

Producció de biogàs per codigestió anaeròbia



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 1

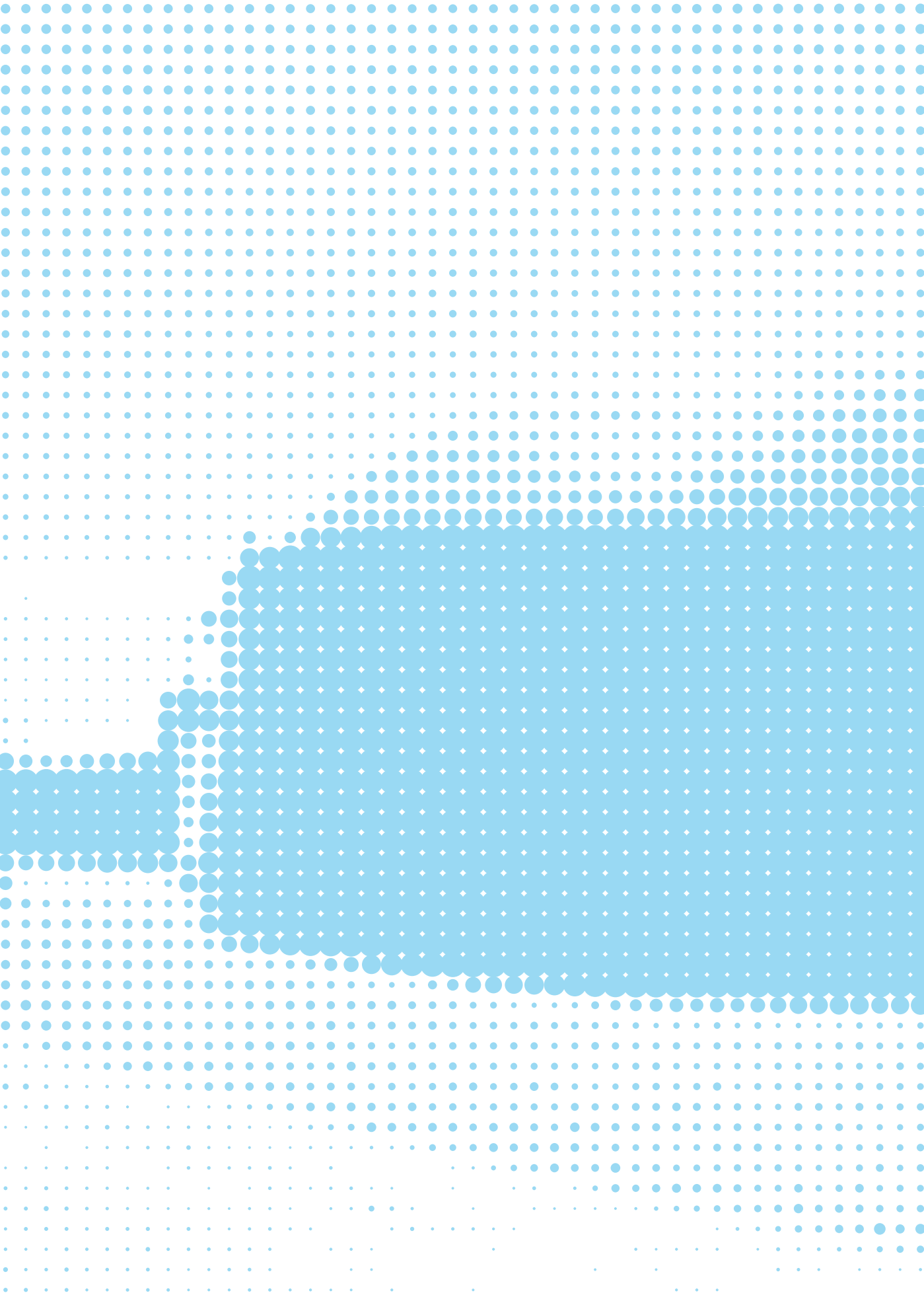


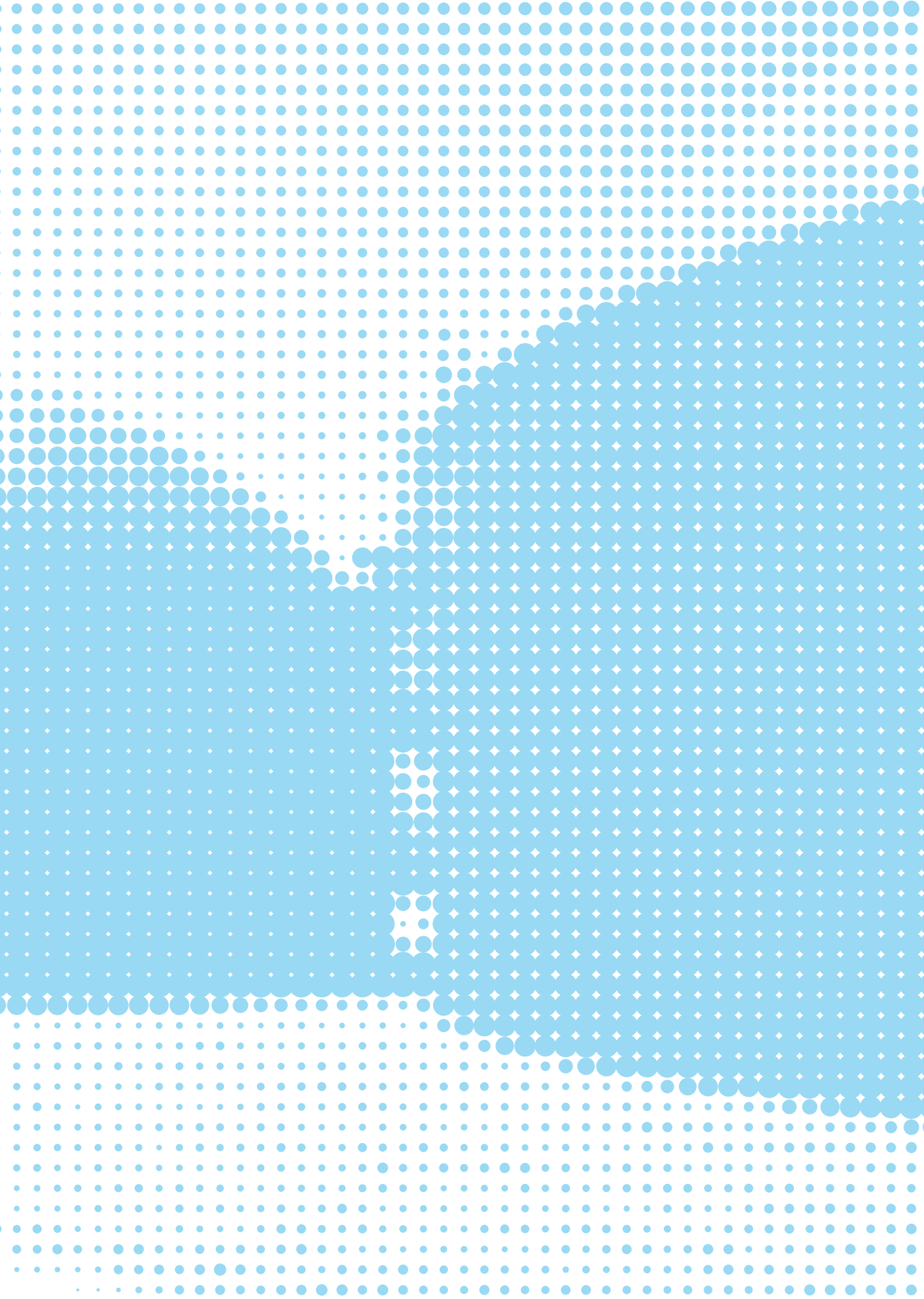
Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia

