  $MC_{FORM}$  és el cost del manteniment dels motors de

cogeneració que està a l'apartat 3.2 de la Figura 18, es tracta de la despesa de la producció d'energia elèctrica multiplicada per un preu unitari de  $0.0193 \text{ € kWh}^{-1}$  (contracte que es té amb l'empresa Caterpillar). El  $TAR_{FORM}$  és la despesa pel tractament de les aigües residuals que està a l'apartat 10 de la Figura 19. El TR és el cost de trituració calculat per tona de residu orgànic, s'ha considerat un preu per hora segons proveïdor de  $33.6 \text{ € h}^{-1}$  pel tractament de  $60 \text{ t h}^{-1}$  que és la capacitat de la màquina. El cost de  $RBM_{FORM}$  correspon a la suma dels subapartats 18.1, 18.2, 18.3 de la Figura 20.

**Taula 6.4.** Paràmetres utilitzats pel càlcul dels ingressos, costos i costos del tractament dels residus a la Planta.

<b>IN</b>	<b>Ingressos per tona de residu tractat</b>	
$EP_{FORM}$	Ingressos de la venda d'electricitat produïda per tona FORM tractada	$18.64 \text{ € t}^{-1}$
PM	Preu de venda d'electricitat (preu de mercat)	$0.05 \text{ € kWh}^{-1}$
PT	Preu total mig venda electricitat (mercat i incentius)	$0.12 \text{ € kWh}^{-1}$
$RM_{FORM}$	Ingressos de la venda de materials recuperats per tona FORM tractada	$0.12 \text{ € t}^{-1}$
$C_{FORM}$	Ingressos per la venda de compost	$0 \text{ € t}^{-1}$
<b>CO</b>	<b>Cost per tona de residu tractat</b>	
$ST_{FORM}$	Cost del staff per tona FORM tractada	$15.72 \text{ € t}^{-1}$
$PO_{FORM}$	Cost de l'operació de la planta per tona FORM tractada (excloent la despesa de l'impost elèctric)	$54.23 \text{ € t}^{-1}$
$CE_{FORM}$	Cost del consum de l'electricitat per tona de FORM tractada	$9.95 \text{ € t}^{-1}$
$PE_{FORM}$	Cost del peatge d'electricitat per tona de FORM tractada	$0.09 \text{ € t}^{-1}$
$TB_{FORM}$	Cost de la taxa de biogàs per tona FORM tractada	$1.30 \text{ € t}^{-1}$
$M_{FORM}$	Cost del manteniment per tona de FORM tractada	$18.60 \text{ € t}^{-1}$
$MC_{FORM}$	Cost del manteniment de la cogeneració per tona de FORM tractada	$3.33 \text{ € t}^{-1}$
$TAR_{FORM}$	Cost del tractament d'aigües residuals per tona de FORM tractada.	$4.94 \text{ € t}^{-1}$
$T_{ELEC}$	% d'aplicació a la producció de l'electricitat que consisteix en una taxa de la producció d'electricitat.	7%
TR	Cost de trituració per tona de residu orgànic.	$0.56 \text{ € t}^{-1}$
$RBM_{FORM}$	Cost of material rebutjat per tona FORM tractada	$28.75 \text{ € t}^{-1}$
<b>PR</b>	<b>Preu del residu per tona</b>	
DG	Percentatge que s'aplica a la diferència entre cost i ingrés , relatiu als costos dels departaments generals.	10%
Am	Cost de l'amortització de la instal·lació per tona	$5.64 \text{ € t}^{-1}$

A la Taula 6.5 estan els coeficients valorats en les Equacions 6.1 i 6.2. El coeficient D determina la diferència en el consum d'energia elèctrica pel fet de que el residu sigui alimentat al tractament humit, una reducció d'un 14% i si és alimentat a la Digestió Anaeròbia, implica un reducció d'un 29%. Aquestes dades són les que hem obtingut del balanç energètic al capítol 5, Taula 5.6, el pretractament sec respecte el total representa un 5.7% i el pretractament sec més el tractament humit representa un 16.57%.

Un altre coeficient important a comentar és el coeficient F, aquest coeficient s'ha extret en base als històrics de despeses de manteniment i és manté força constants en aquests darrers anys.

**Taula 6.5.** Coeficients relatiu al càlcul d'ingressos, costos i costos de tractament de la Planta.

		Valor	Font d'obtenció
A	Diferència (en percentatge) de producció de biogàs en referència a la producció de biogàs de la FORM	Quan A < -25 el residu no hauria de ser acceptat	A través de la modelització de Gompertz
B	Materials recuperats	0: no materials recuperats 1: materials recuperats	A excepció de la FORM, tots els altres residus orgànics s'ha considerat que no hi ha materials a recuperar
C	Increment (en percentatge) del compost produït		Balanç de masses
D	Diferència (en percentatge) del consum d'electricitat depenent del punt d'alimentació en referència al consum del tractament de la FORM	5.7%: tractament humit 16.57%: digestió anaeròbica	5.7%: tractament humit 16.57%: digestió anaeròbica (Valors calculats capítol 5)
E	Trituració	0: no trituració 1: amb trituració	0: no trituració 1: amb trituració (Proves industrials)
F	Diferència (en percentatge) de los costos de manteniment depenent del punt d'alimentació en referència al manteniment del tractament de la FORM	14%: tractament humit 29%: digestió anaeròbica	14%: tractament humit 29%: digestió anaeròbica (Despeses de manteniment)
G	Diferència (en percentatge) de l'aigua residual produïda en referència a la producció d'aigua residual de FORM		Balanç de masses
H	Diferència (en percentatge) del material rebutjat en referència a la producció del rebuig de la FORM		Proves industrials

### 6.2.3. ANÀLISIS DELS PREUS EN ELS RESIDUS DE SUPERMERCATS

A partir dels substrats analitzats, es van seleccionar els residus SM1, SM2, SM3 i SM4 per avaluar el seu rendiment a la planta i calcular el cost del tractament. Les mostres SM1 i SM2 es van obtenir del mateix supermercat, no obstant això SM1 es va alimentar com es va rebre, mentre que SM2 es va triturar abans d'alimentar-se al procés. SM3 i SM4 eren tots dos de diferents supermercats.

Taula 6.6. Anàlisi econòmic del tractament dels residus dels supermercats (€ t<sup>-1</sup>) i el percentatge de contribució de cada concepte.

	FORM	SM1	SM2	SM3	SM4	FORM	SM1	SM2	SM3	SM4
Costos (€ t <sup>-1</sup> )						Contribució (%)				
Personal	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72	17.92	17.77	19.29	20.87
Subtotal de l'operació de la planta	55.54	52.64	55.59	54.22	53.04	55.53	59.99	62.85	66.50	70.42
Electricitat	12.71	12.23	13.11	12.61	12.39	12.71	13.94	14.83	15.46	16.45
Manteniment	22.86	20.41	22.48	21.61	20.68	22.86	23.26	25.42	26.51	27.45
Lloguer maquinària	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.89	2.87	3.11	3.37
Aigua	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.39	0.39	0.42	0.46
Gasoil	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.61	0.61	0.66	0.72
Reactius químics	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.95	1.93	2.10	2.27
Manteniment biofiltre	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.19	0.20	0.22
Tractament aigües residuals	4.94	4.98	4.98	4.99	4.96	4.94	5.67	5.63	6.11	6.58
Materials estructurants	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.67	0.66	0.72	0.78
Assegurances	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.41	0.40	0.44	0.47
Tests i anàlisis	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.82	0.81	0.88	0.96
Neteja	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	3.38	3.35	3.64	3.94
Prevenció de riscos	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.22	0.23
Control accessos	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.64	0.64	0.69	0.75
Altres costos	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.96	4.92	5.34	5.78
Transport i gestió de materials rebutjat	28.75	19.39	17.13	11.59	6.56	28.74	22.10	19.37	14.22	8.71
Total costos	100.00	87.75	88.45	81.53	75.32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ingressos (€ t <sup>-1</sup> )						Contribució (%)				
Electricitat produïda	18.64	18.99	22.60	20.52	19.62	83.64	100.00	100.00	100.00	100.00
Materials recuperats	3.39(*)	0.00	0.00	0.00	0.00	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Compost	0.26 (**)	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Total ingressos	22.29	18.99	22.60	20.52	19.62	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Costos ingressos	77.72	68.76	65.85	61.01	55.70	93.33	84.60	84.34	83.86	83.25
Despeses generals	1.55	6.88	6.58	6.10	5.57	1.87	8.46	8.43	8.39	8.32
Amortització (***)	4.00	5.64	5.64	5.64	5.64	4.80	6.94	7.22	7.75	8.43
Preu final	83.27	81.28	78.07	72.75	66.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

(\*) En aquest ingrés hi ha l'ingrés dels materials recuperats ( $0.12 \text{ € t}^{-1}$ ) i el retorn de les taxes municipals ( $3.27 \text{ € t}^{-1}$ )

(\*\*) només el compost municipal es considera la seva venda en sacs a les deixalleries.

(\*\*\*) només en la FORM aquest concepte no és amortització, sinó que és fons de contingència.

A la Taula 6.6 es presenten els costos i els ingressos relacionats amb el tractament dels residus de supermercats i residus de referència (FORM). Tots els valors del residu de referència correspon a l'any 2018.

Comparant els residus de supermercats, els costos principals corresponen a: personal (18% -21%); electricitat (13% -16%); manteniment (22% -27%); tractament d'aigües residuals (5% -7%) i transport i eliminació de material rebutjat entre (9% - 22%). Sent el transport i la deposició controlada del material rebutjat, el cost amb un rang més ampli, ja que depèn totalment del material rebutjat que es troba en els residus.

Alguns dels residus dels supermercats quan es van realitzar les proves no feien separació i van haver de fer una selecció manual del residu orgànic pel que fa a la resta, encara que hi havia un percentatge d'impropis. Així el destí que tenien era que anava directament a abocador. En aquest cas, encara té més força a nivell econòmic escollir la via correcta de separació en origen i gestor de digestió anaeròbica i compostatge, ja que el preu d'abocador per aquest any 2019 està entre  $90\text{-}100 \text{ € t}^{-1}$  i incrementant-se cada any pel cànon.

Pel que fa al residu de supermercats SM2 (triturat i alimentat al tractament humit), la producció de biogàs era un 49.74% superior al residu de referència (coeficient A = 49.74%). Com que el material no biodegradable de SM2 és inferior al dels residus de referència, la quantitat de compost produïda serà més gran (coeficient C = 1.36%). Tenint en compte que SM2 seria alimentat directament al tractament humit, es reduirà el 5.7% de l'electricitat corresponent al tractament previ en sec (coeficient D). Això també suposarà una reducció dels costos de manteniment (coeficient F = -14%). Els residus seran triturats abans d'alimentar-se al procés, per tant, en aquest cas el coeficient E equival a 1. L'augment del tractament d'aigües residuals seria del 0.73% (coeficient G) i el 40.40% del material rebuig es va reduir (coeficient H).

El cost del tractament es pot reduir entre el 2% per a SM1 i el 20% per SM4 en comparació amb el preu públic per al tractament FORM. Aquesta reducció del cost del tractament està relacionada amb les característiques de cada residu. SM1 i SM4 tenen característiques comparables a la FORM, ja que tots dos són residus d'aliments, no es trituren i s'alimenten al tractament humit. No obstant això, SM1 inclou l'empaquetament, mentre que SM4 no. Per als primers, el seu potencial de biogàs és inferior a la FORM, mentre que per a aquest últim és més alt.

En el cas del residus orgànics comercials que són assimilables a municipals existeixen diferents opcions de gestió (Figura 6.4), que es diferencia bàsicament en si la gestió la realitza una empresa privada (opció 2) o es fa a través de la recollida municipal (opció 1). Després dintre d'aquestes dues opcions, ambdues tenen la possibilitat que vagin a una instal·lació pública de tractament i en el cas de l'opció 2, s'afegeix l'opció que pugui anar a una instal·lació privada de tractament. Això té repercussions en la forma en la que es gestiona el retorn del cànon.

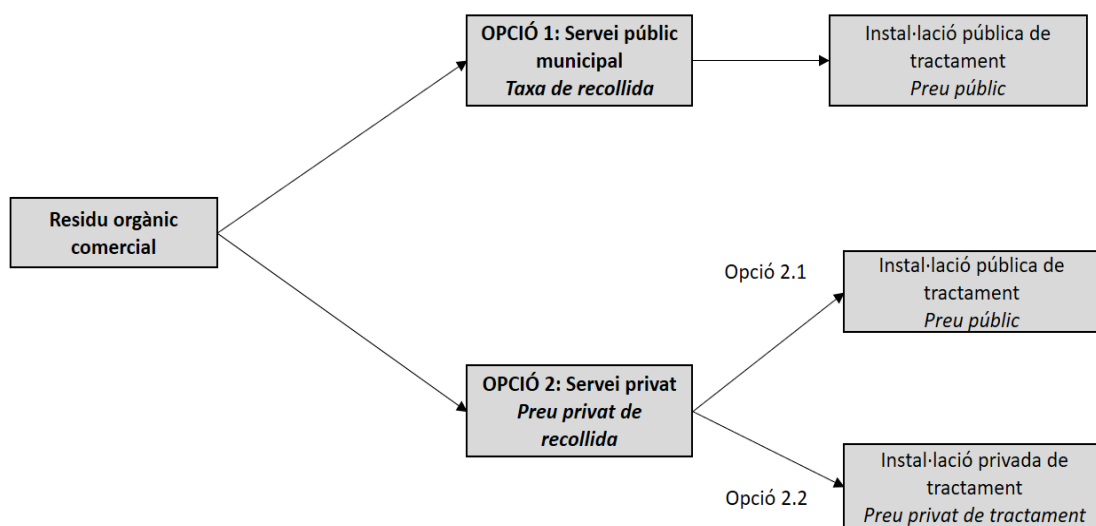


Figura 6.4. Opcions de gestió del residu comercial (Comunicació pròpia)

Tal com diu Edwards et al. (2018) que és necessari que hi hagi taxes d'incentius per a establir polítiques, en el cas de Catalunya hi ha l'incentiu a través de retorn del cànon.

Els cànon sobre la deposició controlada del rebuig dels residus municipals són impostos ecològics que incentiven un comportament més respectuós amb el medi ambient i impulsen mesures de minimització i de valorització material dels residus. La Junta de Govern per als Residus Municipals aprova anualment unes guies amb els criteris per a l'aplicació del cànon.

Els cànon sobre la deposició controlada de residus municipals es creen per la Llei 1612003, de 13 de juny i per la Llei 8/2008 de 10 de juliol. Els gravàmens per aquests cànon han anat variant al llarg dels diferents anys, i per l'any 2018 van ser de 35.6 € t<sup>-1</sup> per a deposició i 17.80 € t<sup>-1</sup> per a incineració.

La destinació de la recaptació dels cànon es determina per la Junta de Govern del Fons de Gestió de Residus. Aquests recursos com a mínim s'apliquen en un 50% al tractament de la fracció orgànica recollida selectivament, inclosos els tractaments que redueixen la quantitat o milloren la qualitat del rebuig dels residus destinats a la disposició del rebuig, i la resta dels recursos s'ha de destinar a la recollida selectiva en origen de la fracció orgànica, a la recollida selectiva i valorització d'altres fraccions de residus, i també a promoure campanyes de sensibilització, d'educació ambiental i divulgació.

Entre els conceptes que són subjectes del retorn del cànon correspon el del tractament de la FORM i des de l'any 2019 queda clarament determinat que també pot sol·licitar el retorn del cànon les recollides comercials de residus municipals provinents de circuits privats.

En el cas que la gestió la fes la recollida municipal, és important determinar que el retorn del cànon pel que fa al tractament es faria a través de l'ajuntament, en el cas que es fes a través d'una empresa privada i anés a una planta pública, el retorn del cànon el sol·licitaria la planta pública. En el cas de la planta estudiada correspon a l'opció 2.1 (Figura 6.4), als preus resultants de la Taula 6.6 s'hauria de restar aquest ingrés corresponent a 34 € t<sup>-1</sup>, així com també s'aplicaria el retorn del cànon corresponent al rebuig produït per aquests residus resultant els preus dels residus de supermercat de la Taula 6.7.



**Taula 6.7.** Preus dels residus de supermercat incloent el retorn del cànon

RESIDU	RETORN CÀNON TRACTAMENT (€ t <sup>-1</sup> )	RETORN CÀNON REBUIG (€ t <sup>-1</sup> )	PREU INCLOENT RETORN CÀNON (€ t <sup>-1</sup> )
SM1	34	1.58	45.7
SM2	34	1.40	42.67
SM3	34	0.95	37.80
SM4	34	0.54	32.37

El càlcul del retorn del cànon del rebuig s’ha realitzat en base al retorn del cànon pel que fa al retorn del cànon de la FORM, que és de 2.35€ t<sup>-1</sup>, aplicant després el coeficient H, que correspon a la reducció del rebuig de cada residu en comparativa a la FORM.

### 6.3. AMPLIACIÓ DE L’AUTORIZACIÓ AMBIENTAL

Per poder tractar tots els residus estudiats, seria necessari sol·licitar a l’oficina de Gestió Ambiental Unificada de la Generalitat de Catalunya la inclusió dels codis CER de la Taula 6.8, ja que no figuren a la llista de l’Autorització Ambiental (Taula 1.12).