Producció de biogàs per codigestió anaeròbia



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 1






Producció de biogàs per codigestió anaeròbia



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 1

 **Institut Català d'Energia**

www.icaen.net

© Generalitat de Catalunya

Edició: Juliol 2008

Disseny de col·lecció: Oxigen, comunicació gràfica

Maquetació: Oxigen, comunicació gràfica

www.oxigen.es

Impressió: Estudi6

Dipòsit Legal: B-29.655-2008

Contingut tècnic a cura de:

Xavier Flotats. GIRO Centre Tecnològic

Laia Sarquella. ICAEN

Índex

Pròleg	13
Presentació	15
1. Introducció	17
1.1. El procés de digestió anaeròbia	17
1.2. Aprofitament del biogàs	18
1.3. A quins materials es pot aplicar	19
1.4. Avantatges i inconvenients	20
1.5. El procés en el marc de la gestió dels residus i de l'energia	21
2. Descripció del procés de digestió anaeròbia	22
2.1. Dinàmica del procés	22
2.2. Transformació de la matèria orgànica en metà	24
2.3. Paràmetres ambientals	25
2.4. Paràmetres de funcionament	27
3. Descripció d'instal·lacions	29
3.1. Digestor	29
3.2. Dipòsits d'entrada i sortida	30
3.3. Gasòmetre	31
3.4. Tractament del gas	31
3.5. Vàlvula de seguretat i torxa	33
3.6. Ús energètic del biogàs: caldera o cogeneració	34
4. Aplicació a dejeccions ramaderes	35
4.1. Aplicació a purins de porc	35
4.2. Aplicació a purins de bestiar boví i vaquí	36
4.3. Aplicació a gallinassa d'aviram	36
5. Aplicació a altres residus orgànics	37
6. La codigestió anaeròbia	38

7. El potencial energètic dels residus per digestió anaeròbia	40
7.1. El biogàs a Europa i a l'Estat Espanyol	40
7.2. Altres usos energètics	42
7.3. Normativa legal de referència	43
7.3.1. Marc normatiu a la Unió Europea	43
7.3.2. Marc normatiu a l'Estat Espanyol	44
Sistema de primes a la producció elèctrica	
7.3.3. Tràmits administratius per a produir energia en Règim especial	45
8. Anàlisi econòmica d'instal·lacions	46
8.1. Dimensionat	46
8.2. Avaluació econòmica	51
8.2.1. Costos d'inversió	51
8.2.2. Costos de manteniment i funcionament	51
8.2.3. Ingressos	52
8.2.4. Estimació d'índex econòmics	52
9. Consultes recomanades	55



Pròleg

El model de desenvolupament que predomina en la nostra societat, basat en un consum cada vegada més intensiu de recursos naturals i d'energia no pot perdurar indefinidament, ja que aquests recursos provenen, majoritàriament, de fonts d'origen fòssil i, per tant, ha calgut que transcorreguessin milions d'anys abans no s'hagin format. En aquest context, l'aposta per les energies renovables té un caràcter estratègic de futur; són netes, es restitueixen gratuïtament, representen el recurs energètic autòcton més important de Catalunya i poden ser part de la solució al problema energètic a llarg termini.

D'acord amb els eixos de la política energètica catalana, la Generalitat de Catalunya ha elaborat el Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 i un dels seus àmbits principals és el Pla d'energies renovables, que proposa desenvolupar l'aprofitament de les energies renovables considerant-ne el potencial tècnic i econòmic. Ara bé, no totes les energies renovables es troben en el mateix punt d'evolució i, entre elles, l'aprofitament energètic del biogàs representa una tecnologia que actualment està preparada per començar a penetrar en el mercat.

Les plantes de biogàs permeten aprofitar el potencial agronòmic i energètic de les dejeccions ramaderes, ja que representen un bon substrat per al procés de la digestió anaeròbia. Així mateix, l'obtenció del biogàs és sensible a la composició dels materials sotmesos a aquest procés, de manera que, barrejant substàncies de diferents orígens i composicions, es pot buscar el millor rendiment en la producció de biogàs. Aquesta tipologia d'instal·lacions aporten un balanç energètic positiu, permeten estalviar en consum de combustibles fòssils i redueixen els efectes de les emissions de diòxid de carboni i metà. Raons de pes i en plena actualitat que confereixen al biogàs una aportació positiva a les energies renovables.

En la línia d'impulsar instal·lacions de digestió anaeròbia de purins i aprofitament energètic del biogàs, es presenta aquesta nova publicació, la qual esperem que ajudi a popularitzar el procés de producció de biogàs per codigestió anaeròbia, avançant en la millora i optimització del procés i de la generació d'energia.



Presentació

A un profà li pot semblar art de màgia que a partir d'un material orgànic com les dejeccions ramaderes o els residus orgànics d'origen divers, es pugui produir un gas combustible amb capacitat de reduir consums de gasoil per calefacció, produir electricitat o es pugui fer servir com a carburant per a vehicles, i pot fer que s'arribi a sentir meravellat pel tema com també que mantingui una posició d'incrèdula.

El procés pel qual es produeix aquest gas, el biogàs, no és màgic. És un procés natural ben conegut, en el qual intervenen microorganismes d'espècies diferents, a vegades competint i, sovint, cooperant, per transformar la matèria orgànica en gasos i en compostos inorgànics. La dinàmica d'aquestes transformacions és explicable i controlable i, per tant, es poden construir instal·lacions i fer-les funcionar amb èxit, contribuint positivament al balanç energètic del país. El fet de posar a l'abast de tothom el coneixement que es té del sistema ha de servir per popularitzar aquesta tecnologia que, en altres països, ja dona resultats energètics apreciables i que contribueix a la gestió dels residus orgànics.

Aquest document pretén ser una guia simple sobre el procés de digestió anaeròbia i sobre les possibilitats que té, detallant els punts més destacats d'aquest tractament i donant una visió pràctica per a la implantació i el funcionament d'una planta d'aprofitament energètic de biogàs a partir del tractament conjunt de purins i residus o de subproductes orgànics.

L'objectiu és proporcionar les eines d'estudi i reflexió per poder avaluar els rendiments i l'eficàcia del procés des d'una perspectiva realista. Tot plegat ha d'aportar les idees bàsiques als tècnics i ramaders que hagin d'interpretar les ofertes que puguin rebre i hagin de dur a terme l'explotació d'una planta d'aquestes característiques, fent-los arribar el coneixement del procés de la digestió anaeròbia d'una manera pràctica i entenedora.

Després d'un capítol introductori, en el capítol 2 es descriu el procés de digestió anaeròbia i els factors o paràmetres a controlar per fer funcionar les instal·lacions. En el capítol 3 es descriuen aquestes instal·lacions. En els capítols 4 i 5 s'especifiquen les produccions de biogàs típiques de diferents tipus de residus o subproductes, mentre que en el capítol 6 s'introdueix el concepte de codigestió anaeròbia d'aquests subproductes per tal de millorar la producció i l'eficiència, tant energètica com econòmica. En el capítol 7 es descriu el context europeu, espanyol i català del biogàs, així com la política de primes a la producció d'energia elèctrica a partir d'aquest gas. En el capítol 8 es realitza una anàlisi econòmica de tres instal·lacions teòriques tipus, per tal que serveixin d'exemples d'anàlisi i reflexió. Finalment, en el capítol 9 s'indiquen algunes fonts de consulta d'accés fàcil.



1. Introducció

1.1. El procés de digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia, també coneguda com biometanització o producció de biogàs, és un procés biològic que té lloc de forma natural en el medi ambient, per exemple, al fons de les llacunes i dels aiguamolls, als camps d'arròs i en el sistema digestiu dels rumugants. Parlem de digestió atès que, tal com passa a l'estómac dels animals, els materials orgànics (o aliments) es degraden i se n'obté un residu orgànic i energia. La tecnologia de la digestió anaeròbia, doncs, es basa en imitar la natura i reproduir aquest procés en digestors a escala industrial (Figura 1.1.).

Aquesta digestió és anaeròbia perquè només té lloc quan no hi ha oxigen (condicions anaeròbies). Si hi hagués oxigen (condicions aeròbies) tindria lloc un procés biològic de tipus aerobi, com la digestió aeròbia o el compostatge. En tots dos casos s'obté un residu orgànic que ja està força degradat (o estabilitzat) i, per tant, es pot utilitzar com a fertilitzant o esmena orgànica per al sòl. Sobretot si després de la degradació de la matèria orgànica es deixa madurar en piles, de la mateixa manera com s'ha fet tradicionalment als femers.

Pel que fa a l'energia, s'obté en forma de gas combustible (com ho són el gas natural o el butà que utilitzem a les nostres llars). Aquest gas rep el nom de biogàs pel fet que es produeix mitjançant un procés biològic. És ric en metà (60-70% CH_4) i diòxid de carboni (30-40% CO_2). El metà és el principal constituent del gas natural. Per tant, l'energia que contenen 10 m^3 de biogàs equival a 6-7 m^3 de gas natural. D'aquí sorgeix l'interès principal de la digestió anaeròbia respecte d'altres alternatives de tractament de residus orgànics.

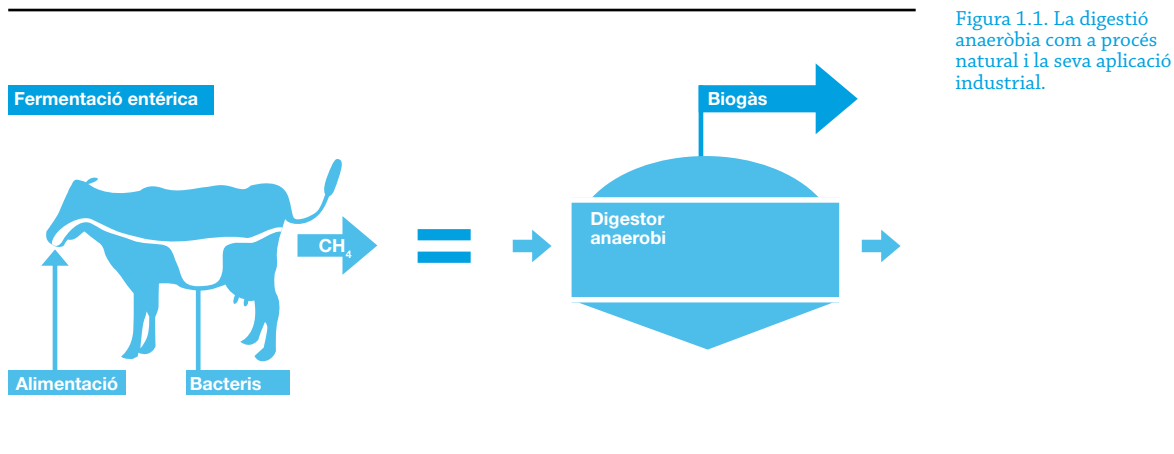


Figura 1.1. La digestió anaeròbia com a procés natural i la seva aplicació industrial.

1.2. Aprofitament del biogàs

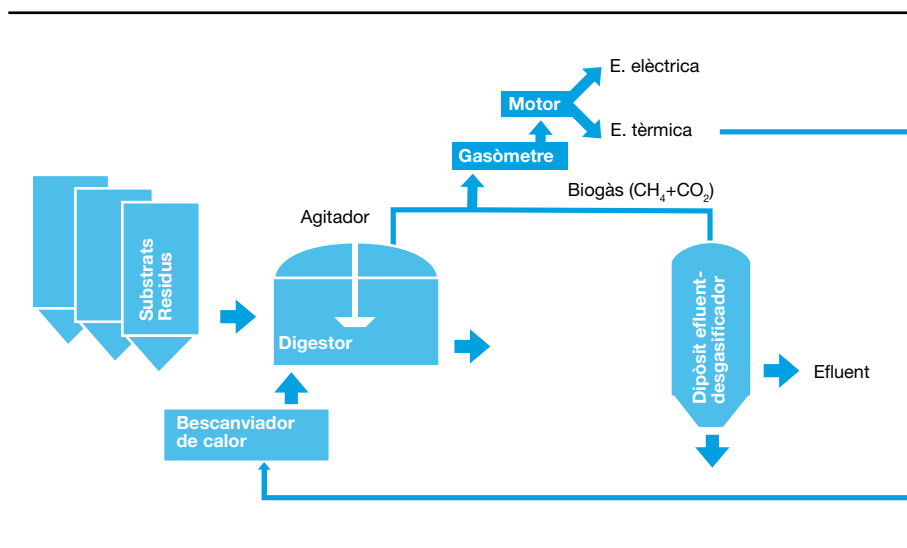
El biogàs es pot aprofitar de diverses maneres, amb l'objectiu de generar:

1. Energia tèrmica (calor).
2. Energia tèrmica i elèctrica mitjançant la tecnologia de cogeneració.

La primera opció és la més senzilla i econòmica, i consisteix en cremar-lo directament, per exemple, en una caldera de calefacció o en uns fogons de cuina, en funció de les necessitats o requisits de cada indret.

Però si es produeix en prou quantitat, es pot cremar en turbines o en motors de cogeneració (Figura 1.2.), que permeten produir electricitat i obtenir, alhora, aigua calenta. Aquesta aigua es pot utilitzar per a cobrir necessitats de calefacció de la instal·lació, tant del propi digestor com de les naus de producció, etc. I l'electricitat, tant es pot fer servir per al consum propi com vendre-la a la xarxa, obtenint una font externa addicional d'ingressos. Com que la cogeneració només és rendible quan les produccions són prou elevades, si l'objectiu principal és produir electricitat, és convenient realitzar la digestió anaeròbia en condicions òptimes per maximitzar la producció de biogàs.

Figura 1.2. Esquema d'una instal·lació tipus de digestió anaeròbia amb aprofitament del biogàs en un motor de cogeneració, generant electricitat i calor.



1.3. A quins materials es pot aplicar

En principi, es pot tractar qualsevol material orgànic fàcilment biodegradable en digestors anaerobis. En general, es parla del tractament de residus orgànics, però, en tant que es poden aprofitar com a matèria primera per a dur a terme altres processos, seria més correcte anomenar-los subproductes orgànics. Els utilitzats més àmpliament depenen de les produccions majoritàries a cada indret (Figura 1.3.). Varien molt els de les zones urbanes, on predominen els residus municipals i els fangs de depuradora, dels de les zones rurals de producció ramadera intensiva, on predominen els fems i/o purins.