**Taula 6.8.** Codis CER no presents a l’Autorització Ambiental.

CODI CER	DEFINICIÓ
020201	02_ RESIDUS DE L’AGRICULTURA, HORTICULTURA, AQÜICULTURA, SILVICULTURA, CAÇA I PESCA 0202_ Residus de la preparació i elaboració de carn, peix i altres aliments d’origen animal 020202_ llots del rentatge i neteja
020203	02_ RESIDUS DE L’AGRICULTURA, HORTICULTURA, AQÜICULTURA, SILVICULTURA, CAÇA I PESCA 0202_ Residus de la preparació i elaboració de carn, peix i altres aliments d’origen animal 020203_ Materials inadequats per al consum o l’elaboració
161002	16_ RESIDUS NO ESPECIFICATS EN CAP ALTRE CAPÍTOL DE LA LLISTA 1610_ Residus líquids aquosos destinats a plantes de tractament externes 161002_ Residus líquids aquosos diferents dels especificats en el codi 161001

Aquests codis segons la guia sobre la codificació, la classificació i les vies de gestió dels residus de Catalunya, permetria el seu tractament en una planta de digestió anaeròbica.

A l'Autorització Ambiental vigent de la Planta de Digestió Anaeròbica i de compostatge hi ha un llistat de tots els residus orgànics que estarien autoritzats a poder entrar dins de les instal·lacions (veure Taula 1.12) sempre i quan no es superi la capacitat màxima que és 51184 tones. En el cas que pogués superar aquesta quantitat, s'hauria de tramitar un canvi no substancial de l'autorització ambiental tal com determina l'article 14 del Decret 815/2013, així com els criteris de substancialitat de les modificacions de les activitats de la llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental d'activitats (Aprovats el 18 d'octubre de 2016): un increment superior al 50% de la capacitat de tractament de residus i/o de la superfície total de l'activitat productiva (excepte pels dipòsits controlats) es considera un canvi substancial. Actualment ja s'ha realitzat el tràmit ja que l'any 2018 es van superar les 51184 tones autoritzades.

#### 6.4. PREU PER CADA RESIDU

A la Taula 6.9 es presenten els preus de tots els residus estudiats aplicant els seus respectius coeficients a les equacions 6.1, 6.2 i 6.3.

Per exemple, detallarem el càlcul que s'ha fet per un d'aquests residus, residu de la producció de la lasanya (carn):

1) Apliquem l'equació 6.1

$$IN = EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1) + RM_{FORM} * B + C_{FORM} * (C + 1)$$

$$IN = 18.64 * (27.82\% * \frac{0.05}{0.12} + 1) + 0.12 * 0 + 0 * (1.12\% + 1) = 20.85 \text{ € t}^{-1}$$

2) Apliquem l'equació 6.2

$$CO = ST_{FORM} + PO_{FORM} - D * CE_{FORM} + A * PE_{FORM} + A * TB_{FORM} - F * M_{FORM} + A *$$

$$MC_{FORM} + G * TAR_{FORM} + T_{ELEC} * [EP_{FORM} * (A * \frac{PM}{PT} + 1)] + E * TR + RBM_{OFMSW} * (1 + H)$$

$$\begin{aligned} \text{CO} = & 15.72 + 54.23 - 5.70\% \cdot 9.95 + 27.82\% \cdot 0.09 + 27.82\% \cdot 1.30 - 14\% \cdot 18.60 + \\ & 27.82\% \cdot 3.33 + 2.19\% \cdot 4.94 + 7\% \cdot [18.64 \cdot (27.82\% \cdot \frac{0.05}{0.12} + 1)] + 0 \cdot 0.56 + 28.75 \cdot (1 + (- \\ & 100\%)) = 69.67 \text{ € t}^{-1} \end{aligned}$$

3) Apliquem l'equació 6.3

$$\text{PR} = \text{CO} - \text{IN} + \text{DG} * (\text{CO} - \text{IN}) + \text{Am}$$

$$\text{PR} = 69.67 - 20.85 + 10\% * (69.67 - 20.85) + 5.64 = 59.34 \text{ € t}^{-1}$$

Taula 6.9. Preu de tractament dels residus estudiats.

SUBSTRATS	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E	F (%)	G (%)	H (%)	CO (€ t <sup>-1</sup> )	IN (€ t <sup>-1</sup> )	CO-IN (€ t <sup>-1</sup> )	DG (€ t <sup>-1</sup> )	Am (€ t <sup>-1</sup> )	PR (€ t <sup>-1</sup> )
Residu de referència (FORM)	0	1	0	0	0	14	0	0	100.00	22.29	77.72	1.55	4.00	83.27
Residu alimentari de supermercat (SM1)	4.41	0	1.37	5.70	0	14	0.75	-32.54	87.75	18.99	68.76	6.88	5.64	81.28
Residu alimentari de supermercat (SM2)	49.74	0	1.36	5.70	1	14	0.73	-40.40	88.45	22.60	65.85	6.58	5.64	78.07
Residu alimentari de supermercat (SM3)	23.65	0	1.41	5.70	1	14	0.86	-59.68	81.53	20.52	61.01	6.10	5.64	72.75
Residu alimentari de supermercat (SM4)	12.35	0	0.88	5.70	0	14	0.30	-77.17	75.32	19.62	55.70	5.57	5.64	66.91
Residu de la producció de lasanya (carr)	27.82	0	1.12	5.70	0	14	2.19	-100.00	69.67	20.85	48.81	4.88	5.64	59.34
Residu de la producció de lasanya (pasta)	-30.27	0	0.66	5.70	0	14	0.23	-100.00	66.51	16.23	50.28	5.03	5.64	60.94
Residu d'una fàbrica de patates fregides (midó)	12.47	0	0.00	5.70	0	14	0.16	-100.00	68.76	19.63	49.12	4.91	5.64	59.68
Residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata)	-20.67	0	0.64	5.70	0	14	0.16	-100.00	67.01	16.99	50.01	5.00	5.64	60.66

SUBSTRATS	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E	F (%)	G (%)	H (%)	CO (€ t <sup>-1</sup> )	IN (€ t <sup>-1</sup> )	CO-IN (€ t <sup>-1</sup> )	DG (€ t <sup>-1</sup> )	Am (€ t <sup>-1</sup> )	PR (€ t <sup>-1</sup> )
Residu de la producció de biodièsel (glicerol:aigua) 1% diluïció	80.19	0	5.44	16.57	0	29	21.89	-100.00	69.57	25.02	44.54	4.45	5.64	54.64
Aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% diluïció	182.05	0	0.03	16.57	0	29	1.49	-100.00	73.93	33.13	40.80	4.08	5.64	50.52
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial.	29.18	0	4.29	16.57	0	29	16.52	-100.00	66.61	20.96	45.65	4.56	5.64	55.85
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)	73.88	0	3.74	16.57	0	29	15.23	-100.00	68.90	24.52	44.38	4.44	5.64	54.46
Aigua residual d'una empresa d'alimentació	11.72	0	0.72	16.57	0	29	0.49	-100.00	64.89	19.57	45.32	4.53	5.64	55.49

El paràmetre més rellevant en el preu de cada residu (Equació 6.2) és el cost del material rebutjat (Coeficient H), com s'ha pogut veure a la Taula 6.6 on els residus comercials de supermercats que són els únics que presenten rebuig, representa un 22.10% del cost total pel cas del SM1 que és el que presentava un preu més elevat, i que eren 19.39 € t<sup>-1</sup> del total de costos. Per tant, per un residu que no té rebuig, hi ha un estalvi molt important degut a que el preu del transport i la gestió del rebuig a dipòsit controlat és actualment de 90 a 100 € t<sup>-1</sup> i augmentant any rere any per la política d'augment del cànon per la deposició final i la incineració tal com es pot veure a la Taula 6.10 (Llei 5/2017, del 28 de març).

**Taula 6.10.** Cànon o gravamen per deposició i incineració dels residus municipals (Llei 5/2017, del 28 de març).

Any d'aplicació	Tipus de gravamen per deposició ( € t <sup>-1</sup> )	Tipus de gravamen per incineració ( € t <sup>-1</sup> )
2017	30.00	14.50
2018	35.60	17.80
2019	41.30	20.60
2020	47.10	23.60

El coeficient H oscil·la entre el 100% (sense materials rebutjats) i el 32.5%, tenint en compte que, en aquest estudi, només els residus del supermercat presentaven la generació de materials rebutjats.

De fet, els residus amb preus més baixos són aquells sense material rebutjat. Segons això, les aigües residuals procedents de la producció de biodièsel (glicerol: aigua), informen el menor cost del tractament, que coincideix amb la producció més alta de biogàs i l'absència de material rebutjat. És important destacar que els ingressos per aquest tipus de residu és quasi un 49% superior al que correspon a la FORM, pel potencial de biogàs tan elevat que presenta aquest tipus de residu.

El preu més alt correspon als residus de supermercats SM1, que presentaven la major quantitat de material rebutjat. S'ha de tenir en compte que els residus de pasta de la producció de Lasanya, que van reportar la menor producció de biogàs però sense material rebuig, tenen un preu del 25% més baix que el SM1 mentre produeixen un 31% menys de metà. Això és conseqüència dels costos de gestió dels materials rebutjats. Això és important, ja que significa que, en un escenari de codigestió, el cost del tractament dels materials rebutjats és més important que els ingressos per la conversió de biogàs a

l'electricitat. A més, quan s'analitza el cost del tractament de la FORM (Taula 6.6) el transport i eliminació de materials rebutjats representa gairebé el 29% del cost total. En aquest sentit, la millora de la qualitat de la FORM (menys material rebutjat) és un factor clau per aconseguir la sostenibilitat econòmica del sistema de gestió FORM.

Pels coeficients C i G de les equacions 6.1 i 6.2, s'han agafat els valors resultants dels balanços de masses dels diferents substrats que es troben aquests valors a les Figures 5.3, 5.4, 5.5 i les Figures 1-9 de l'annex tal com es presenta a la taula 6.11.

**Taula 6.11.** Producció de compost i aigües residuals de la FORM i el cosubstrat.

SUBSTRATS	Quantitat potencial d'entrada (t any <sup>-1</sup> )	Producció compost	% variació FORM (C)	Producció aigües residuals	% variació FORM (G)
Residu de referència (FORM)		5029.00	-	43576.30	-
Residu alimentari de supermercat (SM1)	300	5097.72	1.37%	43902,96	0.75%
Residu alimentari de supermercat (SM2)	300	5097.37	1.36%	43895.61	0.73%
Residu alimentari de supermercat (SM3)	300	5100.05	1.41%	43950.75	0.86%
Residu alimentari de supermercat (SM4)	100	5073.16	0,88%	43708.54	0.30%
Residu de la producció de lasanya (carn)	728	5085,56	1,12%	44529.87	2.19%
Residu de la producció de lasanya (pasta)	73,5	5062,06	0,66%	43677.11	0.23%
Residu d'una fàbrica de patates fregides (pell patata)	50	5061.12	0.64%	43644.66	0.16%
Residu de la producció de biodièsel (glicerol: aigua) 1% dilució	8.030	5302.69	5.44%	53117.22	21.89%
Aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució <sup>(2)</sup>	2.190	5030.42	0.03%	44224.85	1.49%
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial.	6.000	5244.50	4.29%	50774.42	16.52%
Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial. (tamisat)	6.000	5217.14	3.74%	50212.76	15.23%
Aigua residual d'una empresa d'alimentació	150	5065.37	0.72%	43788.42	0.49%

<sup>(2)</sup> La quantitat potencial d'entrada s'ha considerat tenint en compte que hi hagués una part que es destil·lés segons font pròpia.

No s'han trobat gaires articles publicats que facin un anàlisi econòmic dels costos del tractament dels residus en Plantes de Tractament de DA. Aquest fet coincideix amb una de les conclusions de l'estudi de Clarke et al., (2018) que afirmava que el cost de la inversió i de l'exploració de les plantes de tractament de digestió anaeròbica no presenta una informació molt extensa.

Com a referència, trobaríem l'estudi realitzat per Clarke et al., (2000) que determinava que el cost mitjà d'amortització i cost d'exploració de la FORM a gran escala en aquella època anava de 64 a 73 \$ t<sup>-1</sup> als Estats Units. En l'any 2000, 1€ eren 0.924 \$ (Centro de datos, 2018), per tant, eren 69.26 a 79 € t<sup>-1</sup> als Estats Units, que són valors que no difereixen de forma considerable amb els resultats, tenint en compte que han passat 18 anys, ja que el preu de la FORM i els residus comercials estan en uns valors de 83.27 a 72.75 € t<sup>-1</sup>.

Estudis més recents per Goldstein et al., (2008) establia un preu pel tractament de la FORM incloent l'amortització, de 145 \$ t<sup>-1</sup>, en concret pel tractament de 55.000 t any<sup>-1</sup> de FORM a la planta de Digestió Anaeròbica de Toronto, sent 54 \$ t<sup>-1</sup> per l'amortització i 91 \$ t<sup>-1</sup> pel tractament de la FORM, incloent els ingressos per la venda d'electricitat corresponent a 23 \$ t<sup>-1</sup>. En l'any 2008, 1€ eren 1.482 \$ (Centro de datos, 2018), per tant, eren, 61.40 € t<sup>-1</sup> pel tractament i 36.44 € t<sup>-1</sup> per l'amortització, un total de 97.84 € t<sup>-1</sup>, valor un 17,5% superior al preu de la FORM ( i s'ha de tenir en compte que els preus tenen un desfasament de 10 anys, per tant, aquest percentatge seria superior). En aquest preu esta considerat els ingressos, que serien per aquesta planta de Toronto, de 15.52 € t<sup>-1</sup>, en aquest cas, valor inferior en qualsevol del càlcul dels ingressos dels residus estudiats.

## 6.5. CONCLUSIONS

S'han deduït unes equacions parametritzades amb tota una sèrie de coeficients característics de cada residu per obtenir el preu de tractament.

Segons els resultats dels preus per cada residu podem determinar que els preus els dividiríem en tres blocs com hem fet anteriorment:



- Els residus de supermercats tenen un preu entre 81.28 i 66.91 € t<sup>-1</sup>, però tenint en compte l'efecte del retorn del cànon en el cas que apliqués, aquests preus serien de 45.7 a 32.37 € t<sup>-1</sup>. S'ha de destacar que aquest bloc de residus serien els que tenen un comportament més semblant a la FORM, i pel que fa al preu correspondria a una reducció d'un 2% a un 20% respecte a la FORM per l'efecte especialment del rebuig. S'ha d'indicar també que en el cas de la FORM, són els ajuntaments els que sol·liciten directament el retorn del cànon del tractament, per tant, aquest ingrés ho rep directament l'ens municipal.
- Els residus d'indústries alimentàries tenen un preu entre 54.46 a 60.94 € t<sup>-1</sup>, no presenten molta dispersió a diferència del de supermercats, ja que aquest grup, tots presenten 0% de material rebutjat, per tant, l'impacte tan considerable del preu de deposició controlada final no estaria.
- Els residus procedents del glicerol presenten uns preus entre 50.52 a 54.64 € t<sup>-1</sup>. Aquest bloc és el que presenta un rang de preus més baix degut a l'elevat potencial de biogàs que presenten.

És necessari sol·licitar a l'Oficina de Gestió Ambiental Unificada (OGAU) l'incorporació dels codis CER d'aquells residus que no són autoritzats a l'Autorització Ambiental i un canvi no substancial per l'increment en la quantitat de residus a tractat.

La importància dels balanços de materials i energètics, la monitorització de les dades durant molt de temps, ha permès determinar aquesta fórmula que s'ha desenvolupat.

## 6.5. REFERÈNCIES

AEAT, 2019. Tabla de coeficientes de amortización lineal [en línia] Disponible a <[https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/\\_Segmentos\\_/Empresas\\_y\\_profesionales/Empresas/Impuesto\\_sobre\\_Sociedades/Periodos\\_impositivos\\_a\\_partir\\_de\\_1\\_1\\_2015/Base\\_imponible/Amortizacion/Tabla\\_de\\_coeficientes\\_de\\_amortizacion\\_lineal\\_.shtml](https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_/Empresas_y_profesionales/Empresas/Impuesto_sobre_Sociedades/Periodos_impositivos_a_partir_de_1_1_2015/Base_imponible/Amortizacion/Tabla_de_coeficientes_de_amortizacion_lineal_.shtml)> [consultat 1 febrer de 2019].

Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya (2018). Guia sobre la codificació, la classificació i les vies de gestió dels residus de Catalunya.

- Callan, S. J. and Thomas, J.M., 2001. Economies of Scale and Scope: A Cost Analysis of Municipal Solid Waste Services. *Land Econ.* 77 (4), 548-560.
- Centro de datos, 2018. Tipos del cambio del euro (2000-2018) [en línia] Disponible a: <http://www.datosdelanzarote.com/itemDetalles.asp?idFamilia=10&idItem=4496> [consultat 1 de juliol de 2019]
- Clarke, W. P., 2000. Cost-benefit analysis of introducing technology to rapidly degrade municipal solid waste. *Waste Manage. Res.* 18, 510-524.
- Clarke, W.P., 2018. The uptake of anaerobic digestion for the organic fraction of municipal solid waste – Push versus pull factors. *Bioresour. Technol.* 249, 1040-1043.
- ETU/130/2017. Ordre ETU / 130/2017, de 17 de febrer, per la qual s'actualitzen els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus, a efectes de la seva aplicació a semiperíode regulatori que té el seu inici l'1 de gener de 2017. BOE-A-2017-1793. <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-1793](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-1793)> [consultat 15 de novembre de 2018]
- Goldstein, N., 2008. Toronto moves forward with anaerobic digestion of residential SSO. *Biocycle Energy*, eight anual renewable energy from organics recycling. September 2008, 44-45.
- IET/1045/2014. Ordre IET / 1045/2014, de 16 de juny, per la qual s'aproven els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus. BOE-A-2014-6495. <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6495](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6495)> [consultat 15 de novembre de 2018]
- Llei 24/2013, de 26 de desembre, del Sector Elèctric. BOE-A- 2013 - 13645 <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>> [consultat 15 de novembre de 2018]
- Llei 5/2017, del 28 de març, de mesures fiscals, administratives, financeres i del sector públic i de creació i regulació dels impostos sobre grans establiments comercials, sobre estades en establiments turístics, sobre elements radiotòxics, sobre begudes ensucrades envasades i sobre emissions de CO<sub>2</sub>). DOGC-7340.

<[https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur\\_ocults/pjur\\_resultats\\_fitxa?action=fitxa&documentId=781993](https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa?action=fitxa&documentId=781993)> [consultat 15 de novembre de 2018]

Reial decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus. BOE-A-2014-6123. <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-6123>> [consultat 15 de novembre de 2018]

Residus, 2019. Guia d'orientació als ens locals sobre l'aplicació del retorn dels canons sobre la deposició del rebuig dels residus municipals per a l'any 2019. <[http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/tipus\\_de\\_residu/residus\\_municipals/canons\\_sobre\\_la\\_disposicio\\_del\\_rebuig\\_dels\\_residus\\_municipals/guies\\_i\\_balancos/Guia\\_canon\\_2018.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/residus_municipals/canons_sobre_la_disposicio_del_rebuig_dels_residus_municipals/guies_i_balancos/Guia_canon_2018.pdf)> [consultat 15 de novembre de 2018]

## **CAPÍTOL 7. CONCLUSIONS**

### ***Resum***

En aquest capítol es presenten les conclusions més importants d'aquest estudi, donant resposta als objectius d'aquesta tesi.



## CAPÍTOL 7. CONCLUSIONS

S'ha aplicat la codigestió anaeròbia, com a estratègia d'Economia Circular, per millorar la gestió de la fracció orgànica dels residus sòlids municipals (FORM) i els residus industrials en un estudi de cas real.

S'han detectat al voltant de la Planta de Digestió Anaeròbica i de Compostatge del Centre Comarcal de Tractament de Residus del Vallès Oriental un conjunt de residus comercials i industrials que podrien ser tractats en la Planta junt als residus municipals. Un cop caracteritzats s'ha determinat a escala laboratori el seu potencial de producció de metà i s'ha confirmat que aquesta gestió conjunta comportaria múltiples avantatges tant energètiques com econòmiques, objectius d'una estratègia d'Economia Circular en el marc del tractament i valorització dels residus orgànics.

Les proves a escala industrial posen de manifest que els residus estudiats, pel seu volum de producció i característiques, si poguessin ser tractats a la Planta, implicaria doblar la producció de biogàs. Per poder tractar tots els residus cal ampliar algunes de les àrees del procés. Concretament l'ampliació del procés de pretractament mitjançant una trituració prèvia, l'ampliació de la biometanització mitjançant la construcció d'un nou digestor de 500 m<sup>3</sup> i l'ampliació de la cogeneració mitjançant l'adquisició d'un nou motor de les mateixes característiques que els actuals.

A nivell legal serien necessaris dos tràmits per poder rebre tots els residus estudiats. En primer lloc, el Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental necessitaria modificar els estatuts per poder acceptar residus orgànics industrials, ja que els actuals només permet l'entrada de la Fracció Orgànica de Residus Municipals (FORM) i residu orgànic comercial assimilable a municipal.

Per altra banda, per poder tractar en la Planta tots els residus estudiats, seria necessari sol·licitar a l'OGAU la inclusió de tots aquells residus que no estan a la llista de residus

autoritzats a l'Autorització Ambiental, així com un canvi no substancial per l'increment de quantitat de residus.

S'ha pogut contrastar que no hi ha prou informació bibliogràfica referent a l'anàlisi dels costos del tractament de la FORM i tampoc de cosubstrats per realitzar-ne la codigestió. S'han trobat estudis econòmics de comparativa de plantes de compostatge però en cap cas parametritzen aquests valors econòmics per poder establir unes fórmules de càlcul de les despeses i els ingressos en aquestes instal·lacions. En conseqüència, en aquesta Tesi, s'ha desenvolupat una fórmula per calcular el cost del tractament de qualsevol residu orgànic en una Planta de digestió. Aquesta fórmula té en compte els diferents punt d'entrada en el procés, per tant, si un residu necessita pretractament o no. També s'ha tingut en compte el material rebutjat que es pot generar, la producció d'energia del biogàs produït i la qualitat del compost.

L'avaluació econòmica ha demostrat la viabilitat d'aquesta estratègia d'Economia Circular, ja que els costos de tractament calculats per als residus comercials i industrials són inferiors al preu de la FORM. En el cas dels residus orgànics comercials (supermercats) els preus anaven de 81.28 € t<sup>-1</sup> a 66.91 € t<sup>-1</sup> i si incloem el retorn del cànon, passarien a ser des de 45.7 € t<sup>-1</sup> a 32.37 € t<sup>-1</sup>. Pels residus orgànics industrials, els preus anirien des de 60.94 € t<sup>-1</sup> a 50.52 € t<sup>-1</sup>.

Es important destacar que una de les conclusions importants que s'obté de l'estudi econòmic es que el principal factor que afecta el cost del tractament és el cost de gestió dels materials rebutjats. Concretament aquest cost suposa en el cas de la FORM que presenta el % de rebuig més elevat un 28.74% del cost de tractament i en els supermercats depenent de la qualitat d'entrada entre un 22.10% (SM1) i un 8.71% (SM4) del cost de tractament.

Aquesta tesi ha volgut deixar palesa la capacitat de millora en la valorització dels residus orgànics, pel que fa a la seva potencialitat com un recurs valuós en un entorn industrial i d'energies renovables.

## **ANNEXES**





**ANNEX I. EXPLICACIÓ TÈCNICA, MEMÒRIA DE LA PLANTA**



## **1. RECEPCIÓ I PRETRACTAMENT SEC**

### ***1.1. Entrada a la planta***

A l'entrada es disposa d'un control d'accessos al costat de la bàscula de pesatge. En aquest control està el personal que realitza el control del pesatge dels camions que accedeixen a la Planta. Tots els vehicles que arriben a la instal·lació són pesats a l'entrada i a la sortida mitjançant la bàscula esmentada, registrant-se totes les dades pertinents.

### ***1.2. Recepció dels residus***

Després del pesatge, els camions es dirigeixen a la nau de Recepció i Pretractament on se situa la platja de descàrrega. Aquesta platja té una capacitat d'emmagatzemament de 2.5 vegades la capacitat nominal diària. La gestió de la platja de recepció, així com la corresponent alimentació a la capçalera de la línia de pretractament es realitza amb pala carregadora.

### ***1.3. Pretractament sec***

La pala descarrega sobre un equip alimentador disgregador obrebosses. Aquest equip obrebosses disposa d'una doble finalitat: obertura de les bosses per a la preparació dels residus per a posteriors tractaments, i regularització del cabal que discorrerà al llarg del cicle de procés. Ha de disposar d'una construcció robusta i una amplària suficient per assegurar el subministrament en les condicions de disseny.

L'equip obrebosses descarrega el material sobre un alimentador, després mitjançant cintes transportadores, el residu arribarà al trómel. Cal destacar que l'última cinta abans d'entrar al trómel és reversible. D'aquesta forma en cas de mal funcionament del pretractament es podria conduir la FORM cap a la biometanització mitjançant tota una sèrie de cintes transportadores.

Aquest trómel (garbella rotativa), ha estat dissenyat amb la suficient longitud com per poder maximitzar la separació de les diferents fraccions, així com per respondre adequadament a un tractament eficaç d'unes quantitats de residus circumstancialment superiors a les capacitats nominals de tractament. Disposa de perforacions de 100 mm, com a conseqüència de les quals el material, al seu pas pel trómel, es dividirà en els dos tipus de fraccions següents:

- Fracció resultant del garbellament a través de la malla (passant), que serà recollida per la cinta transportadora situada sota el trómel. La dita fracció tindrà una granulometria, conforme a les perforacions de la malla, compresa entre 0 i 100 mm.

- Fracció grossa resultant del que sobreïxi del trómel (rebutjos), recollida al seu torn per una altra cinta transportadora. La granulometria d'aquesta fracció grossa serà superior a 100 mm.

El destí final d'aquestes fraccions serà el següent:

- La fracció passant (0-100 mm), després de ser sotmesa a altres processos de classificació que descriurem a continuació, serà finalment conduïda a l'àrea de biometanització per ser sotmesa a un procés de digestió anaeròbia.

- La fracció grossa (> 100 mm), serà conduïda mitjançant cintes transportadores a la nau de càrrega de túnels per ser sotmesa a un procés d'estabilització.

La fracció passant de la garbella rotativa, recollida per cinta, passarà a través de cinta transportadora i segons es va transportant el material, es realitzarà un procés de separació de fèrrics. Concretament es disposa d'un separador magnètic per a la captació i separació dels fèrrics barrejats amb el material, atrets mitjançant la força magnètica d'un imant de dimensions apropiades (1200 mm). El separador magnètic està col·locat transversalment sobre la cinta. Els fèrrics capturats són descarregats en un contenidor per al seu posterior reciclatge i reutilització. Es pot veure una imatge panoràmica del pretractament sec a la Figura 1.



**Figura 1.** Foto panoràmica de l'àrea de pretractament sec i l'àrea de tractament humit

## 2. TRACTAMENT HUMIT

La fracció orgànica procedent del procés de pretractament sec es descarrega en un fons mòbil, que permet donar independència a l'àrea del pretractament sec respecte a la de tractament humit, veure Figura 1. Aquest fons mòbil té la doble funció d'alimentar la línia de conducció del material als pùlpers, així com de dipòsit pulmó per alimentar en discontinu els pulpers.

Mitjançant una cadena de cintes transportadores, la fracció orgànica, procedent del fons mòbil, es condueix cap al tractament humit. L'última cinta és reversible permetent dues opcions:

- Descàrrega directament en el tractament humit (pùlpers).
- Descàrrega en una tremuja als túnels de compostatge, com a mesura d'emergència per quan el procés de biometanització no funcioni correctament.

El procés de tractament humit es realitza mitjançant dels homogeneïtzadors o pùlpers. El pretractament humit inclou dos pùlpers, on la fracció orgànica és manté en suspensió, així com un sistema mecànic per extreure les impureses de la fracció orgànica.

### 2.1. Pùlpers

En el pùlper (Figures 2) el residu es barreja amb aigua recirculada des del tanc d'aigua de procés, fins a aconseguir una barreja homogènia amb el contingut adequat en matèria seca (ST) (aprox.9% ST) per alimentar els hidrociclons i després els digestors.

El pùlper de 32m<sup>3</sup> de capacitat, amb capacitat de tractar aproximadament 9 tones de FORM, consisteix en un dipòsit metàl·lic d'acer de configuració cilíndrica i fons cònic i amb un agitador en forma d'hèlix en el seu interior. La fracció orgànica és carregada mitjançant cinta transportadora per la part superior del pùlper. L'agitador subministra potents forces de cisallament que provoquen la ruptura dels residus orgànics per preparar la suspensió

orgànica que passarà al procés de biometanització, passant prèviament per un procés d'hidrociclons per extreure les sorres.

A la part inferior del púlper hi ha un sistema d'extracció de pesats acumulats per gravetat. Aquest sistema l'integren dos cargols (un per púlper) d'extracció que aboquen els pesats a una cinta, que al seu torn descàrrega en una altra cinta, i que en el seu conjunt constitueixen el sistema d'extracció d'impureses. Aquest sistema ens permet l'eliminació d'elements pesats no desitjats per al procés de digestió anaeròbia que han arribat fins aquest punt després de la separació prèvia del pretractament sec. Aquesta cinta transportadora descarrega en un contenidor per al seu posterior transport a deposició controlada finalista.

A la part superior dels pùlpers també es compta amb un sistema hidràulic d'extracció de flotants o lleugers que completa el pretractament humit. Els flotants (fibra vegetal i plàstics principalment) són evacuats mitjançant una pinta hidràulica que extreu tota aquesta fracció que sura i es descarrega a un cargol i, finalment, va a una premsa deshidratadora comuna pels dos pùlpers que s'ha posat en funcionament aquest any 2019.

Cada batch del pulper triga uns 120 minuts de mitjana, després s'extreu la suspensió a través d'una malla de 10 mm i es dirigeix al GRS (Grit Removal System) on s'eliminen els inerts fins a 10 mm que encara podien quedar en la suspensió. Concretament, la suspensió passa per dos hidrociclons que funcionen en sèrie on s'eliminen aquests inerts de mida petita tipus sorra i, posteriorment, és conduïda a un dipòsit intermedi de suspensió que fa possible l'alimentació contínua al digestor. Els inerts separats es destinen a deposició controlada final juntament amb la fracció pesada del púlper.

El dipòsit intermedi d'una capacitat de 500 m<sup>3</sup> és denominat com a tanc d'hidròlisi on s'injecta una petita quantitat d'aire per poder realitzar el procés. El temps de residència de la suspensió orgànica al seu interior és d'aproximadament 1 dia. En aquest punt la suspensió orgànica conté 6.5-7 % de ST amb una mida de partícula inferior a 10 mm, en concret la proporció és d'un 52.2% < 250 µm, 5.8% 250-500 µm, 8.7% 0.5-1 mm, 6% 1-2 mm i 27.3% >2 mm.



Ja que els primers processos de digestió biològica comencen a donar-se des d'aquest punt en endavant, tots els elements en contacte amb la suspensió han d'estar fabricats amb materials resistent a la corrosió, en acer o en fibra reforçada de vidre. El tanc pulmó té un volum dimensionat per aconseguir alimentar el digestor de forma contínua quan el pretractament ha acabat de processar tot el material. D'aquesta manera les condicions de funcionament són el més estables possibles, les variacions de càrrega orgànica són menors, es redueixen les oscil·lacions de nivell en el digestor i la producció i qualitat del biogàs s'homogeneïtza.



**Figures 2.** Pulpers (foto esquerra). Detall interior pulper (foto dreta).

### 3. DIGESTIÓ ANAERÒBIA

El procés de digestió anaeròbica es realitza sota condicions mesofliques (36-38°C) en dos digestors de 3000m<sup>3</sup> de capacitat cadascun d'ells d'acord amb la capacitat de tractament de la Planta (Fig. 3).

Els digestors són del tipus "mescla completa" que aconseguen per la injecció del biogàs i la recirculació del digestat. Estan construïts en acer, formats per un cos principal cilíndric i una cúpula esfèrica. Al seu interior destaca l'absència d'elements mecànics o compartiments, excepte les canonades d'injecció de biogàs i les de buidatge. Aquesta

simplicitat de disseny facilita el manteniment i evita les aturades per avaria mecànica, impedeix les incrustacions i possibilita el moviment de la suspensió amb un consum energètic mínim en un entorn uniforme.

Els principals paràmetres de disseny i operació del digestor es resumeixen a continuació:

- Temps de retenció hidràulic: 15 -16 dies
- Concentració de matèria seca: 6 – 9 %
- Càrrega orgànica: 4 – 6 kg SV / (m<sup>3</sup> digestor dia<sup>-1</sup>)
- Eficiència: 45-50 % degradació de sòlids volàtils



**Figura 3.** Àrea de biometanització: digestors anaeròbics i motors de cogeneració

- **Sistema de barreja dels digestors**

El sistema d'agitació a l'interior del digestor es realitza injectant part del biogàs produït mitjançant un compressor de paletes refrigerat per aire per a cada digestor. Amb això s'evita la sedimentació de sòlids i garanteix les millors condicions de procés respecte a pH, temperatura i concentració de nutrients. El sistema de barreja consisteix en un conjunt de canonades, d'acer inoxidable, instal·lades en l'eix central i al perímetre del digestor que distribueix a pressió el biogàs a l'interior d'aquest i un compressor instal·lat per donar pressió al biogàs. El bombolleig del biogàs a l'interior del digestor provoca un arrossegament de material cap a la part alta. L'absència d'elements mecànics a l'interior facilita aquest moviment complet i dificulta la creació de "zones mortes" o d'incrustacions.

Així mateix també es van realitzar unes modificacions i millores en els digestors durant els anys 2014 i 2015, aprofitant el seu manteniment consistent en:

- Recirculació inferior individual a cada digestor per recircular el digestat.
- Recirculació superior que treballa alternativament per cada digestor.

- **Sistema d'escalfament dels digestors**

És necessari preescalfar la suspensió de residu fins a la temperatura de procés (37°C) i evitar el refredament per dissipació de calor. L'escalfament del digestor es realitza mitjançant un bescanviador de calor per cada digestor instal·lat fora del mateix pel qual circula contínuament la suspensió orgànica que s'alimenta al digestor.

L'intercanviador de calor té un segon circuit de canonades pel qual circula contínuament una solució aquosa que s'escalfa mitjançant l'aportació de calor del circuit de refrigeració de camises dels motors. El circuit aigua-aigua i la suspensió mai tenen contacte directe ni cap barreja.