Els diferents materials es poden tractar per separat o bé conjuntament, barrejant-los. La digestió anaeròbia d'una barreja de materials (o substrats) s'anomena codigestió i dona millors resultats que la digestió per separat. Això és així perquè, mesclant materials amb composicions diferents, el material resultant té una composició més equilibrada, per exemple, la barreja de purins (rics en nitrogen) amb restes vegetals (riques en carboni). Així s'afavoreix l'activitat dels microorganismes que degraden la matèria orgànica i, per tant, augmenta l'eficàcia del procés. La seva aplicació pot tenir algunes dificultats atès que:

- Involucra diferents generadors de residus.
- En funció de les distàncies de transport, els costos poden ser elevats. Si fos el cas, caldria reduir els volums mitjançant pretractaments en origen.
- La legislació vigent podria resultar restrictiva.

-
- **Fems i purins**
 - **Residus orgànics municipals**, principalment restes de menjar i de jardineria
 - **Fangs de depuradora** municipal o industrial. Ex: indústria cervesera o paperera.
 - **Subproductes d'indústries agroalimentàries**. Ex: conserves o de suc.
 - **Barreges dels anteriors**
-



Figura 1.3. Exemples de residus o subproductes orgànics susceptibles de ser digerits: (a) fangs de flotació, (b) fems i (c) fracció orgànica de residus municipals.

1.4. Avantatges i inconvenients

La digestió anaeròbia tendeix a ser descrita com una tecnologia complicada i cara, sobretot en comparació amb el compostatge. Per això, tot sovint s'ha utilitzat només per al tractament d'efluents líquids (com les aigües residuals) o semilíquids (com els fangs de depuradora o els purins), els quals no es poden compostar directament sense una deshidratació prèvia, mentre que amb els materials més sòlids (com els fems i els residus orgànics municipals) sí que es pot fer.

La producció d'energia renovable, però, cada cop més imprescindible per a satisfer les necessitats energètiques del present i del futur, és un avantatge addicional d'aquesta tecnologia. Per això cada cop més s'implanten instal·lacions dirigides, no només a tractar residus o subproductes orgànics, sinó a produir i a rendibilitzar el biogàs.

Taula 1.1.
Els principals avan-
tatges i inconve-
nients de la digestió
anaeròbica

Avantatges

- Producció d'energia renovable (biogàs).
- Gestió individual o centralitzada de residus orgànics.
- Produïx un material orgànic més estable, que es pot reutilitzar i aplicar al sòl, sobretot després d'una etapa de maduració.
- Destruïx part dels patògens (en més o menys grau en funció de la temperatura) proporcionant una higienització parcial.
- Redueix les emissions de males olors.
- Redueix les emissions incontrolades de gasos d'efecte d'hivernacle.
- Facilita possibles tractaments posteriors, p.ex. assecatge tèrmic o stripping d'amoniac.

Inconvenients

- Els costos d'inversió poden ser elevats, en funció del sistema (volum del digestor, temperatura, etc.).
 - Els costos d'operació i manteniment poden ser elevats, en funció del sistema (tipus d'operació, volum del digestor, temperatura, temps de tractament, etc.).
 - Relació inversa entre la despesa energètica (calefacció, agitació) i el temps de tractament (volum necessari).
 - El funcionament normal del procés es pot destorbar per la presència de compostos tòxics o inhibidors (amoníac, antibiòtics, desinfectants, metalls pesants, sulfurs, etc.).
 - No s'elimina nitrogen.
-

1.5. El procés en el marc de la gestió dels residus i de l'energia

En l'actualitat, i des de les últimes dècades, és ben palesa la necessitat de protegir el medi ambient, tant des del punt de vista de l'explotació dels recursos naturals com de la contaminació per emissions d'efluents gasosos i líquids i per la disposició de residus sòlids. La legislació és cada cop més estricta en aquest sentit, i afecta tots els sectors: municipal, industrial, ramader, de serveis, etc. A Catalunya, la gestió de residus ve regulada per la Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora dels residus, actualitzada per la Llei 15/2003, de 13 de juny. La jerarquia d'opcions de gestió dels residus prioritza la minimització, seguida de la valorització i una de les opcions és la valorització energètica.

D'altra banda, el Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 té l'objectiu d'impulsar fortament les energies renovables i potenciar les tecnologies d'estalvi i d'eficiència energètica. L'any 2006 la participació de les energies renovables en el balanç d'energia primària a Catalunya representava el 2,4%, distribuïdes segons mostra la Figura 1.4 (a), i aquesta xifra ha d'augmentar fins al 9,5% l'any 2015. Pel que fa al biogàs, l'objectiu és que proporcioni l'any 2015 fins a 205,6 ktep, la qual cosa correspondria a un augment del 404% respecte al 2006 (a la Figura 1.4 (b) es mostra l'evolució del seu consum). Es preveu una potència elèctrica instal·lada en l'àmbit del biogàs l'any 2015 de 120,2 MW, un augment del 137% respecte al 2006.

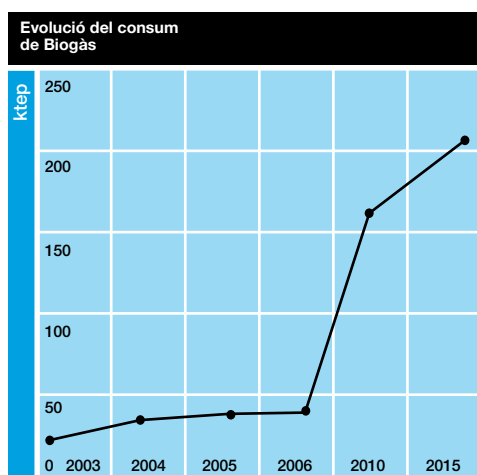


Figura 1.4 (b)

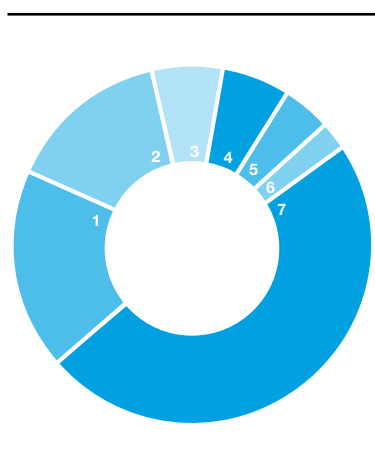


Figura 1.4 (a)

Figura 1.4 (a). Distribució de les energies renovables a Catalunya l'any 2006. Font: ICAEN

Figura 1.4 (b). Evolució del consum de biogàs a Catalunya. Font: ICAEN

1. Residus renovables: 18,7%
2. Biomassa forestal i agrària: 14,7%
3. Biogàs: 6,5%
4. Biocarbursants: 6,0%
5. Eòlica: 4,3%
6. Solar: 1,9%
7. Hidràulica: 48,1%