La suspensió fresca s'introdueix directament a la sortida del circuit de l'intercanviador de calor, barrejant-se amb suspensió madura, parcialment digerida, que ha travessat el circuit

de l'intercanviador de calor. D'aquesta manera s'aconsegueix una bona alimentació de la suspensió fresca, aconseguint-se la temperatura òptima abans d'entrar en el digestor, evitant així caigudes de productivitat del digestor provocades per un xoc tèrmic. La suspensió ja escalfada entra al digestor per la seva banda inferior, a l'altura del sistema de reinjecció de biogàs i és arrossegada immediatament cap amunt i barrejada amb el contingut del reactor.

Els digestors estan equipats amb equips de control de temperatura abans i després del pas de la suspensió orgànica per l'intercanviador de calor i que també controlen el flux d'aigua calenta circulant en el mateix.

- **Seguretat dels digestors**

Els digestors estan equipats amb sondes de nivell d'ompliment i de pressió de material i del gas. En el suposat cas que fallessin totes les sondes i accidentalment el digestor s'omplís més del permès, cada digestor disposa d'un tanc amb sobreïdor per recollir el material en excés.

El sistema de seguretat per prevenir un excés de pressió, consta bàsicament d'un gasòmetre de membrana, una torxa de seguretat i dues vàlvules de seguretat instal·lades en el propi digestor, que permetrien un fuga d'emergència a l'atmosfera per pressió de ruptura.

Tots els equips estan equipats amb vàlvules i apagaflames. En cas d'incendi en un dels equips, la resta quedaria aïllat evitant la transmissió del foc. El sistema es complementa amb un equip de detecció de fuites i alarma de gasos a l'edifici de compressors de biogàs.

### ***3.1. Deshidratació del residu digerit***

La suspensió digerida és extreta mitjançant bombes directament al sistema de deshidratació dels sòlids. Per a la deshidratació de la suspensió s'usen tres cargols

deshidratadors de procés tancat. Aquests cargols estan interconnectats entre si per poder utilitzar indistintament qualsevol dels tres. La funció que tenen es poder separar el digestat en dos fraccions: una sòlida i altra líquida.

La fracció sòlida de sortida dels cargols deshidratadors té un contingut de sòlids d'entre 26-28%.

Per millorar l'eficàcia de la separació s'afegeix polielectròlit o floculant, aigües amunt dels cargols deshidratadors.

El líquid obtingut s'emmagatzema al tanc pulmó d'aigua de procés mentre que el fang separat és dirigit cap a la barreja amb astella de fusta per a la seva posterior maduració en túnels de compostatge.

### **3.2. Emmagatzematge del biogàs**

El biogàs produït s'emmagatzema temporalment per poder garantir un flux uniforme de biogàs a la planta de cogeneració en un gasòmetre de doble membrana amb una capacitat de 2000 m<sup>3</sup>. Es tracta d'un equip d'emmagatzematge a baixa pressió. L'equip és de construcció senzilla. Es basa en una esfera truncada fabricada en material sintètic (PVC-Poliéster-textil) ancorat sobre una fonamentació d'obra civil i protegit exteriorment per una altra membrana sintètica. Aquest material ha estat tractat per protegir-lo tant de les radiacions solars com de l'atac fúngic o bacterià. En l'espai situat entre les dues membranes queda una cambra d'aire que protegeix la capa interna de les variacions climatològiques.

L'equip es completa amb un equip de control amb sondes d'ompliment i diverses alarmes. Per alimentar els consumidors de biogàs es complementa amb dos soplants.

La instal·lació disposa d'una torxa per cremar el biogàs en cas de situacions excepcionals.

#### 4. COGENERACIÓ

El gas produït en la digestió es fa servir com a combustible en dos motors a gas Otto, de quatre temps, amb turbo-sobrealimentació de la barreja i refrigeració d'aquesta, amb sistema d'encesa de rendiment elevat i regulació electrònica per a la formació de la barreja i per a l'encesa de l'avantcambra, treballant segons el principi de barreja pobre.

Part de l'energia alliberada en la combustió del biogàs es transforma en energia elèctrica mitjançant dos alternadors síncrons trifàsics de 626 kWe, adaptats a cada motor.

Una altra part de l'energia tèrmica alliberada per la combustió es recupera escalfant la suspensió de residu mitjançant l'aigua del circuit de refrigeració de les camises del motor. Es disposa d'un intercanviador de plaques intermedi per evitar la contaminació de l'aigua del motor en cas de ruptura del canviador aigua/suspensió fresca.

L'excedent d'energia elèctrica generada s'exportarà en la seva totalitat a la xarxa de la Companyia Distribuïdora segons les condicions tècniques i econòmiques especificades per al grup b.7 pel RD 413/2014

Els dos motogeneradors es troben en un contenidor insonoritzat cadascú. El conjunt dels dos contenidors estarà cobert dins un recinte junt amb els sistemes auxiliars. El contenidor és capaç d'albergar un motor de 626 kWe incloent quadres de control, protecció i sincronisme, quadre d'auxiliars així com el quadre de potència.

Segons es disposa en el Decret 319/1998 (Annex 1, apartat 2.2.2. a), els límits d'emissions per a les instal·lacions de cogeneració per a motors de combustió interna que funcionen amb combustibles gasosos són:

SOx (mesurat com a SOTA <sub>2</sub> )	300 mg/Nm <sup>3</sup> (5% O <sub>2</sub> )
NOx (mesurat com NO <sub>2</sub> )	1500 mg/Nm <sup>3</sup> (5% O <sub>2</sub> )
CO	1000 mg/Nm <sup>3</sup> (5% O <sub>2</sub> )

Formaldehid

60 mg/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>)

## 5. COMPOSTATGE/ESTABILITZACIÓ I REFÍ

La fracció sòlida digerida obtinguda en els cargols deshidratadors es barreja amb estructurant de palet astellat en proporció en volum 3:1 (astella: digest) i és introduït en els túnels de compostatge. Aquests tenen una capacitat de 700 m<sup>3</sup> i el volum útil correspon un màxim de 250 m<sup>3</sup>.

Es disposen de 12 túnels de compostatge, dels quals 9 túnels es fan servir per la maduració, higienització i estabilització del digest i 3 túnels per realitzar un procés d'estabilització del rebuig.

En el cas dels túnels de digest i estructurant, el temps de residència és de 15 dies i en el cas de l'estabilització del rebuig, pot estar com a màxim una setmana.

Els mòduls de compostatge mantenen sempre la segregació de materials per a l'obtenció d'un compost de qualitat i una estabilització dels rebutjos per minimitzar els residus i deixar-los en condicions òptimes d'abocament o valoració alternativa.

La utilització del palet astellat és important com a material estructural per al procés de compostatge de les fraccions orgàniques en proporció en volum 2.5-3:1 (estructurant : digest). Aquest estructurant és alimentat a la barrejadora mitjançant pala carregadora juntament amb el digest en la proporció adequada.

L'entrada del material a compostar o estabilitzar en túnels es realitza mitjançant pala carregadora que, introduint-se a l'interior del túnel, procedeix a un ompliment homogeni dels mateixos.

El control de paràmetres del procés es fa per mitjà de sondes de temperatura, o bé de dispositius captadors de gasos (tant des de l'espai intersticial de la matriu en procés, com

des dels conductes de ventilació o l'atmosfera lliure de la part superior del túnel) sobre els quals s'analitza, sempre, el nivell d'oxigen. Aquestes mesures són transmèses a un autòmat programable que al seu torn les envia a un ordinador proveït d'un programa específic de control a través del qual es controla i rectifica a voluntat el procés mitjançant l'ús de ventilació forçada i reg. El banc de dades que va recollint la memòria de l'ordinador aporta valuosa acumulació d'informació puntual, l'estudi de la qual a llarg termini resulta molt útil per al coneixement i millora del procés del compostatge.

La ventilació (Figura 4) s'efectua, a través d'un fals sòl perforat, per sobrepressió (bufat), disposant-se de la possibilitat de recircular l'aire del procés. A fi d'aconseguir una regulació més ajustada es controlen els ventiladors mitjançant variadors de freqüència.



**Figura 4.** Galeria de ventiladors dels túnels de compostatge

La matriu sol introduir-se molt humida (normalment a un 55-60% d'humitat inicial), utilitzant-se com a reg els propis lixiviats produïts en anteriors ompliments del túnel i suplementats amb aigua si fos necessari. Això no sol representar cap problema greu de caiguda en anaerobiosis gràcies al sobredimensionament habitual de les turbines de



ventilació, però sí que poden produir-se lixiviats, els quals són recollits, conduïts a un dipòsit i reutilitzats per a la humectació del següent ompliment. Ja que és un circuit tancat, cap líquid surt del procés a l'exterior.

Els gasos insuflats o recollits del túnel i que no es desitgen reutilitzar són conduïts a sistemes depuradors. En el present cas es preveu un sistema de rentat químic i humectació previ al pas als biofiltres.

Després del temps de residència d'aprox. 15 dies en túnels el material es treu amb pala fins a l'àrea de refí situada a la nau d'emmagatzematge. Finalitzada aquesta etapa, el compost afinat passa a l'emmagatzematge previ a l'expedició.

El sistema informàtic que controla tot el procés constitueix un altre nucli clau del sistema. Proveït d'una maquinària d'última generació i màxima qualitat, i equip S.A.I. que protegeix el sistema de control de variacions de la tensió. Inclou un "scada" altament especialitzat i amb un programari, flexible, modulad en jerarquia i específicament dissenyat per a aquest fi.

## **6. REFÍ DEL COMPOST I EMMAGATZEMAMENT**

Un vegada completada la fermentació del compost en túnel, es procedeix a l'afinat final del producte als efectes d'eliminar els elements impropis que poden perjudicar la qualitat del compost final, així com el seu aspecte i valor comercial.

El compost madurat procedent dels túnels arriba fins la zona de refí mitjançant pala carregadora. Aquesta és l'única fracció que se sotmet al procés de refí. La barreja de rebuig estabilitzat després del seu pas pels túnels no se sotmet a cap tipus d'afinat. La pala carregadora transporta el material fins a un alimentador de doble cargol, a partir del qual, mitjançant les cintes transportadores portarà el material fins una garbella vibrant. La garbella té una malla d'entre 10 i 15 mm, segons la granulometria que es vulgui obtenir. Les fraccions resultants d'aquesta garbella són les dos següents:

- Fracció granulomètrica superior a 10/15 mm el qual cau directament en un espai d'emmagatzematge intermedi. Aquest producte està format, per l'astella de fusta que es fa servir com a estructurant i se'n recircula el 100%.

- Fracció granulomètrica inferior a 10/15 mm (passant de garbella), és recollida per una cinta, d'on passarà a l'alimentador vibrant de la taula densimètrica. L'alimentador vibrant compleix la funció de preparar el producte de forma distribuïda per afavorir l'òptim funcionament de la taula densimètrica, que al seu torn genera diverses fraccions diferenciades:

- Producte acabat que es descarrega en un espai mitjançant cinta transportadora. Després amb la pala carregadora es distribueix en piles per la seva futura expedició.
- La fracció de materials pesants que en el cas del procés d'aquesta planta, no es genera aquesta fracció ja que el material surt molt net del procés de digestió anaeròbia.

## **7. TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS**

Totes les aigües residuals que es generen a la Planta són gestionades externament. Actualment la depuradora d'aigües residuals es troba fora de servei.

## **8. TRACTAMENT D'AIRE I DESODORITZACIÓ**

En diversos punts de la planta, es produeixen episodis de males olors a causa de l'activitat exercida. Per tant, per a l'aire i els gasos generats en totes les zones crítiques de la planta s'ha previst una instal·lació de captació i conducció a un sistema mixt de tractament químic i depuració biològica. Aquest tractament d'aire està preparat per tractar  $100000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . La captació es realitza en els punts més pròxims possibles a les fonts d'olor inclosa captacions localitzades d'equips, això obliga a disminuir l'altura dels punts de captació fins al focus d'olor. Tant els túnels com les naus es mantenen tancades i en depressió per evitar la sortida d'aire viciat a l'exterior.

L'aire s'aspira de les naus mitjançant dues xarxes que condueixen l'aire cap als biofiltres. Part d'aquest aire és utilitzat com a aire fresc d'entrada a túnels amb l'objecte de minimitzar la quantitat d'aire a tractar.

### **8.1. Tractament químic**

Aquest tractament s'aplicarà com a tractament previ al tractament biològic.

Donada la gran concentració de  $\text{NH}_3$  especialment i la possibilitat de  $\text{H}_2\text{S}$  i COV en el gas a tractar, s'ha previst, que l'absorció del gas contaminant s'efectuï en contracorrent a l'interior de dos scrubber (un d'ells àcid, i un altre alcalí) on el líquid de rentat (una solució de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  per a la 1<sup>a</sup> etapa i de  $\text{NaOH} + \text{NaClO}$  per a la 2<sup>a</sup>) és dispersat i uniformement repartit per mitjà de distribuïdors, de gran pas, fàcilment desmuntables per a la seva revisió o canvi, Figura 5. Amb això es pretén disminuir la concentració de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  i COV i enviar el gas tractat al biofiltre.

El procés consisteix en:

- En una primera etapa àcida, mitjançant un scrubber d'alt rendiment, s'eliminen els derivats del nitrogen. El control del pH i l'addició de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (o un altre àcid a emprar) es realitza de forma automàtica per mitjà d'un mesurador de pH i bomba dosificadora, que aspira d'un dipòsit pulmó.
- En una segona etapa es produeix l'oxidació amb  $\text{NaClO}$  (o un altre agent oxidant) al mig alcalí ( $\text{NaOH}$  generalment), de manera que es generen  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Com a conseqüència de la reducció del  $\text{NaClO}$ , el  $\text{Cl}_2$  que es forma es fixa en el mig alcalí formant  $\text{NaCl}$  i  $\text{NaClO}$ . El control de l'oxidació-reducció es realitza automàticament mitjançant un mesurador de potencial redox i l'alcalinitat del mig mitjançant un mesurador de pH.
- Una tercera etapa de neutralització que ajusta les condicions de l'aire de sortida consistent en un humidificador. La humectació o rentat del gas s'efectua en

contracorrent amb el líquid de rentat dispersat i uniformement repartit per mitjà de distribuïdors o polvoritzadors de gran pas, fàcilment desmuntables per a la seva revisió o canvi

Existeixen tres dipòsits que emmagatzemen els diferents reactius químics que s'empren en el sistema de tractament d'aires, els quals contenen respectivament el  $H_2SO_4$ ,  $NaClO$  i  $NaOH$  amb les seves respectives bombes de dosificació.



Figura 5. Instal·lació de tractament de l'aire (rentadors químics àcid i bàsic; humidificador)

## 8.2. Tractament biològic

El Tractament Biològic de Gasos es fonamenta en la capacitat que tenen alguns microorganismes aeròbics naturals per descompondre les substàncies que contenen el gas a tractar, bàsicament en  $CO_2$ ,  $H_2O$  i diverses sals. Aquests microorganismes s'autoactiven i es reproduïxen en el seu de suport (el llit filtrant o biomassa) sempre que es donen les condicions de temperatura i humitat apropiades que correspon a un 50-70% d'humitat, una temperatura inferior a  $35^{\circ}C$  i un pH de 6-8. En el cas de la Planta, el rebliment fet servir és bruc (Figura 6). Per tant, seleccionant el suport adequat i mantenint les condicions

ambientals correctes, la colònia de microorganismes s'activa i es manté en funció del gas. No es tracta, a diferència d'altres tecnologies, d'introduir en el mig els microorganismes, sinó que ja estan presents en el llit filtrant; tan sols hem de crear les condicions per al seu desenvolupament.

Per a un bon funcionament del biofiltre es requereix un pretractament inicial del gas a tractar, amb la finalitat de deixar-ho en condicions òptimes, sense partícules de pols i sense alguns components tòxics que podrien destruir la població de microorganismes, o inhibir la seva activitat biològica. La dita instal·lació es fonamenta en un procés de tractament dels gasos en una torre d'humidificació vertical, en el que s'aconsegueix el grau d'humitat, temperatura i composició adequats per procedir al tractament biològic posterior, en concret amb una concentració d'humitat 95-100%, de temperatura  $<35^{\circ}\text{C}$  i pH 6-8.



**Figura 6.** Detall del rebliment de bruc del Biofiltre

**ANNEX II. CARACTERÍSTIQUES DELS COSUBTRATS**



## 9. RESIDU D'UNA PLANTA DE TRACTAMENT DE RESIDUS ORGÀNICS COMERCIALS

Informació facilitada per l'empresa per conèixer el cosubstrat proporcionat per poder determinar les mides dels impropis i el tamís òptim de separació.

### DISTRIBUCIÓ DE MIDES D'IMPROPIS INORGÀNICS AL BIOPULP

El biopulp és el producte obtingut al processar la matèria orgànica que ens arriba a planta amb embalatge mitjançant un "depacker". La separació dels diferents tipus d'embalatges s'aconsegueix fent passar la matèria orgànica pel tamís que té el "depacker", amb forat de pas de 12mm. Els diferents tipus de impropis que podem trobar són plàstics, paper, vidre, metall, etc.

Per caracteritzar la distribució de mides de les partícules que poden romandre al biopulp (partícules inorgàniques i orgàniques) es fan servir tamisos de diferents mides de llum, concretament de : 8mm, 4mm, 3mm i 2mm. Una vegada filtrat el biopulp es tindrà en compte només els impropis inorgànics fent un triatge manual dels mateixos.

Per tenir unes dades del dipòsit d'expedició del biopulp higienitzat, s'utilitza un presa mostres situat a la canonada d'expedició del producte.



Figura 1. Disposició de filtres segons mides.



Figura 2. Biopulp per analitzar M1



Figura 3 Tamis 8mm



Figura 4 Tamis 4mm



Figura 5 Tamis 3mm



Figura 6 Tamis 2mm

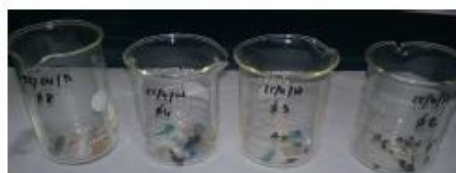


Figura 7 Impropis inorgànics per cada tamis





Figura 8 Blopulp per analitzar M2



Figura 9 Tamis 8mm



Figura 10 Tamis 4mm



Figura 11 Tamis 3mm



Figura 12 Tamis 2mm



		M1				M2			
<b>CONTINGUT DE MATERIA SECA</b>	Després del Depacker	29.76%				26.96%			
	<b>IMPROPIS</b>								
	Impropis inorgànics (g) en 1 kg de mostra humida	> 8 mm	> 4 mm	>3 mm	>2 mm	> 8 mm	> 4 mm	>3 mm	>2 mm
		0.0514	0.1765	0.0946	0.1171	0.3838	0.3783	0.0369	0.0825
	Total impropis inorgànics (g) en 1kg de mostra humida	0.4396				0.8815			
	Impropis inorgànics en mostra humida	0.044%				0.086%			
	Impropis inorgànics en mostra seca	0.14%				0.32%			

Aquesta caracterització s'ha posat en marxa fa relativament poc i es per aquest motiu que els resultats, fins ara obtinguts, eren tenint en compte el recompte d'impropis únicament amb el tamis de 2mm fet que no ens permetia conèixer la distribució de mides dels impropis inorgànics. Afegir que en aquest mostreig concret la matèria orgànica passada pel depacker no era tota amb 100% embalatge per tant serà una dada a tenir en compte en estudis posteriors.

## Resultats Biopulp

data	H%	Materia Seca%	Greix de la MS %	Impropis %
03.01.2017	73,62	26,38	10,66	0,68
04.01.2017	76,41	23,59	11,4	0,32
11.01.2017	72,26	27,74	9,86	0,47
12.01.2017	74,38	25,62	11,15	0,23
17.01.2017	80,36	19,64	5,8	0,72
19.01.2017	80,06	19,94	9,96	0,21
23.01.2017	84,89	15,11	4,18	0,56
25.01.2017	78,21	21,79	9,45	0,17
26.01.2017	76,72	23,28	8,84	0,31
26.01.2017	75,95	24,05	8,55	0,07
30.01.2017	74,7	25,3	8,89	0,61
01.02.2017	77,36	22,64	8,55	0,33
03.02.2017	79,08	20,92	7,13	0,64
06.02.2017	74,82	25,18	6,24	0,42
07.02.2017	80,27	19,73	6,72	0,16
08.02.2017	79,89	20,11	5,44	0,09
09.02.2017	78,72	21,28	7,64	0,24
10.02.2017	78,51	21,49	7,47	0,16
13.02.2017	76,23	23,77	8,31	0,33
15.02.2017	79,64	20,36	6,68	0,2
16.02.2017	72,06	27,94	7,39	0,17
17.02.2017	80,24	19,76	7,87	0,19
22.02.2017	82,74	17,26	3,85	0,06
23.02.2017	73,55	26,45	13,86	2
24.02.2017	81,31	18,69	5,4	0,12
24.02.2017	80,65	19,35	5,22	0,55
27.02.2017	82,03	17,97	6,88	0,48
28.02.2017	67,85	32,15	9,85	0,02
02.03.2017	80,42	19,58	6,31	0,14
03.03.2017	71,37	28,63	16,31	0,07
10.03.2017	82,48	17,52	6,43	0,14
15.03.2017	80,87	19,13	6,5	0,07
16.03.2017	73,79	26,21	10,13	0,17
17.03.2017	77,67	22,33	6,16	0,14
22.03.2017	78,16	21,84	9,48	0,3
23.03.2017	82,22	17,78	6,4	0,06
24.03.2017	70,36	29,24	21,92	0,52
29.03.2017	77,44	22,56	9,75	1,55
30.03.2017	78,42	21,58	7,75	0,73
31.03.2017	78,75	21,25	9,83	0,43
04.04.2017	79,13	20,87	8,79	0,12
05.04.2017	76,81	23,19	9,79	1,32
06.04.2017	76,93	23,07	9,79	0,5
07.04.2017	74,14	25,86	12,49	0,16
11.04.2017	71,61	28,39	15,54	0,71
12.04.2017	70,08	29,92	15,82	1,26
13.04.2017	70,96	29,04	17,16	0,49
19.04.2017	72,94	27,06	14,32	0,2

## 10. AIGUA RESIDUAL DE LA DESTIL·LACIÓ GLICEROL:AIGUA

Informació facilitada per l'empresa per conèixer el cosubstrat proporcionat.

### Descripció/Comentaris de la mostra:

DWA GLICERINA 20%  
01/02/16

Paràmetres realitzats	Resultat	Unitats	Mètode
Demanda química d'oxigen	422264	mg O <sub>2</sub> /l	UNE 77-004-89
Matèries en Suspensió	<2	mg/l	UNE-EN 872
Nitrogen Orgànic i Amoniacal (kjeldahl)	1154,0	mg/l	UNE EN 25663
Fòsfor total	<1	mg/l	PNT-042/ICP-MS
pH	9,8	pH	Electrometria
Sals solubles	1603,0	µS/Cm	Conductivimetria
Amoni	1074,29	mg/l	STM 4500 NH3-H
Olis i Greixos	88	mg/l	STM 5520 B
Clorurs	113,26	mg/l	UNE-EN ISO 10304-2
Nitrats	2,92	mg/l	UNE-EN ISO 10304-2
Demanda bioquímica d'oxigen	71878	mg O <sub>2</sub> /l	STM 5210 B
Nitrits	2,22	mg/l	UNE-EN ISO 10304-2
1,4-Dioxà	<50	µg/l	HRGC-MS