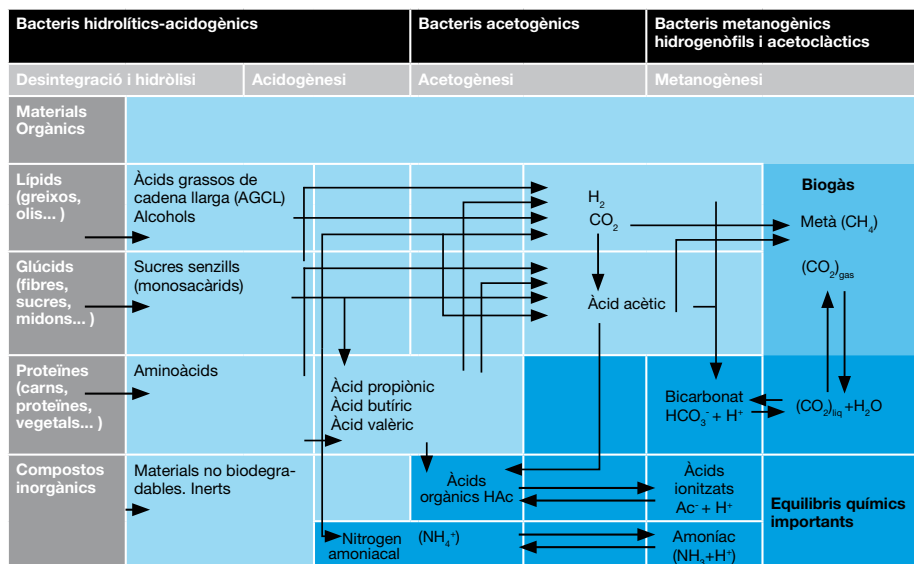
2. Descripció del procés de digestió anaeròbia

2.1. Dinàmica del procés

La digestió anaeròbia es caracteritza per l'existència de diverses fases diferenciades en el procés de descomposició del material a digerir (substrat), i hi intervenen diverses poblacions de microorganismes (Figura 2.1.). La natura i composició química del substrat condiciona la composició qualitativa de la població bacteriana de cada etapa, de manera que s'estableix un equilibri, fràgil o estable segons la composició i operació del sistema. Els equilibris químics que s'estableixen en el medi líquid i els equilibris d'algunes espècies, com el CO_2 , entre el medi líquid i gasós, també afecten el desenvolupament del procés i el seu rendiment.

En les reaccions que tenen lloc s'alliberen compostos i energia que utilitzen els microorganismes per a créixer. Els propis microorganismes fan possible aquestes reaccions, que utilitzen per al seu benefici (alimentació i creixement). A diferència dels

Fig. 2.1. Fases de la fermentació anaeròbia i equilibris químics més rellevants.



microorganismes aerobis, els anaerobis utilitzen poca energia de tota la que tenen a l'abast; tenen una velocitat de creixement lenta i utilitzen poc material orgànic per a construir la seva massa cel·lular. Això té l'avantatge de deixar molta energia disponible (en forma de metà) i que els microorganismes representen un percentatge molt petit de la matèria orgànica residual que queda finalment després del procés. En el cas de depuració anaeròbia d'aigües residuals significarà que es produirà poc fang, que és el residu de les plantes depuradores.

Les reaccions anaeròbies presenten el desavantatge de ser molt lentes en comparació a les aeròbies i, per tant, requereixen un temps de procés elevat i que els digestors tinguin molt volum. Una manera de compensar-ho és tractar d'obtenir una concentració alta de microorganismes per a poder aconseguir el mateix objectiu de descomposició amb menys temps i volum.

Mentre que en les fases d'hidròlisi-acidogènesi, els microorganismes acostumen a ser facultatius (tant poden estar en ambient aerobi com anaerobi), per a la fase metanogènica, els microorganismes són anaerobis estrictes i amb taxes de creixement de l'ordre de cinc vegades menors als acidogènics. Això significa que si els bacteris metanogènics tenen algun problema per a reproduir-se i consumir els àcids per efecte d'algun inhibidor o per manca de prou temps de procés, es produirà una acumulació d'àcids, una baixada del pH i el procés s'aturarà. Per assegurar un procés estable, cal que el medi tingui prou alcalinitat. L'alcalinitat és una mesura de la capacitat tampó i es podria considerar equivalent, en una primera aproximació, a la concentració de bicarbonat en el medi.

La situació anterior es pot produir en situacions de sobrecàrrega i consisteix en entrar al digestor més matèria orgànica de la que els microorganismes són capaços de consumir. Aquesta situació equival a la que es produiria en el nostre cos després de menjar més del compte, amb sensació d'empatx i acidesa d'estómac. La solució és fer una mica de dieta (no carregar el digestor fins que no es recuperi) i prendre bicarbonat. En el cas del digestor, el bicarbonat és la forma majoritària en què es troba el CO_2 dissolt en l'aigua a un pH neutre. Atès que en el procés de digestió anaeròbia es va produint CO_2 (vegeu la Figura 2.1.), es manté un equilibri entre el que queda dissolt i el que va marxant amb el biogàs. En una situació de sobrecàrrega, amb producció de més àcids dels que poden consumir els microorganismes, aquest equilibri es trenca i comença a sortir més CO_2 en el biogàs, baixant la concentració de bicarbonat i alhora el pH. Un augment del CO_2 en el biogàs indica que hi ha algun problema en els equilibris que fan possible el procés.

Les situacions de desequilibri es poden donar en moments de canvis en l'alimentació, en la composició i/o el cabal. El principal moment de canvi és a l'inici del procés, a la posada en marxa, durant la qual cal treballar de forma lenta durant alguns mesos, de manera que les diferents poblacions de microorganismes creixin fins a uns valors de concentració que adaptin la composició del residu a la velocitat amb què s'ha d'alimentar. Quan es vol fer un canvi en el tipus d'alimentació (afegir un nou residu, per exemple), s'ha de fer gradualment i no bruscament, per tal d'ajudar a trobar aquest equilibri.

2.2. Transformació de la matèria orgànica en metà

Les dues mesures principals de la matèria orgànica que s'utilitzen en digestió anaeròbia són el contingut en sòlids volàtils (SV) i la demanda química d'oxigen (DQO).

Els sòlids volàtils (SV)

Per mesurar els SV es procedeix de la manera següent:

1) Es desseca una mostra de residu en una estufa a 105°C durant un temps mínim de 24 hores, fins que s'obté un residu sec amb pes constant. Aquest residu és el contingut en sòlids totals (ST) o matèria seca (MS).

2) El residu sec anterior es porta a un forn i es calcina a una temperatura de 550°C. La pèrdua de pes correspon als SV i el residu restant són les cendres.

La mesura dels SV no té en compte els compostos orgànics solubles que es volatilitzen a menys de 105° i que es perden durant la mesura dels ST. Tampoc té en compte si la matèria orgànica que estem mesurant té més o menys capacitat per a produir metà.

La Demanda Química d'Oxigen (DQO)

La DQO indica la quantitat d'oxigen que es necessitaria per a oxidar completament la matèria orgànica a CO₂, amoníac i aigua, mitjançant un mètode químic. Per a fer aquesta mesura, s'utilitza un compost químic oxidant i àcids per trencar l'estructura de les partícules orgàniques del residu i això es fa en un laboratori especialitzat.

Alguna dada de composició

Per exemple, uns purins de porc poden tenir un contingut de ST entre l'1,4% i el 8%, un contingut de SV entre el 46% i el 76% dels ST (mitjana usual del 65%) i una DQO entre 8 i 150 g O₂/kg (amb mitjanes usuals entre 30 i 70 g O₂/kg). Aquesta variabilitat en les composicions és deguda a diferències en l'alimentació, en l'edat dels animals i en els mètodes de maneig dels purins, dependent de cada granja.