**ANNEX III. BALANÇOS DE MATÈRIA DE LA PLANTA AMB ELS COSUBSTRATS**



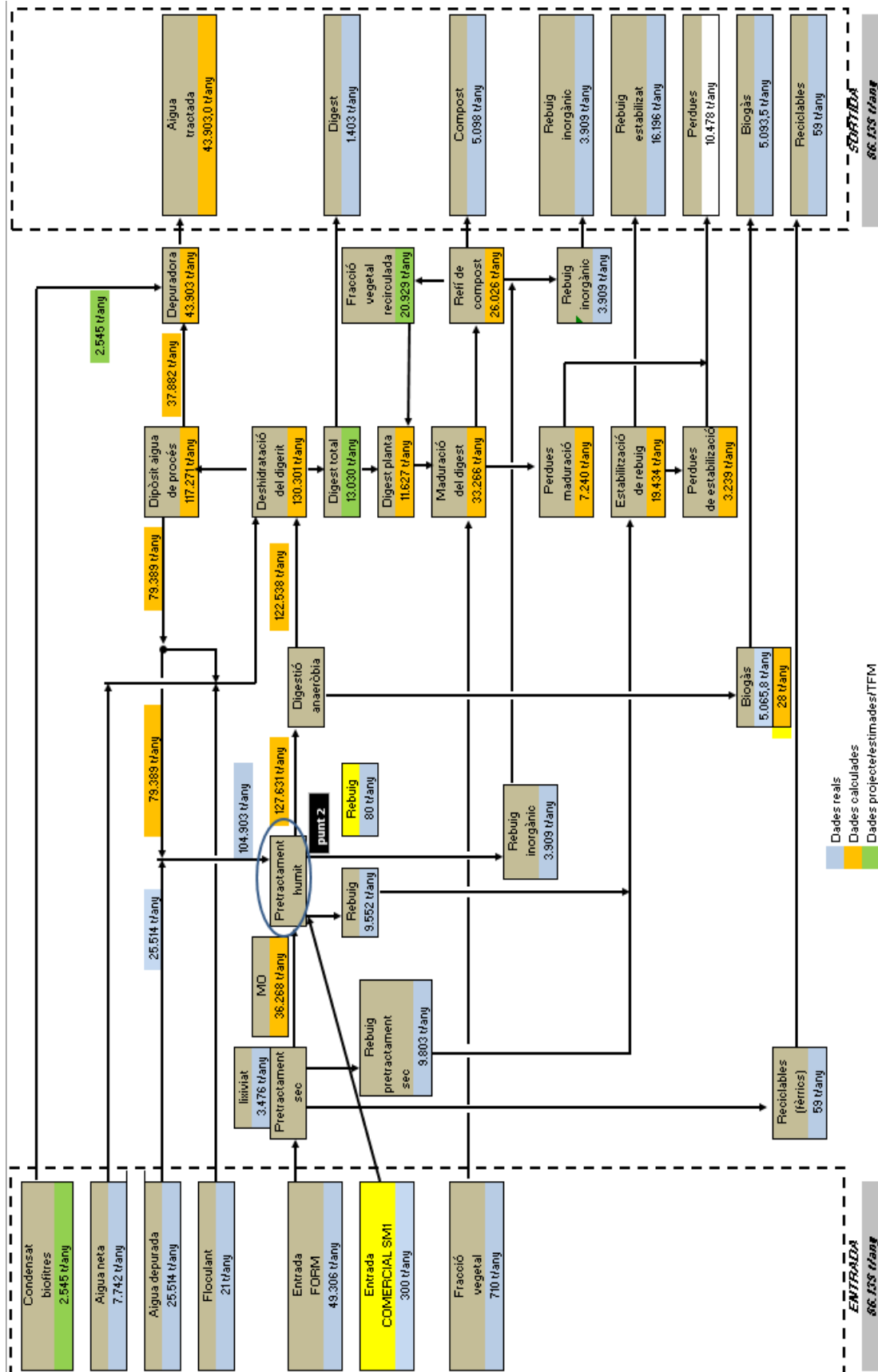


Figura 7. Balanç de matèria de la Planta amb SM1

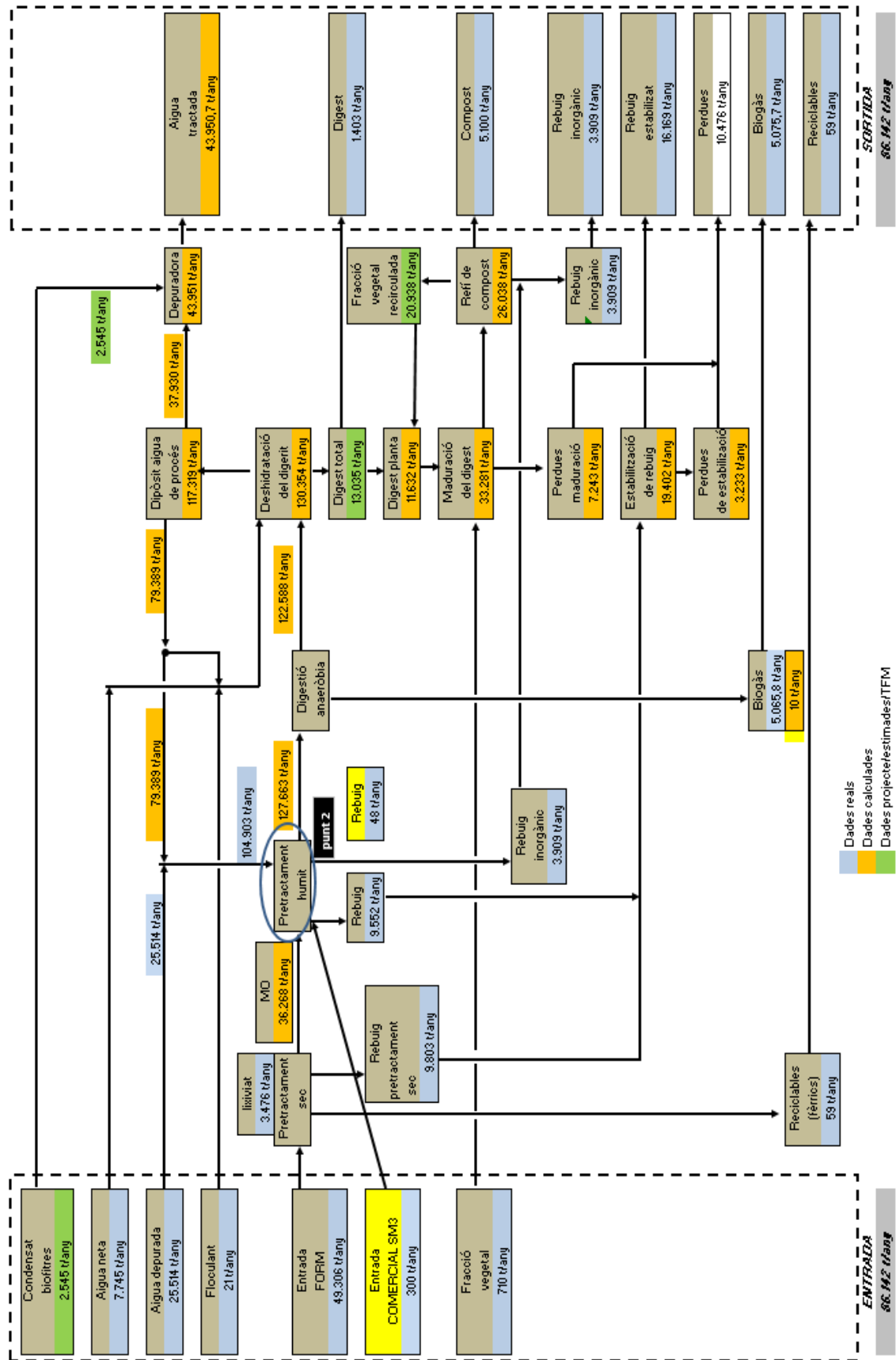


Figura 8. Balanç de matèria de la Planta amb SM3

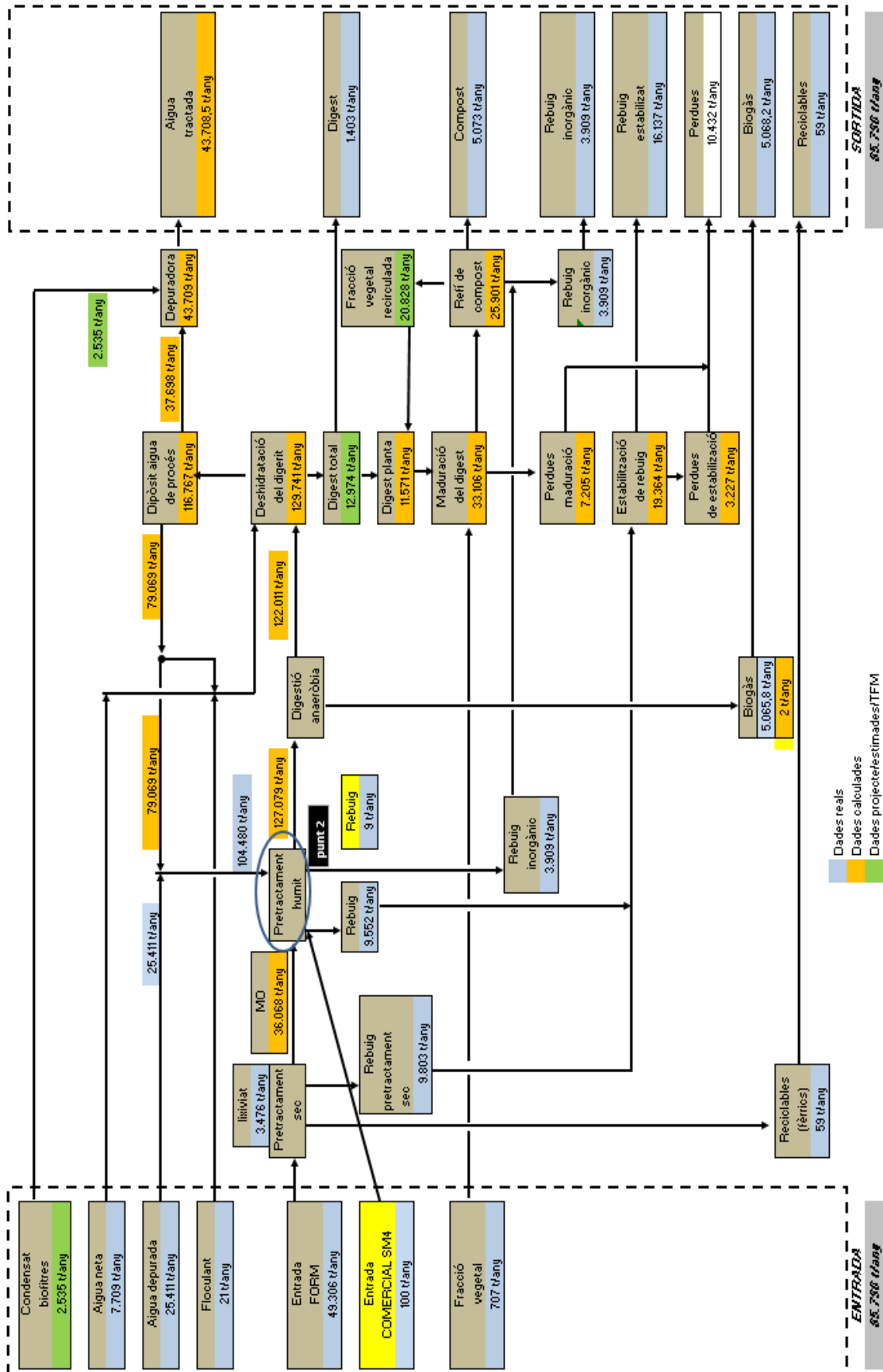


Figura 9. Balanç de matèria de la Planta amb SM4



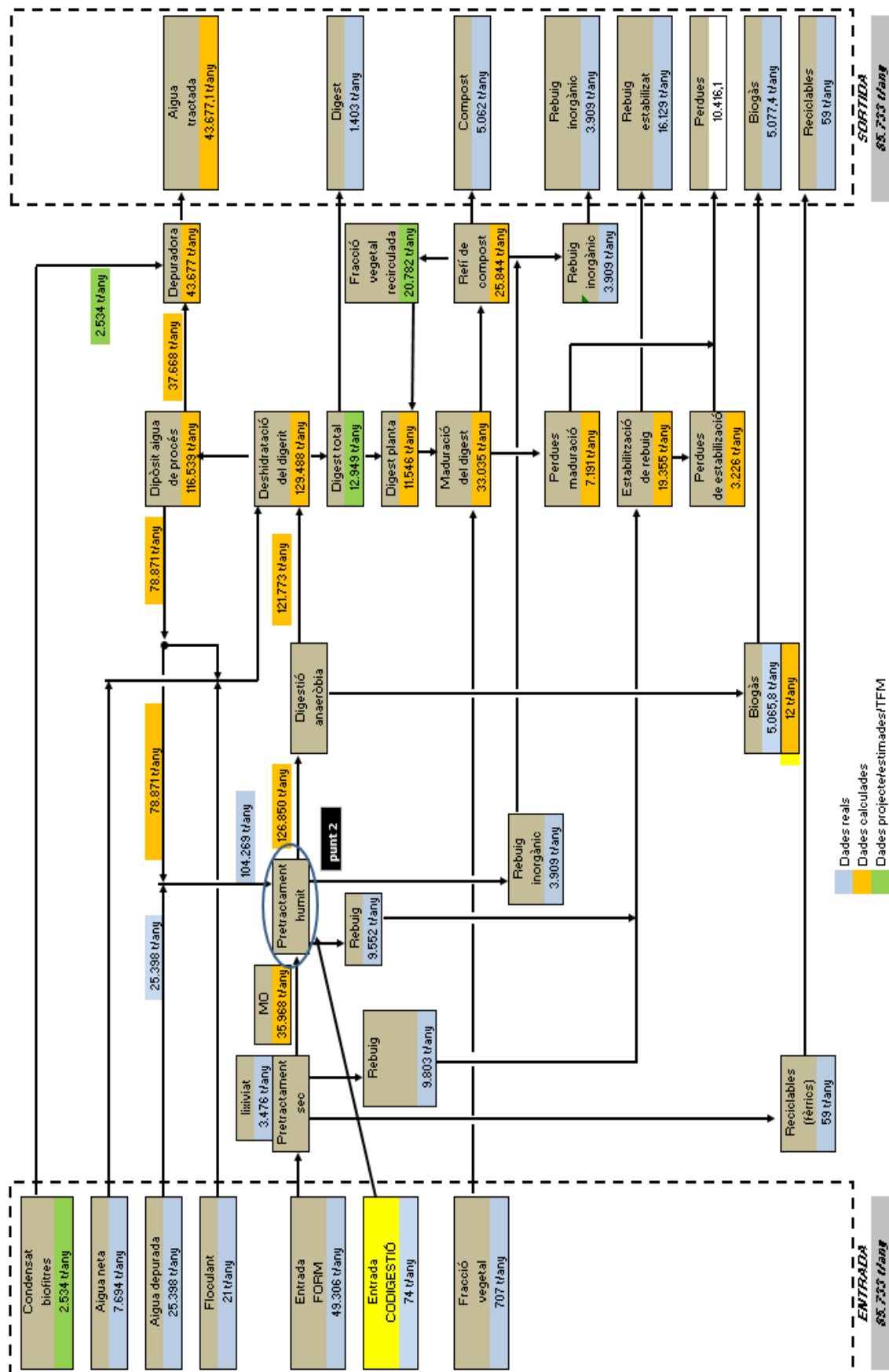


Figura 10. Balanç de matèria de la Planta amb residu de lasanya (només pasta)

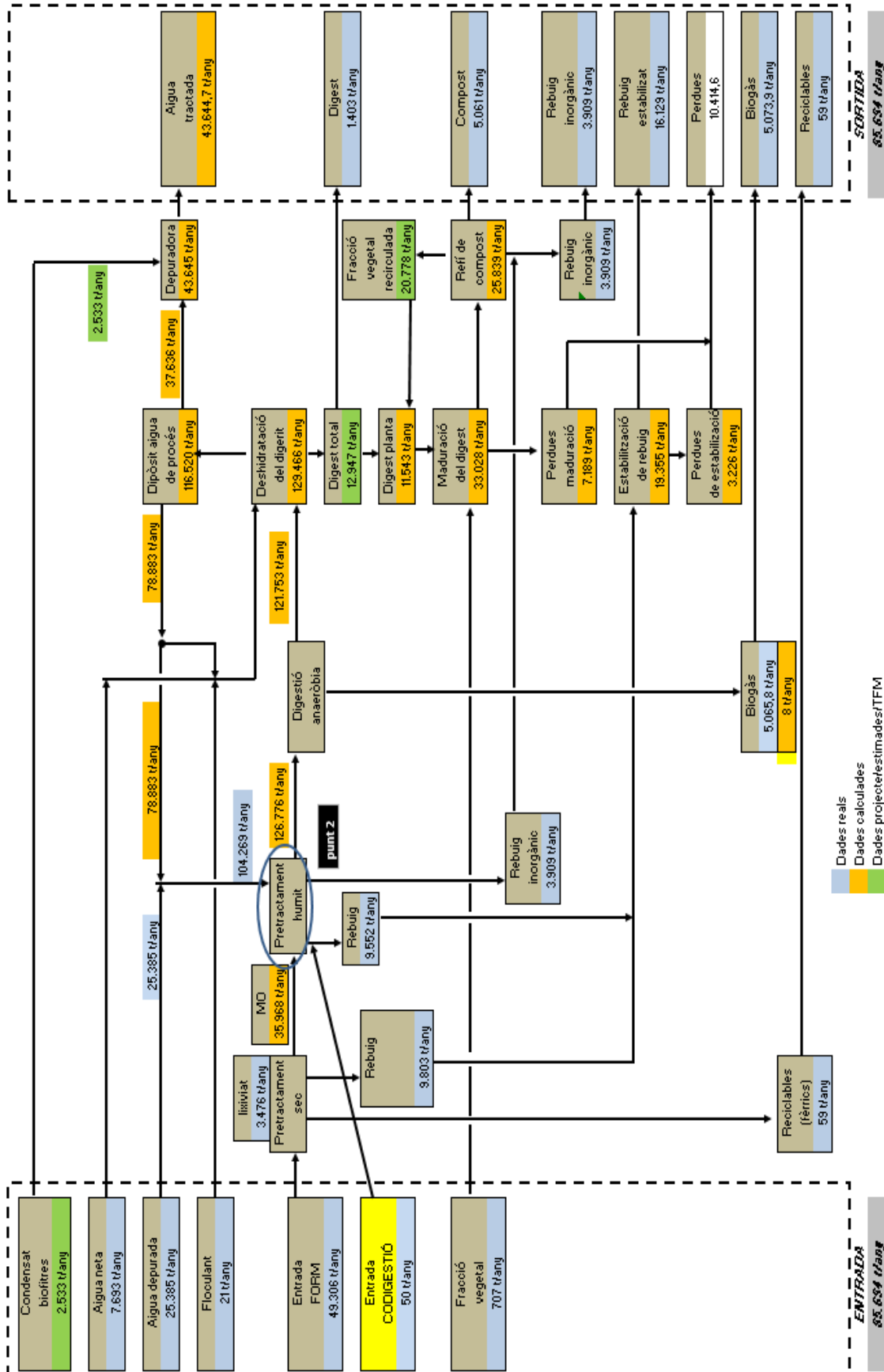


Figura 11. Balanç de matèria de la Planta amb residu de l'empresa de patates (peles)





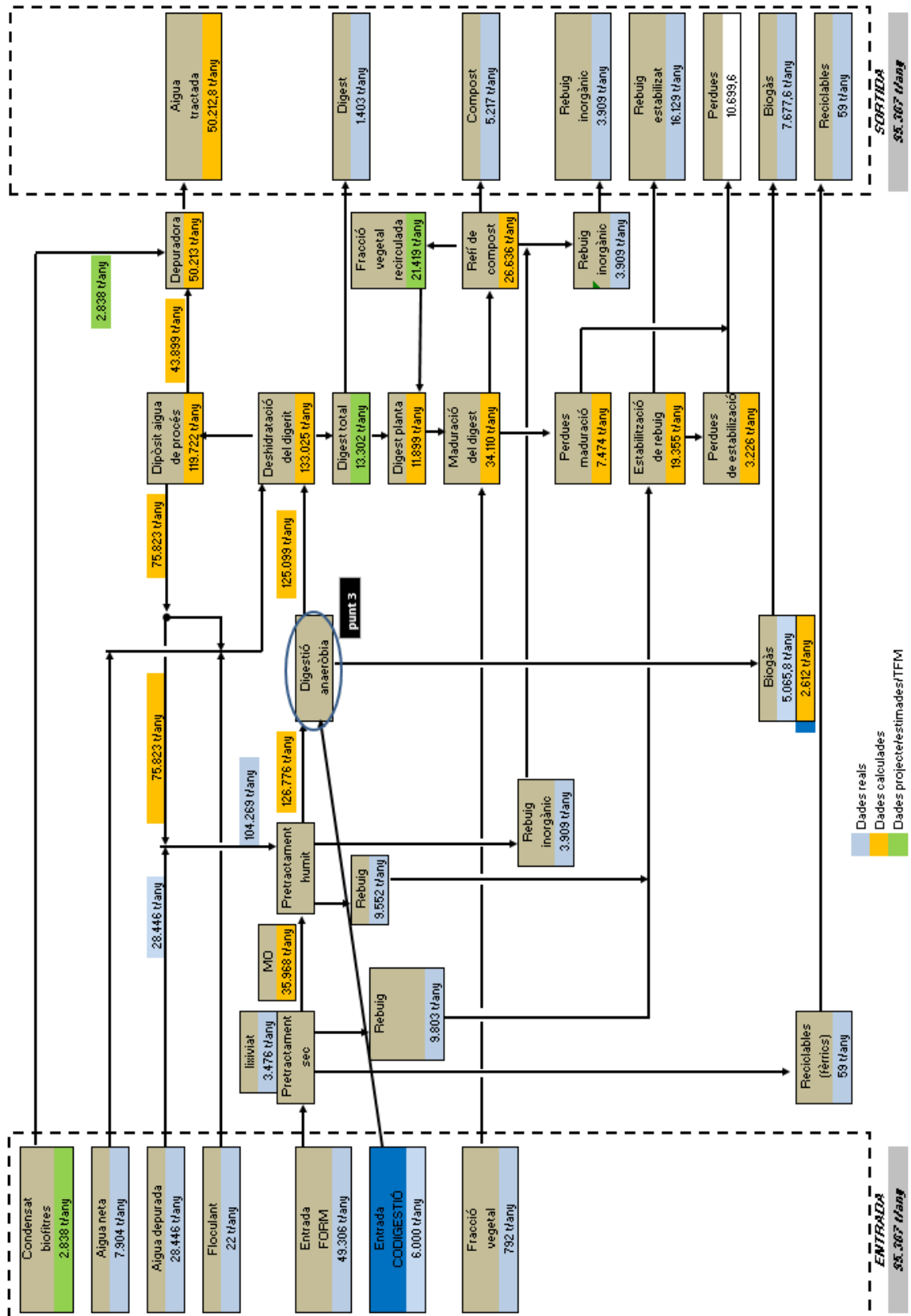


Figura 14. Balanç de matèria de la Planta amb aigua residual de la producció de biodièsel (aigua residual destil·lació) 1% dilució. Residu d'una planta de tractament de residu alimentari comercial (tamisat).



## ANALITICA GAS (PCI) – RSU GRANOLLERS

De acuerdo con este documento CATERPILLAR ENERGY SOLUTIONS certifica que el PCI obtenido de la muestra de gas 7026248 del 15/03/2018 de acuerdo a los resultados obtenidos en la analítica B180204896 realizados bajo la normativa, es:

**PCI**  
**INFERIOR** 6,70 kw\*h/Nm<sup>3</sup>

Report no. B180204896 / 15.03.2018			
Parameter	unit	result	100 % CH4
<b>Main components</b>			
Methane	vol. %	67,1	-
Carbon dioxide	vol. %	32,2	-
Oxygen	vol. %	0,2	-
Nitrogen	vol. %	0,4	-
<b>Inorganic trace gases</b>			
Ammonia	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,2	< 0,3
Hydrogen sulphide	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1070	1595
<b>Halogenated Hydrocarbons</b>			
Dichlorodifluoromethane (F12)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Vinylchlorid	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Trichlorofluoromethane (F11)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1-Dichloroethene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Dichloromethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane (F113)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
trans-1,2-Dichloroethene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1-Dichloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
cis-1,2-Dichloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Trichloromethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,2-Dichloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1,1-Trichloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Tetrachloromethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Trichloroethene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1,2-Trichloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Tetrachloroethene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
1,1,1,2-Tetrachloroethane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
<b>BTEX</b>			
Benzene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,1	0,2
Toluene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2,1	3,1
Ethylbenzene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1,0	1,4
m-p-Xylene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1,2	1,8
p-Xylene	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,3	0,5
<b>Silicon compounds</b>			
Tetramethylsilane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Trimethylsilanol	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Hexamethyldisiloxane (L2)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Hexamethylcyclotrisiloxane (D3)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Octamethyltrisiloxane (L3)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Octamethylcyclotetrasiloxane (D4)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,2	0,3
Decamethyltetrasiloxane (L4)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 0,1	< 0,1
Decamethylcyclopentasiloxane (D5)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,9	1,3
Sum silicon compounds (calc.)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1,1	1,6
Sum silicon (calc.)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,4	0,6
<b>Hydrocarbons</b>			
> n-Pentane, ≤ n-Decane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	276	411
> n-Decane	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2997	4466
<b>Total Cl, F, S content (Wickbold)</b>			
Total Fluorine	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 2,1	< 3,1
Total Chlorine	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	< 2,1	< 3,1
Total Sulphur	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1030	1535
VOC, (except methane)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	3290	4903
TOC, (except methane)	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2750	4098

Figura 16. Analítica del biogàs

**ANNEX IV. PRESSUPOSTOS INVERSIONS**







Fecha oferta	20/07/16	Cliente	CONSORSI RESIDUS DEL VALLES ORIENTAL
Número	JG160720		Camí Rial, s/n
Base	Cervisimag Barcelona, S.L.		08401 GRANOLLERS (Barcelona)
Vendedor	Jordi Garcia Freixes	Contacto	Vanessa Abad
Telefono	670420238	Teléfono	605815806
E-mail	jordi@cervisimag.com	E-mail	<a href="mailto:vabad@cresidusvo.cat">vabad@cresidusvo.cat</a>

### Descripción oferta

	<b>MAQUINA BASE - PRETRITURADOR VZ750D</b>	
1.2	Motor electrico	
1.3	Ejes de trabajo polivalentes para madera, plásticos y basura Longitud de eje : 1750 mm.	
1.4	Cinta de expulsión , altura de expulsión : 4.800 mm. Regulación hidráulica , descenso hasta: 3.500 mm. Ancho de cinta : 1.200 mm. Chasis de cinta : Galvanizado	
1.5	Tolva de alimentación	
1.6	Cintra magnetica	
1.7	Mando a distancia con 10 canales con Parada de emergencia	
1.8	Peso de la maquina sin cinta magnética 16 Tn	

<b>PRECIO OFERTA MAQUINA</b>	<b>285.000 €</b>
------------------------------	------------------

IVA: 21 % no incluido  
Plazo de entrega de la maquina inmediato  
Portes: material puesto en instalaciones del cliente

Cervisimag Barcelona, S.L.

Conforme Cliente,



## Ecoparc Granollers

### OFERTA PARA LA CONSTRUCCION DEPOSITO BUFFER DE 500M3 DE CAPACIDAD, EN LA PLANTA DE ECOPARC GRANOLLERS

Sabadell, 03 de SEPTIEMBRE de 2018

*REF.- FM/2018/0901 REV 0*



## 1. OBJETO

La presente oferta es para la construcción de un nuevo deposito buffer, de idénticas características al 25BB001 añadiendo el sistema de lanzas y la puerta de acceso de 2\*2, en la Planta de Ecoparc Granollers.

Se indicará los diferentes trabajos y servicios a desarrollar para la realización del proyecto citado, así como establecer los costes y las condiciones asociadas al mismo.

Las principales actividades que se incluyen en los servicios de EMYPRO S.A. para el presente proyecto son las siguientes:

- Ingeniería de detalle de tanques y accesorios.
- Plan de Seguridad y salud.
- Gestión de compras
- Suministro de materiales
- Prefabricación en taller
- Transporte de materiales
- Montaje del tanque.
- Supervisión de obras.
- Pruebas de estanqueidad.
- Plan de Calidad.

## 2. BASES DE LA OFERTA

### 2.1 Datos de base

Para la preparación de la presente oferta se ha tomado como base la información facilitada por Ecoparc Granollers.

### 2.3 Códigos, Normas y Reglamentos

El tanque se realizará según código constructivo API 650 y ASME donde sea de aplicación.

Todo el proyecto se realizará de acuerdo con las normativas y reglamentaciones aplicables en ESPAÑA y en vigor a fecha de firma del contrato.



### **3. DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

Según la información facilitada, el proyecto consistirá en la construcción o reparación de un tanque pulmón de almacenamiento (Diám 9mts y altura virola 8,7mts) .

### **4. ALCANCE DE LAS PRESTACIONES**

Las obligaciones de EMYPRO S.A. corresponden a los servicios necesarios para la construcción del depósito en acero al carbono de idénticas características al actual 25BB001.

#### **4.1 Ingeniería de tanques**

Los trabajos a desarrollar corresponden a los de una ingeniería para un tanque clásico, basada en la realización de los cálculos de dimensionado y la ejecución de los planos constructivos de acuerdo con las bases de diseño que se han definido por parte de EG para la realización de los mismos.

#### **4.2 Dirección de la obra de construcción / reparación del tanques**

En el ámbito de la Dirección de construcción del tanque, se realizarán las siguientes funciones:

- Plan de control de calidad.
- Programa de puntos de inspección.
- Visitas de seguimiento de la obra y del planning.
- Reuniones de coordinación y seguimiento.
- Procedimientos y coordinación de los ensayos no destructivos
- Velar por el cumplimiento de la normativa de Seguridad y Salud.
- Elaboración de la documentación as-built del tanque (dossier de calidad y planos según requerimientos de EM)

#### **4.3 Documentación**

Toda la documentación del proyecto y actividades asociadas se ha previsto emitir en Español.

Se incluye el siguiente suministro:



- Un máximo de tres ejemplares de toda la documentación.
- Una copia en soporte informático de los planos "As built" realizados en Autocad

#### **4.4 Construcción**

La construcción de los tanques de almacenamiento de acuerdo con los requerimientos del proyecto incluye:

- Verificación de la ejecución de las cimentaciones de acuerdo con el código API 650 .
- Suministro y ejecución del tanque.

EG habilitará en obra los viales necesarios para el acceso a la zona de trabajo y acopio de materiales.

EG acondicionará adecuadamente la zona de montaje para poder circular y maniobrar con seguridad en el perímetro del tanque.

EG pondrá a disposición de EMYPRO una zona anexa a la zona de montaje para el acopio de materiales y casetas de obra (contenedores, oficinas, servicios, etc.)

#### **5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Las características técnicas tales como; tipo de material, espesores de chapas, pesos, etc, se relacionan en las hojas de cálculo ver anexo I.

#### **6. EXCLUSIONES**

Nuestra intervención se limita a los servicios y suministros especificados anteriormente y en particular no comprende:

- Trabajos de Obra Civil, electricidad e instrumentación.
- Desguace del tanque existente
- Agua para la realización de la prueba hidráulica.
- Agitadores y elementos mecánicos.
- Tratamientos superficiales en obra ( se incluye en la presente oferta Chorro+ imprimación en taller de fondo, techo y cuerpo por el exterior ).
- Traceado eléctrico.
- Valvulería e instrumentación no especificada en la presente oferta.
- Elaboración de estudios o informes sobre aspectos que excedan de los ofertados.



- Actuaciones tales como dictámenes o evaluaciones que la administración tiene asignadas a empresa autorizadas que excedan las requeridas por código constructivo.
- Manuales de operación.
- Tasas oficiales ante Organismos Oficiales competentes y gastos de Visado de los Colegios Profesionales.
- Gestión de los residuos en tanques una vez realizada la prueba de estanqueidad.

Un aumento, disminución o cambio en el alcance de los servicios descritos, dará lugar a un aumento o disminución, una vez estudiado y valorado, de su incidencia en el montante de la oferta.

#### **7. PLAZO DE EJECUCIÓN**

La fecha de inicio de la construcción sería durante el 2019 con un plazo de realización de los trabajos de construcción a convenir.

#### **8. PRECIOS Y CONDICIONES ASOCIADAS**

Las condiciones económicas para la ejecución de los trabajos antes descritos serán las siguientes:

##### **8.1.- PRESUPUESTO**

<u>IMPORTE TOTAL DEPOSITO .....</u>	<u>140.000,0 €</u>
<u>IMPORTE SISTEMA DE LANZAS .....</u>	<u>45.000,0 €</u>
<u>IMPORTE PUERTA ACCESO 2*2 .....</u>	<u>16.500,0 €</u>
<u>IMPORTE CALORIFUGADO (CUERPO/TECHO 50mm lana roca/Aluminio ondulado) .....</u>	<u>45.000,0 €</u>

NOTA: Incluye fabricación e instalación de las mismas tubuladuras existentes en Acero al carbono en el tanque actual.

NOTA: Incluye chorreado e imprimación exterior  
Excluido: Chorreado e imprimación interior  
Repasos en obra y resto de tratamiento a aplicar no incluido.



## **8.2 Términos y condiciones de pago**

A convenir.

## **8.3 Validez de la oferta**

Para los trabajos de montaje, la validez de la presente oferta es de 5 meses.

Para los suministros de material, la validez de la oferta es de 30 días.

## **9. CONFIDENCIALIDAD**

EMYPRO S.A. acepta mantener en secreto y no usar para otros menesteres más que para los trabajos a realizar, toda la información técnica y planos a que se tenga acceso para la ejecución del mismo. En caso de adjudicación se acordarán los procedimientos a seguir para asegurar la citada confidencialidad.

## **10. GARANTÍAS**

EMYPRO S.A. garantiza a EM , la correcta ejecución de todos y cada uno de los trabajos, que realice en cumplimiento de la presente oferta por un periodo de dos años.

EMYPRO, S.A. se compromete a efectuar por su cuenta exclusiva, todos los cálculos, comprobaciones, gestiones y actuaciones de ingeniería que sean necesarios para corregir los defectos de diseño y de montaje que se pongan de manifiesto en las instalaciones comprendidas en el alcance del trabajo, y que sean imputables a acciones u omisiones de EMYPRO, S.A.

Sabadell, 03 de SEPTIEMBRE de 2018





ANEXO I:



Hoja de Datos : Tanques de Techo Fijo  
23-nov-07

		Condiciones de Diseño						
1								
2		Equipo 90BB001						
3		Codigo de Calculo API 650						
4		Localización Granollers (Barcelona)						
5		Cliente SUFI						
6		Altura de Diseño 7.860 mm						
7		Eficiencia Junta del Cuerpo 1						
8		Eficiencia Junta del Techo 0,35						
9		Gravedad Especifica del Producto 1,05 p/cm3						
10		Tensión de Diseño I° V del Cuerpo 172 Mpa						
11		Temperatura de Diseño 50 °C						
12		Temperatura de Operación 38 °C						
13		Presión Interna 0,50 kPa						
14		Presión de Diseño 0,58 kPa						
15		Depresión de Diseño 0,30 kPa						
16		Caudal de Llenado 800 m3/h						
17		Caudal de Vaciado 600 m3/h						
18		Carga sobre el Techo inc. Aislamiento 1,18 kPa						
19		Velocidad del Viento 144,00 km/h						
20		Carga Sismica NO						
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								
51								
52								
53								
54								
55								
56								
57								
58								
59								
60								
61								
62								
63								
64								
65								
rev	fecha	descripcion	prop. Por	chee. Por	aprob. por	comentarios		
5								
4								
3								
2								
1	23/11/2007	Revisado Calculo Sismico	JC	XM	AM			
0	19/07/2007	1ª Edición	JC	XM	AM			
client proyecto. Nº :		proyecto :				hoja :		



**OFERTA ECONÓMICA  
SUMINISTRO DE UN (1) CONTENEDOR  
MWM TCG2020 V12 (900 kW). BIOGÁS.**

**CLIENTE: CONSORCI PER A LA GESTIÓ DELS  
RESIDUS DEL VALLÈS ORIENTAL**

**PROYECTO: 17NNE037A2**

**PLANTA: RSU GRANOLLERS**





CONTENIDO

1. ALCANCE DE SUMINISTRO. ....	3
1.1. CONTENEDOR.....	3
2. LIMITES DE SUMINISTRO. ....	6
3. EXCLUSIONES DE SUMINISTRO. ....	6
4. PRECIOS.....	6
5. CONDICIONES DE SUMINISTRO.....	7
6. CONDICIONES DE PAGO.....	7
7. PLAZO DE ENTREGA. ....	7
8. VALIDEZ DE LA OFERTA. ....	8
9. GARANTÍA. ....	8



## 1. ALCANCE DE SUMINISTRO.

### 1.1. CONTENEDOR.

Suministro DAP – RSU Granollers de un (1) contenedor, equipado con un grupo motogenerador MWM TCG 2020 V12 de 900 kW<sub>e</sub>, según la especificación técnica adjunta, incluyendo:

- GRUPO MOTOGENERADOR, instalado en el interior de un contenedor, de acuerdo a la especificación técnica anexa.
- BATERÍAS DE ARRANQUE.
- CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN DE ALTA TEMPERATURA (HT) Y BAJA TEMPERATURA (LT) DEL MOTOR COMPLETOS. Los circuitos de refrigeración incluyen los siguientes equipos:
  - Un (1) grupo electrobomba, para la recirculación del circuito HT.
  - Un (1) grupo electrobomba, para la recirculación del circuito LT.
  - Dos (2) vasos de expansión, para HT y LT, uno (1) por circuito.
  - Una (1) válvula termostática, para la regulación del circuito HT.
  - Una (1) válvula termostática, para la regulación del circuito LT.
  - Un (1) aerorrefrigerador, para refrigeración de circuito HT.
  - Un (1) aerorrefrigerador, para refrigeración de circuito LT.
  - Sensores de presión diferencial de los circuitos de HT y LT, uno (1) por circuito.
  - Sensores de nivel. Uno (1) para HT y uno (1) LT.
  - Un (1) Precalentador eléctrico, para el circuito de HT.
  - Válvulas de seguridad de 3 bar, para los circuitos de HT y LT, una (1) por circuito.
  - Purgadores automáticos de aire, para los circuitos de HT y LT, uno (1) por circuito.
  - Sensores de temperatura (PT100), circuitos de LT y HT, uno (1) por circuito.
- SISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN DE GAS (DN 80/80), suministrado en el interior del contenedor. Se incluye una válvula de corte por contenedor. Presión de suministro de gas de 80 mbar, constantes, a la entrada de la rampa.
- SISTEMA DE GASES DE ESCAPE, que consta de:
  - Un (1) silencioso de gases de escape, situado en la cubierta del contenedor.
  - Una (1) chimenea de gases de escape; altura de 10 metros desde el suelo.
  - Un (1) intercambiador de gases de escape; incluida toda la instrumentación de protección asociada.
  - Una (1) válvula bypass de gases de escape (Todo/nada) controlada por señales libres de potencial.



- CIRCUITO DE RECUPERACIÓN DE CALOR, integrando por:
  - Un (1) intercambiador de calor de placas.
  - Una (1) válvula de seguridad de 10 bar.
  - Un (1) sensor de presión diferencial.
  - Tres (3) sensores de temperatura (PT100).
  - Un (1) grupo electrobomba para la recirculación del agua del circuito.
  - Una (1) válvula termostática, para la regulación del circuito.
- UN (1) CUADRO DE CONTROL, PROTECCIÓN, SINCRONISMO Y AUXILIARES DEL GRUPO, instalado en el interior de la sala de cuadros del contenedor. Incluye el cableado de los equipos situados en el interior del contenedor.
- UN (1) CUADRO DEL INTERRUPTOR DE GRUPO, de 2.500 A, instalado en el interior de la sala de cuadros del contenedor. Se incluye el cableado desde la caja de bornes del alternador hasta el propio cuadro.
- SISTEMA DE CONTROL TEM (*Total Electronic Management*). Este sistema incluye los siguientes equipos:
  - CUADRO DE CONTROL (AGS), instalado en el interior de la sala de cuadros.
  - I/O CONTROLLER, regletero de entradas y salidas, digitales y analógicas, suministrado totalmente instalado en el cuadro de control, protección y sincronismo del grupo.
  - PANTALLA TÁCTIL, suministrada totalmente instalada en el cuadro de control protección y sincronismo del grupo.
- SISTEMA DE VENTILACIÓN.
- FILTRADO DEL AIRE DE SALA DEL MOTOR.
- SISTEMA DE DETECCIÓN DE GAS Y HUMO, incluyendo el set de calibración.
- SISTEMA DE LUBRICACIÓN, compuesto principalmente por un tanque de aceite combinado (limpio/usado) de 950 litros cada uno y una bomba de aporte de aceite (35 ltr./min). La prelubricación del motor y el vaciado del cárter se lleva cabo por medio de una bomba de prelubricación montada sobre la propia bancada del motor y es controlado por el sistema TEM del motor.
- REM (REMOTE ENGINE MANAGEMENT), sistema de monitorización remota que permite la conexión con nuestro departamento de postventa.
- CONTENEDOR DE APROXIMADAMENTE (15 x 3 x 3) metros, diseñado para albergar el grupo motogenerador y equipos auxiliares.





Sus principales características son las siguientes:

- Contenedor Autoportante.
  - Sala de cuadros, equipada con un equipo de aire acondicionado.
  - Paredes sólidas (no abatibles ni desmontables) revestidas de material fonoabsorbente (nivel sonoro de 65 dB(A) a 10 m).
  - Puertas de acceso desde el exterior a la sala de motor y de cuadros de control, equipadas con mecanismos de apertura antipánico.
  - Puerta interior entre sala de cuadros y sala de motor, equipada con mecanismo de apertura antipánico.
  - Puerta de acceso frontal a la sala del motor, desmontable, para extracción del grupo motogenerador.
- KIT BÁSICO DE HERRAMIENTAS.
  - PIEZAS DE REPUESTO PARA LA PUESTA EN MARCHA.

## 1.2 SERVICIOS

- PRUEBAS DE MOTOR EN FABRICA, (No presenciales) consistentes en:
  - Prueba de motor contra freno hidráulico, al 100% y 50% de carga. Se tomarán las siguientes mediciones:
    - Potencia mecánica & Consumo de combustible.
- DOCUMENTACIÓN del proyecto. Incluyendo:
  - Documentación completa del motor
  - Manuales de operación y mantenimiento
  - Certificados de las pruebas de banco.
- TRANSPORTE DAP hasta las instalaciones del cliente; los equipos situados sobre la cubierta del contenedor se transportarán por separado.
- DESCARGA DEL CONTENEDOR Y EQUIPOS SUMINISTRADOS SUELTOS.
- MONTAJE DE LOS EQUIPOS SUMINISTRADOS SUELTOS.
- PUESTA EN MARCHA. Se ha estimado un máximo de ocho (8) días laborables para la puesta en marcha de los cuadros y diez (10) días laborables para la puesta en marcha de la instalación. Los días adicionales que puedan ser necesarios para implementar los trabajos de puesta en marcha, se facturarán de acuerdo a las *Tarifas de asistencia técnica* aplicables en ese momento. Los costes de viaje, alojamiento y dietas están incluidos en la oferta.
- CURSO DE FORMACIÓN A PERSONAL EN PLANTA.



## 2. LIMITES DE SUMINISTRO.

- **Sistema de gas combustible:** Brida de entrada de gas en la pared del contenedor.
- **Admisión:** Filtros de aire de admisión del grupo, sistema de ventilación y filtrado de aire del contenedor.
- **Sistemas de agua de refrigeración:** Aerorrefrigeradores para circuitos de HT y LT, suministrados sueltos.
- **Sistema de aceite lubricante:** Bridas de entrada/salida de las tuberías de aceite en la pared del contenedor.
- **Sistema de escape:** Hasta la chimenea, suministrada suelta. Altitud máxima de 10 metros desde el suelo.
- **Sistema de recuperación térmica:** En las bridas de entrada y salida del circuito de proceso, situadas en la pared del contenedor.
- **Salida de potencia:** En el interruptor de potencia del grupo motogenerador.

## 3. EXCLUSIONES DE SUMINISTRO.

Queda excluido del presente suministro cualquier elemento que no haya sido descrito anteriormente. A su vez, quedan excluidas específicamente las siguientes partidas:

- Obra civil y legalización de la instalación.
- Equipos y cableado de señales de potencia de red.
- Interconexiones entre cuadro de control y los elementos que no formen parte del suministro de esta oferta.
- Queda excluido cualquier montaje eléctrico o mecánico, a excepción del montaje de los equipos suministrados sueltos, que deben ser instalados en la cubierta del contenedor.
- Queda excluida cualquier obra o acondicionamiento necesario para la correcta instalación de los equipos.
- Queda excluido cualquier equipo/elemento para manejo de cargas pesadas durante la operación de la planta.
- Se excluyen del suministro los servicios auxiliares necesarios para la realización de la puesta en marcha, así como los fluidos (aceite, líquido refrigerante, etc.) para el primer llenado.
- Se excluye del suministro cualquier equipo y/o servicio, que no haya sido descrito en el alcance de suministro de la presente oferta.

## 4. PRECIOS.

Los precios mostrados se entienden netos, para entrega DAP (INCOTERMS 2010), de acuerdo con el alcance de suministro descrito y sin incluir IVA. Cualquier variación del alcance de suministro, de las características técnicas de los equipos ofertados y/o de sus calidades, podrá ser objeto de revisión de precios por parte de Caterpillar Energy Solutions, que será previamente pactada por ambas partes.