La mesura que dóna més informació del procés és la DQO. Durant el procés de digestió anaeròbia, moltes partícules es trenquen, es solubilitzen i els microorganismes les transformen en àcids, en gasos i en nous microorganismes, amb la qual cosa la concentració en SV es modifica. En canvi, com que no s'introdueix oxigen en el digestor, la DQO s'ha de mantenir, encara que amb formes diferents: tota la DQO que entra ha de ser igual a tota la DQO que surt, ja sigui en forma de residu digerit o en forma de gasos. Com que el CO₂ que surt en el gas té una DQO nul·la (és una molècula oxidada), la DQO que falti en el digerit per a igualar a la d'entrada estarà en forma de metà (CH₄, en el biogàs). Com que 0,35 m³ de metà en condicions normals

de pressió i temperatura (1 atmosfera i 0°C de temperatura) necessiten 1 kg d'oxigen per a cremar-lo (oxidar-lo), si es pot preveure o mesurar la DQO que s'eliminarà del residu en el procés (0,35 m³ de CH₄/kg DQO eliminada), es té una relació molt interessant per predir la quantitat de metà que es pot produir d'un residu.

L'assaig de biodegradabilitat

La DQO màxima d'un residu que es pot transformar en metà es determina mitjançant un assaig de biodegradabilitat anaeròbia. En aquest assaig es mescla el residu amb un inòcul de bacteris en condicions ideals, en un medi anaerobi i a una temperatura constant, i es mesura la quantitat de metà que es va produint en el temps, fins al màxim possible. En un assaig de biodegradabilitat es dona el percentatge de DQO inicial que es pot transformar, o la producció de metà per cada kg de DQO del residu (vegeu la Taula 2.1.), que presentarà un valor màxim de 0,35. Aquest valor és el màxim de producció possible i tan sols s'aconseguiria en un temps extremadament alt, temps per al qual no acostuma a ser rendible treballar.

L'eficiència del procés depèn del fet que es mantingui un control dels paràmetres ambientals i operatius del procés.

2.3. Paràmetres ambientals

Es consideren paràmetres ambientals els paràmetres sobre els quals usualment no s'actua directament i que depenen de les característiques dels residus que es tracten i del desenvolupament del procés. Per a mantenir un procés estable, cal assegurar que aquests paràmetres mantenen uns valors adequats.

	Purins porc	Gallin-nassa	Purins boví	Terres filtrants olis	Residus escorxador	Fangs depuració amb greixos	Residu vegetal de procés industrial
SV (g/kg)	33,9	200,8	90,2	323,2	239,2	100,8	352,3
DQO (g/kg)	56,2	264,8	80,0	491,6	323,3	167,0	652,1
% biodegradabilitat	54,9	59,0	56,7	84,4	68,3	63,9	45,4
m ³ CH ₄ /kg SV	0,347	0,272	0,196	0,449	0,319	0,373	0,293
m ³ biogàs/ton res.	18,1	84,1	27,2	223,3	117,6	57,8	158,9

Taula 2.1. Resultats d'assaigs de biodegradabilitat anaeròbia per a alguns residus o subproductes (producció de biogàs suposant un contingut del 65% en CH₄)

pH i alcalinitat: el pH òptim es troba entorn de la neutralitat, entre 6,5 i 8. Com s'ha dit abans, l'alcalinitat ha de ser suficient per a mantenir la regulació del pH. L'alcalinitat de les dejeccions ramaderes és prou alta perquè aquest no sigui un problema per al procés i, a més, pot ajudar quan es fan mesclades amb residus amb baixa alcalinitat, com els residus de processat de fruites i verdures.

Potencial redox: cal que sigui prou baix per poder assegurar el desenvolupament de poblacions metanogèniques estrictes, les quals necessiten que aquest potencial sigui inferior a -300 mV. Per això cal que el medi de digestió no tingui oxidants, com l'oxigen (lliure d'aire), nitrats o sulfats.

Nutrients: la relació òptima carboni/nitrogen (C/N) del material a digerir es troba entre 20 i 30, que és la relació que els bacteris necessiten per a créixer. Els valors inferiors impliquen un excés de nitrogen i possibles problemes d'inhibició per amoníac; els valors superiors, fins a 70 per a residus amb alt contingut en carbohidrats, o fins a 200 per a residus amb alt contingut en greixos, no creen problemes importants atesa la baixa taxa de transformació cel·lular dels microorganismes anaerobis. Una forma d'equilibrar aquesta relació és mitjançant mesclades de residus amb relacions C/N diferents (codigestió). Veure taula 2.2.

Presència de tòxics i inhibidors: la presència de desinfectants en els fems o purins i, en menor mesura, d'antibiòtics, pot provocar problemes en el desenvolupament dels microorganismes. L'inhibidor més important en les dejeccions és l'amoniac, el qual augmenta a una concentració determinada de nitrogen amoniacal a mesura que puja el pH i la temperatura. No acostumen a produir-se problemes rellevants en concentracions de nitrogen amoniacal de menys de 3 g/l. Un dels problemes per a fer possible la producció estable de biogàs, tractant gallinassa, és l'alt contingut que té en nitrogen, que passa a amoniacal en el procés.

També cal tenir en compte la concentració de metalls pesants com el coure (Cu), la qual pot presentar valors apreciables en dejeccions de porcí d'engreix. S'han mesurat baixades a la meitat en l'activitat dels bacteris per concentracions de Cu de 200 mg/l. El zinc (Zn) no presenta problemes a les concentracions típiques de les dejeccions.

Subproducte	Relació C/N
Purins de porc	18-20
Purins de bestiar vaquí	15-24
Gallinassa	15
Residus escorxador	2-8
Residus de cuina	25
Residus de fruites	35
Fangs de depuració	16
Peles de patata	25
Blat de moro, arròs, blat	60-90

Taula 2.2. Relació Carboni/Nitrogen (C/N) per a alguns subproductes

2.4. Paràmetres de funcionament

Temperatura: es pot fer la digestió anaeròbia en tres rangs de temperatura: ambient (psicròfila), entorn de 35°C (mesòfila) o entorn de 55°C (termòfila). A mesura que puja la temperatura, augmenta la velocitat del procés, però també s'agregen els problemes de control i d'estabilitat (per exemple, més problemes d'inhibició per amoníac). És usual treballar en el rang mesòfil, però si el nitrogen amoniacal no és limitant, pot ser recomanable treballar en el rang termòfil. En aquest rang es millora la higienització del residu.

Agitació: en reactors on els bacteris es troben en suspensió cal mantenir un grau d'agitació moderat, suficient per mantenir les partícules en suspensió, però no prou violent com per trencar els agregats de bacteris. L'energia de l'agitació ha d'estar compresa entre 30 i 100 Wh/m³·dia.

Temps de retenció: és el temps que el material a digerir es troba en procés. El temps de retenció hidràulic (TRH) és el quocient entre el volum del digestor i el cabal de tractament. Per exemple, si el volum és de 150 m³ i el cabal és de 10 m³/dia, el temps de retenció hidràulic és de 15 dies. El temps de retenció cel·lular (TRC) és el temps mitjà en què els microorganismes són al reactor. En un reactor completament mesclat, els dos temps coincideixen. Si el reactor té un sistema de retenció de sòlids, el TRC és més alt que el TRH i el TRH pot baixar per sota del valor del reactor completament mesclat per a una mateixa eficiència.

A la Figura 2.2. es mostren les evolucions de l'eficiència en eliminar matèria orgànica i produir biogàs per metre cúbic de reactor i dia, en funció del temps de retenció, en un reactor de mescla completa. Cal notar que hi ha un temps mínim per sota del qual no hi ha activitat i que en el cas de dejeccions ramaderes, el període pot anar de 3 a 7 dies. A mesura que augmenta el temps de retenció, augmenta la taxa d'eliminació de matèria orgànica biodegradable, sent molt ràpid el canvi amb temps baixos i més lent a mesura que es treballa amb temps alts de retenció. En canvi, la producció volumètrica de biogàs (m³ biogàs/m³ reactor·dia) és molt alta amb temps baixos, pujant fins a un màxim i baixant després per temps de retenció elevats.

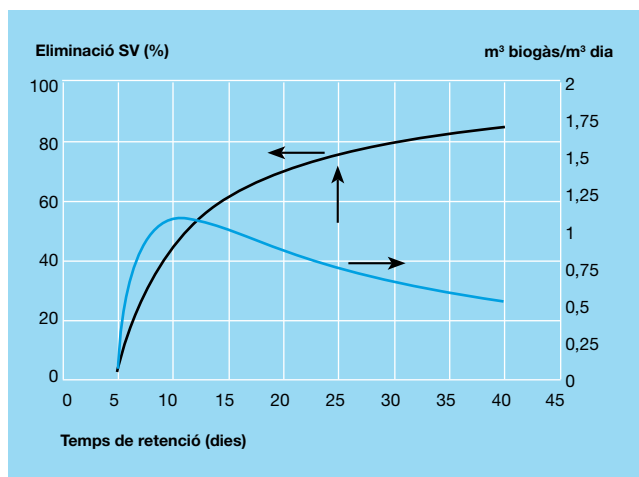


Fig. 2.2. Dependència de la taxa d'eliminació de matèria orgànica biodegradable i de la producció volumètrica de biogàs, del temps de retenció hidràulic. Exemple: per a un temps de retenció hidràulic de 25 dies i una concentració de SV de 60 kg SV/m³, l'eliminació de SV biodegradables és de l'ordre del 75% i la producció de biogàs de l'ordre de 0,75 m³ biogàs/m³·dia.

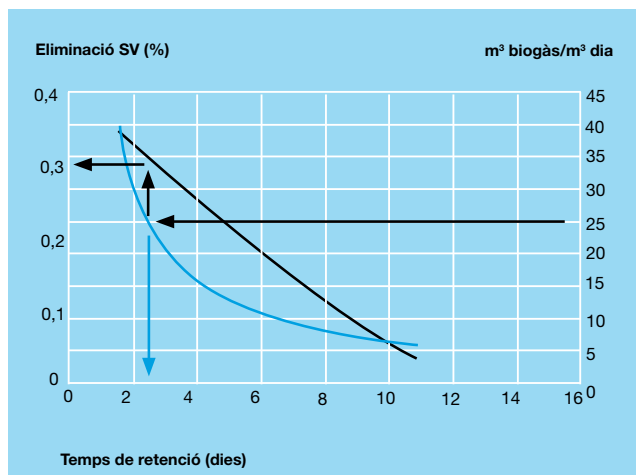


Fig. 2.3. Dependència de la producció específica de biogàs (m^3 biogàs/kg SVo) de la velocitat de càrrega orgànica (VCO) i del temps de retenció. Amb els mateixos valors de l'exemple de la Figura 2.2., per un temps de retenció de 25 dies, la VCO és de $2,4 \text{ kg SVo/m}^3\text{-dia}$ i la producció específica de biogàs de $0,3 \text{ m}^3/\text{kg SVo}$.

Velocitat de càrrega orgànica (VCO): és la quantitat de matèria orgànica que s'entra al digestor cada dia per metre cúbic de reactor i es calcula com el quocient entre la concentració de SV a l'entrada i el temps de retenció. Quan la càrrega orgànica és més elevada, el temps de retenció és menor, de manera que la descomposició de la matèria orgànica va baixant. S'acostuma a treballar amb valors de la càrrega orgànica no superiors a $3,5 - 4 \text{ kg SV/m}^3\text{-dia}$. A la Figura 2.3. s'indica la dependència qualitativa entre la VCO, el TRH i la producció específica de biogàs.

Els valors exactes de producció de biogàs, en funció del temps del TRH o de la VCO, depenen de cada material orgànic (vegeu la Taula 2.1.), de la velocitat amb què cada component del residu es descompondrà i del possible efecte d'alguns inhibidor.

A efectes pràctics

A efectes de primera valoració, sense entrar en detalls tècnics ni fer encara assaigs de biodegradabilitat, es poden estimar valors de producció del 60–70% dels màxims possibles indicats a la taula adjunta, per temps de retenció de l'ordre de 20-25 dies i continguts de metà en el biogàs del 65-70%.

Cal veure que depenen de l'estat de descomposició previ d'un residu o de la composició exacta que tingui, els valors d'aquesta taula baixaran, com es pot comprovar en alguns assaigs de biodegradabilitat (vegeu la Taula 2.1.).

Origen de les dejeccions	($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg SV}$)
Boví de carn	0,35
Vaquí de llet	0,20
Porcí	0,45
Avícola	0,39



3. Descripció d'instal·lacions

A la Fig. 3.1. es mostra l'esquema general d'una instal·lació tipus que està formada per les unitats següents: el digestor, on es produeixen les reaccions de producció del biogàs, els dipòsits d'entrada de residus a digerir (influent) i de sortida de digerits (efluent), el magatzem de biogàs (gasòmetre), la vàlvula de seguretat, la unitat de tractament del biogàs per a depurar-lo, la unitat de transformació energètica (caldera, cogenerador o altre equip) i la torxa d'emergència per a la combustió del biogàs en moments en què la seva producció excedeixi el consum energètic i no hi hagi prou capacitat de magatzem. Hi ha tres circuits generals: el de matèria orgànica, el de gas i el de calefacció del digestor.

3.1. Digestor

El digestor és el cor de la instal·lació. Ha de ser un recipient estanc, amb un volum ocupat per la massa en digestió que correspon al temps de retenció de disseny, i un volum de cap, ocupat pel gas, suficient per acumular escumes que es produeixen i perquè aquestes no passin al circuit de gas. El tipus de digestor més utilitzat és el de mescla completa, que consisteix en un reactor cilíndric en el qual un sistema d'agitació permet homogeneïtzar el material de digestió i evitar que els sòlids se sedimentin i s'acumulin al fons. Si ho fessin, podria minvar el volum útil de digestió i, per tant, el temps efectiu de retenció. Malgrat un bon disseny, sovint no es pot evitar l'acumulació de sorres i altres materials que s'arrosseguen amb els residus a digerir.

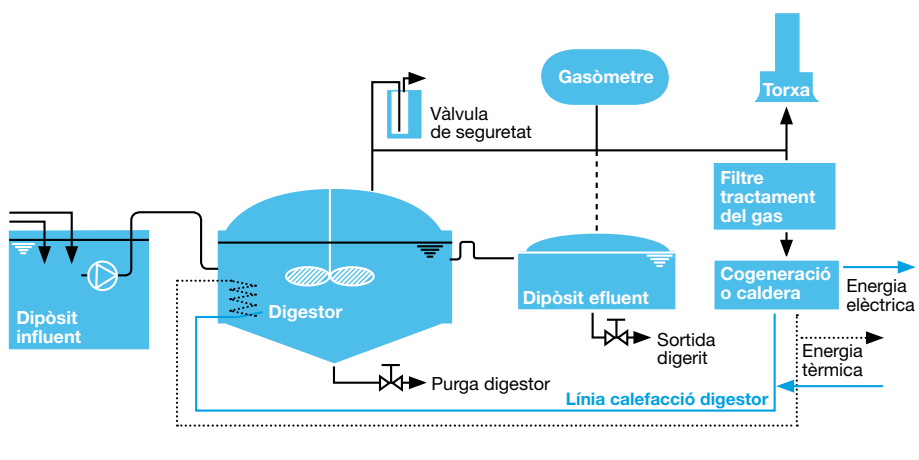


Fig. 3.1. Esquema general d'una instal·lació de digestió anaeròbia

Per aquest motiu, sempre s'ha de preveure un sistema de purga del fons del reactor, amb extracció periòdica (cada 6 o 12 mesos).