El precio considerado para el alcance de suministro descrito es el siguiente:

- Grupo motogenerador TCG2020 V12 (900 kW) en contenedor y servicios asociados:

**599.500 €**

*Euros: Quinientos Noventa y Nueve Mil Quinientos.*

- Opcionales:

- Intercambiador de gases de escape (Incl. Instrumentación) + instalación
- Válvula bypass de gases de escape + instalación

**25.500 €**

*Euros: Veinticinco Mil Quinientos.*

## 5. CONDICIONES DE SUMINISTRO.

Para todas nuestras ofertas serán de aplicación nuestras condiciones generales de venta y servicio, denominadas: "Condiciones Generales de Ventas y de Entregas para las relaciones Comerciales con Empresas", con exclusión de sus condiciones generales de compra o adquisición.

## 6. CONDICIONES DE PAGO.

- 30% en el plazo de diez (10) días desde la fecha de firma del Contrato por ambas Partes, mediante transferencia bancaria directamente al Vendedor contra aval bancario por el mismo importe vigente hasta la fecha prevista de entrega.
- 60% a la entrega de los equipos, mediante transferencia bancaria o confirming bancario, emitido por una entidad aceptada por el Vendedor.
- 10% a la Aceptación Provisional del suministro, aunque no más tarde de noventa (90) días tras la notificación de que el equipo está listo para enviar. Si la Aceptación no fuese posible por causas ajenas al Vendedor, lo que ocurra primero.

El pago se efectuará mediante transferencia bancaria o confirming bancario emitido por una entidad aceptada por el Vendedor y contra entrega de aval bancario por el diez por ciento (10%) del Precio del Contrato, vigente durante el período de garantía.

## 7. PLAZO DE ENTREGA.

Aproximadamente treinta y tres (33) semanas tras la firma del contrato, a convenir en el momento de la firma, siempre que se hayan aclarado los diagramas de proceso P&I y cuestiones técnicas en el mes siguiente a la firma del contrato.





**8. VALIDEZ DE LA OFERTA.**

Oferta válida hasta el 09 de septiembre de 2019.

**9. GARANTÍA.**

Veinticuatro (24) meses desde la puesta en marcha, pero no más de treinta (30) meses desde la entrega de los equipos. El cumplimiento de la garantía queda supeditado a la correcta operación y mantenimiento de los equipos, por personal autorizado, según lo expresado en los manuales y circulares técnicas de Caterpillar Energy Solutions, suministradas con los motores.

Esperando que esta oferta sea de su agrado, quedamos a su disposición para cualquier aclaración que podamos efectuarles.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Francisco Javier Izaguirre  
*Caterpillar Energy Solutions, SA.*  
*Departamento Comercial*

José Antonio Fernández  
*Caterpillar Energy Solutions, SA.*  
*Director General*

**ANNEX V. DETALL ECONÒMIC FORM**



### ANÀLISI D'INGRESSOS I DESPESES DE LA FORM

**49.000 T any -1**

INGRESSOS	PRESSUPOST 2018	Preu € t -1 FORM
<b>1. PRODUCTES // SUBPRODUCTES RECUPERATS</b>	<b>5.920,00 €</b>	<b>0,12 €</b>
1.1 Fèrric	5.920,00 €	
<b>2. ELECTRICITAT</b>	<b>913.380,00 €</b>	<b>18,64 €</b>
2.1 Electricitat	913.380,00 €	
<b>3. RETORN DEL CÀNON (REBUIG)</b>	<b>115.045,13 €</b>	<b>2,35 €</b>
3.1 Retorn del cànon rebuig valorització energètica	77.041,33 €	
3.2 Retorn del cànon rebuig abocador	38.003,79 €	
<b>4. RETORN DEL CÀNON (COMPOST)</b>	<b>45.000,00 €</b>	<b>0,918 €</b>
4.1 Retorn del cànon	45.000,00 €	
<b>5. VENDA DE COMPOST</b>	<b>12.672,00 €</b>	<b>0,26 €</b>
5.1 Venda de Compost a granel	0,00 €	
5.2 Venda de Compost ensacat	12.672,00 €	
<b>TOTAL INGRESSOS</b>	<b>1.092.017,13 €</b>	<b>22,29 €</b>

**Figura 17.** Detall d'ingressos de la FORM

DESPESES		PRESSUPOST 2018	Preu € t -1 FORM
<b>1. PERSONAL</b>		<b>770.364,21 €</b>	<b>15,72 €</b>
<b>2. ELECTRICITAT</b>		<b>622.982,98 €</b>	<b>12,71 €</b>
2.1	Energia elèctrica consumida (inclosos serveis auxiliars)	487.595,00 €	9,95 €
2.2	Manteniment telemesura (generació energia elèctrica)	650,40 €	0,01 €
2.3	Manteniment agent venedor	624,38 €	0,01 €
2.4	Peatge per la generació d'energia elèctrica	4.227,60 €	0,09 €
2.5	Assessor energètic	2.113,80 €	0,04 €
2.6	Impostos: producció energia elèctrica i biogàs	127.771,80 €	2,61 €
<b>3. MANTENIMENT I FUNGIBLES</b>		<b>1.120.272,73 €</b>	<b>22,86 €</b>
3.1	Manteniment extern industrial	911.472,65 €	18,60 €
3.2	Manteniment equips	207.174,08 €	4,23 €
	Manteniment dels motors de cogeneració	163.185,36 €	3,33 €
	Revisió de baixa i alta tensió	7.046,00 €	0,14 €
	Contracte parallamps	1.951,20 €	0,04 €
	Contracte revisió extintors, BIES, hidrants	1.084,00 €	0,02 €
	Contracte bàscula	4.097,52 €	0,08 €
	Reparacions i modificacions derivades dels contractes anteriors	29.810,00 €	0,61 €
3.3	Lloguer modul oficines planta	1.626,00 €	0,03 €
<b>4. LLOGUER SERVEI DE PALA</b>		<b>124.339,87 €</b>	<b>2,54 €</b>
4.1	Lloguer pala	71.544,00 €	1,46 €
4.2	Palista Subcontractat	52.795,87 €	1,08 €

Figura 18. Detall despeses de la FORM (conceptes del 1 al 4)

DESPESES		PRESSUPOST 2018	Preu € t -1 FORM
<b>5. AIGUA</b>		<b>16.796,00 €</b>	<b>0,34 €</b>
5.1	Consum	16.796,00 €	
<b>6. GASOIL</b>		<b>26.404,77 €</b>	<b>0,54 €</b>
6.1	Consum	26.404,77 €	
<b>7. REACTIUS DEPURACIÓ (OLORS I AIGÜES)</b>		<b>25.121,70 €</b>	<b>0,51 €</b>
7.1	Àcid sulfúric al 40%	15.663,80 €	0,32 €
7.2	Hipoclorit sòdic al 15%	5.880,70 €	0,12 €
7.3	Sosa càustica al 25%	3.577,20 €	0,07 €
<b>8. REACTIUS DIGESTIÓ</b>		<b>58.596,70 €</b>	<b>1,20 €</b>
8.1	Floculant	52.032,00 €	1,06 €
8.2	Clorur fèrric	5.365,80 €	0,11 €
8.3	Aigua glicolada	1.198,90 €	0,02 €
<b>9. MANTENIMENT BIOFILTRE</b>		<b>8.130,00 €</b>	<b>0,17 €</b>
9.1	Material de reposició de rebliment de biofiltre	8.130,00 €	
<b>10. TRACTAMENT AIGÜES RESIDUALS</b>		<b>242.200,00 €</b>	<b>4,94 €</b>
10.1	Tractament de les aigües residuals	242.200,00 €	
<b>11. MATERIAL ESTRUCTURAL</b>		<b>28.811,64 €</b>	<b>0,59 €</b>
11.1	Material estructural	28.811,64 €	
<b>12. ASSEGURANCES</b>		<b>17.500,00 €</b>	<b>0,36 €</b>
<b>13. PROVES I ANÀLISI</b>		<b>35.284,20 €</b>	<b>0,72 €</b>
13.1	Proves i anàlisis	35.284,20 €	
<b>14. NETEJA</b>		<b>145.242,99 €</b>	<b>2,96 €</b>
14.1	Neteja Planta (Escombradora i cubes)	50.948,00 €	1,04 €
14.2	Neteja i acondicionament + bugaderia	15.035,08 €	0,31 €
14.3	Personal de neteja externa	71.129,91 €	1,45 €
14.4	Servei de falconeria	8.130,00 €	0,17 €

Figura 19. Detall despeses de la FORM (conceptes del 5 al14)

DESPESES		PRESSUPOST 2018	Preu € t -1 FORM
<b>15. SEGURETAT I SALUT</b>		<b>8.672,00 €</b>	<b>0,18 €</b>
15.1	Seguretat i salut	8.672,00 €	
<b>16. CONTROL D'ACCESSOS</b>		<b>27.657,26 €</b>	<b>0,56 €</b>
<b>17. ALTRES</b>		<b>26.852,85 €</b>	<b>0,55 €</b>
17.1	Dietes i locomocions personal d'explotació	3.631,40 €	0,07 €
17.2	Vestuari personal explotació + EPIS	4.878,00 €	0,10 €
17.3	DDD	5.799,40 €	0,12 €
17.4	DESPESES VIATGES TÈCNICS	5.420,00 €	0,11 €
17.5	COMUNICACIONS TELEFÒNIQUES	2.733,85 €	0,06 €
17.6	CONTRACTES MANTENIMENT INFORMÀTIC	1.626,00 €	0,03 €
17.7	EQUIPS INFORMÀTICS	1.680,20 €	0,03 €
17.8	PARTIDES OBERTES	1.084,00 €	0,02 €
<b>18. TRACTAMENT REBUIGS I RESIDUS SORTINTS</b>		<b>707.471,89 €</b>	<b>29,72 €</b>
18.1	Fracció lleugera (*)	225.851,12 €	9,84 €
18.2	Rebuig inert (*)	138.333,81 €	6,03 €
18.3	Rebuig pretractat (*)	295.488,55 €	12,88 €
18.3	Transport i tractament de digest/orgànica pretractada	43.680,00 €	0,89 €
18.4	Moviments interns	4.118,40 €	0,08 €
<b>19. DESPESES Grans manteniments/ Amortitzacions</b>		<b>11.159,13 €</b>	<b>0,23 €</b>
19.1	Clixé en quatricomia	1.626,00 €	0,03 €
19.2	Despesa per 96 palets (1 palet = 48 sacs)	8.991,13 €	0,18 €
19.3	Registre marca	542,00 €	0,01 €
<b>20. GRANS MANTENIMENTS</b>		<b>120.874,67 €</b>	<b>2,47 €</b>
<b>21. DEPARTAMENT DE LA GESTIÓ DE PERSONES</b>		<b>6.580,14 €</b>	<b>0,13 €</b>
<b>TOTAL DESPESES</b>		<b>4.151.315,73 €</b>	<b>100,00 €</b>

Figura 20. Detall despeses de la FORM (conceptes del 15 al 21)

**ANNEX VI. CURRICULUM VITAE**





CV VAbad

Actualitzat a juliol 2019



▪ **DADES PERSONALS**

**NOM:** Vanessa

**EMAIL:** van55es@hotmail.com

**COGNOMS:** Abad Cuñado

**TELÈFON:** 636877371

▪ **FORMACIÓ ACADÈMICA**

- 2015-present Cursant Doctorat Industrial. "La codigestió en una planta de digestió anaeròbica de fracció orgànica de residus municipals en el marc de l'economia circular: producció de biogàs i factors econòmics. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)
- 2011-2013 Màster en Direcció i Organització d'empreses. MBA. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- 2008-2010 Màster en Gestió y Auditoria Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).  
Especialitzacions: Gestió del Residu i Valorització energètica del residu.
- 2007 Curs de direcció d'equips de treball. EADA (Estada en Collbató)
- 1997-2002 Enginyeria Superior Química. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

▪ **EXPERIÈNCIA PROFESSIONAL**

- 2017- present. Universitat Autònoma de Barcelona. Professora associada.
- 2009-present. Consorci per a la Gestió dels Residus del Vallès Oriental. Directora de l'Àrea de Tractament.
  - Gestió, control i supervisió dels diferents processos productius.
  - Gestió, control i supervisió del manteniment i la neteja de les instal·lacions.
  - Organitzar el personal al seu càrrec.
  - Realitzar i gestionar el pressupost de l'àrea de Tractament.
  - Optimitzar i millorar totes les activitats vinculades amb l'àrea de tractament.
  - Participació en projectes europeus relacionats amb l'optimització, I+D de l'àrea de Tractament.
  - Recerca, investigació i desenvolupament interactuant amb diferents centres de recerca i universitats.
  - Vetllar per la seguretat, salut i higiene dels treballadors.
- 2001-2009. Ecoparc de Barcelona, S.A
  - Cap d'exploació. (2004-2009)
    - Organitzar i controlar els departaments de producció, manteniment i oficina tècnica.

- Implantació del programa de gestió de manteniment PRISMA juntament amb el Cap de manteniment.
  - Planificar els processos productius i optimitzar-los: pretractament sec, compostatge, tractament humit, digestió anaeròbia, sistema de biogàs..
  - Elaborar el pressupost anual. Gestionar els costos del departament.
  - Desenvolupar i supervisar els projectes competents al departament d'Explotació.
  - Col·laboració amb l'Entitat Metropolitana de Barcelona: entrada de residus, informació corresponent a la instal·lació, optimització i millores.
  - Comunicació amb altres administracions com l'Agència Catalana de Residus, Ajuntaments.
  - Realitzar procediments i instruccions de feina. Col·laboració plena en la implantació de la ISO (qualitat, medi ambient i seguretat)
  - Participar en tots els contractes inherents al meu departament juntament amb el suport del Departament de Compres. Buscar ofertes referents a una necessitat concreta en el departament.
  - Gestió de la neteja integral de la Planta (personal propi i empreses subcontractades).
  - Gestió del magatzem de recanvis.
  - Portar al meu càrrec uns 100 treballadors.
  - Avaluar al personal propi.
  - Vetllar per la seguretat i la salut laboral.
- 
- Supervisora de planta / cap de torn. (2001-2004)
    - Controlar i supervisar tota la Planta: el procés de producció, compostatge, metanització (digestió anaeròbia, tractament humit).
    - Organitzar i controlar la feina del personal al meu càrrec. (aprox. 30-40 treballadors).
    - Resoldre problemes diaris relacionats amb la producció. Ser-ne pràctic i eficaç front qualsevol incidència.
    - Determinar les prioritats i les necessitats en cada respecteiu torn de producció.
    - Avaluar al personal propi.
    - Vetllar per la seguretat i la salut laboral
- **INFORMACIÓ ADICIONAL**
  - **IDIOMES**
    - Títol d'anglès: FIRST per la University of Cambridge.
    - Certificat de nivell avançat d'anglès. Nivell B2 del marc Europeu
    - Certificat de nivell intermig d'alemany. Nivell B1 del marc Europeu

- Nivell C1 de Català

➤ **CURSOS i ALTRES FORMACIONS**

- Curs de relacions laborals.
- Curs de lideratge, motivació i negociació.
- Curs de primers auxilis.
- Curs d'ATEX (atmosferes explosives).
- Curs bàsic de Prevenció de Riscos Laborals.
- Curs de Direcció d'equips de treball. EADA.
- Curs d'habilitats directives. ECA formació.
- Curs de Gestió d'Emergències.
- Gestió de residus perillosos en l'Empresa. Biodiversidad.
- Gestió medioambiental. Biodiversidad.
- Curs de Biodigestió (UAB)
- Seminari de Formació sobre Compostatge.
- Gestión de equipos. Grupo Hedima
- Gestión del tiempo. Grupo Hedima

➤ **INFORMÀTICA**

Coneixement i us dels següents programes:

- Office: Word, Excel, Powerpoint.

➤ **COMPETÈNCIES**

Treball en equip.

Comunicació.

Creativitat.

Reflexió i comprensió.

Motivació.

Esperit de lluita.

Lideratge.

Responsabilitat.

Força de voluntat.

➤ **PUBLICACIONS**

Abad, V., Avila, R., Vicent, T., Font, X., 2019. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. Bioresource Technology, 283, 10-17

➤ **PRINCIPALS PONÈNCIES I PÒSTERS PRESENTATS EN CONGRESSOS**

"Optimización de la producción de biogás: codigestión, balances de materia y energía. Pòster en RECUWATT. V.Abada, T.Vicenç, X. Font, 2016.

"Residuo Orgánico Comercial: Codigestión". Pòster en CONAMA. V.Abada, T.Vicenç, X. Font, 2016.

"Revalorització energètica de residus: residus per generar calor". Ponència en el cicle tècnic: energia a la indústria, organitzat per Granollers Mercat, Generalitat de Catalunya i Cambra de Comerç de Barcelona, 2016.

"Optimization of biogas, industrial PhD". Presentació oral al Congrés Resource efficiency and waste management solutions (RWM) en Birmingham, 2016.

"Use of codigestion for the increase of biogas production in a full scale municipal solid waste anaerobic digestion". Ponència en el Congrés Internacional a Sardenya 16th International Waste Management and Landfill Symposium, 2017.

"Balance de materia de una planta de digestión anaerobia a escal real, utilizando codigestión para el incremento de la producción de biogás". Ponència en les XIII Jornadas sobre Biometanización de RSU, 2018.

"Economical, mass and energy balance impact in a municipal solid waste anaerobic digestion plant using co-digestion". Pòster en The 2nd International Bioretec Conference a Sitges. V.Abad, T.Vicenç, X. Font, 2018.

"Optimization of biogas production in an organic fraction municipal solid waste plant: co-digestion, mass and energy balances". Conferència científica dintre del cicle de conferències del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental, 2019.