L'homogeneïtzació del reactor de mescla completa es pot realitzar amb un agitador mecànic, accionat per un motor elèctric situat sobre l'eix central del digestor (Figura 3.2.) o bé de forma descentrada a la paret lateral (Figura 3.3.). També es pot fer servir l'agitació pneumàtica, mitjançant recirculació del biogàs a pressió, injectant biogàs a l'interior, de manera que el bombolleig permeti l'homogeneïtzació.

El material constructiu del digestor pot ser formigó armat o acer. En cas d'utilitzar formigó, cal assegurar la impermeabilització amb resines de les zones en contacte amb el gas, per tal d'evitar pèrdues pels porus. L'aïllament tèrmic del digestor evitarà pèrdues d'energia, permetrà l'estabilitat tèrmica del procés i, possiblement, menys consum energètic per al manteniment tèrmic de la instal·lació. A la Figura 3.4. es pot apreciar la disposició d'aïllament tèrmic en un digestor d'acer.

Per al tractament de dejeccions ramaderes, amb o sense codigestió, també es pot utilitzar el reactor de flux de pistó, que consisteix en un digestor allargat i horitzontal al qual s'entra el residu a tractar per una banda i surt el digerit per l'altra. Formalment pot ser un dipòsit horitzontal cilíndric (Figura 3.5.) o en forma de caixa de sabates allargada (Figura 3.6.), i caldrà que tingui un sistema d'agitació que permeti la circulació a l'interior, afavorint l'homogeneïtzació transversal però no longitudinal (per exemple, bombolleig de gas a pressió des de sota). Per aquest sistema, cal que una part del digerit es mescli amb l'entrada.

Un sistema més simple consisteix en aprofitar les basses de purins actuals, cobrint-les amb un material que permeti recollir el biogàs produït de forma natural i que afavoreixi un ambient anaerobi, sense aire. Atès que en aquest sistema no s'hi manté la temperatura de digestió i que està sotmès a variacions de temperatura estacional, les produccions de biogàs són inferiors a les d'un reactor de mescla completa o de pistó, però la inversió també és inferior (vegeu la Figura 3.7.). Les produccions de biogàs aproximades respecte a les teòriques es poden situar entre el 20% a l'hivern i el 40% a l'estiu, amb una mitjana genèrica del 30%.

La calefacció del digestor es pot fer mitjançant dos mètodes possibles: 1) bescanviador de calor entre el circuit de calefacció procedent de la caldera o cogenerador i l'influent; 2) bescanviador interior, format per un serpentí alimentat amb l'aigua del circuit de calefacció. El sistema més simple és el segon, però el primer permet no tenir elements a l'interior del digestor que siguin susceptibles de manteniment.

3.2. Dipòsits d'entrada i sortida

El dipòsit d'entrada ha d'estar cobert, per evitar l'entrada d'aigües pluvials i l'emissió de males olors.

És convenient que el dipòsit de sortida també estigui cobert, però en aquest cas per a aprofitar el biogàs que es genera encara de l'efluent digerit. Amb la perspectiva que el magatzem de digerit haurà de ser d'alguns mesos per complir amb el requisit legal d'aplicació agrícola, una coberta estanca servirà per a recollir el biogàs que es va produint durant aquest temps -un procés que l'activen els bacteris que van sortint del digestor- i, fins i tot, per convertir-se en el gasòmetre de la instal·lació i no haver-ne de tenir cap altre (Figura 3.8.).



Fig. 3.2.

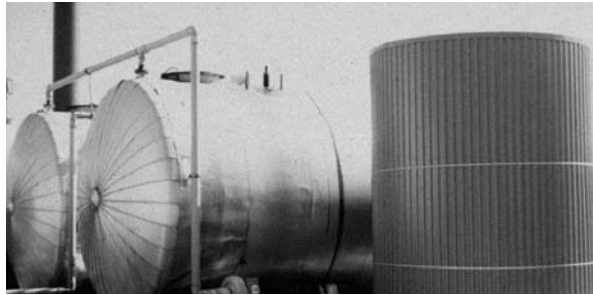


Fig. 3.3.



Fig. 3.3.



Fig. 3.4.



Fig. 3.6.

Fig. 3.2. Agitador localitzat de forma centrada en el reactor (Juneda, 2001)

Fig. 3.3. Agitador localitzat a una paret lateral del reactor (Vilasana, 2007)

Fig. 3.4. Disposició d'aïllament tèrmic sobre un reactor d'acer (Dinamarca, 2001)

Fig. 3.5. Reactors cilíndrics de flux de pistó (Dinamarca, 1993)

Fig. 3.6. Reactors paral·lelepípedics de flux de pistó (Santa Pau, 1982)

3.3. Gasòmetre

Mentre que la producció de biogàs és continua al llarg del dia, els consums de gas de la caldera o cogenerador poden ser variables, depenent de la demanda. El gasòmetre és un volum d'acumulació de gas que serveix per a cobrir el possible desfasament entre producció i consum, com una bateria en una instal·lació elèctrica. El material usual de fabricació és PVC o EPDM, goma flexible, i pot ser una unitat independent (Figura 3.9.), la coberta del dipòsit d'efluent (Figura 3.8.) o bé la pròpia coberta del digester (Figura 3.10.).

3.4. Tractament del gas

El biogàs surt del digester saturat d'humitat i pot contenir concentracions apreciables de sulfur d'hidrogen (H_2S), el qual és corrosiu i pot afectar greument tant l'equip de cogeneració com la caldera. La humitat que porta el biogàs es va condensant a les canonades del circuit de gas i cal disposar de purgadors (petits dipòsits amb aixeta de buidat) per anar recollint l'aigua condensada i evitar que s'acumuli en el circuit.

Fig. 3.7. Aprofitament de gasos produïts de forma natural en basses de purins (Dinamarca, 2001)



Fig. 3.7.

Fig. 3.12.

Fig. 3.8. Gasòmetre situat sobre la bassa d'efluent digerit, amb sistema d'eliminació de sulfur d'hidrogen per introducció d'una petita concentració d'aire (Dinamarca, 2003)



Fig. 3.8.

Fig. 3.10. Gasòmetre flexible amb coberta de digestors anaerobis (Vilasana, 2007)



Fig. 3.9.



Fig. 3.11.

Fig. 3.11. Reactor per la transformació biològica de H_2S en sofre, localitzat en el circuit de gas (Dinamarca, 2003)

Fig. 3.12. Vàlvula de seguretat del circuit de biogàs. (Santa Pau, 1990)

Fig. 3.13. Torxa per a combustió de biogàs excendentari. (Dinamarca, 1995)



Fig. 3.10.



Fig. 3.13.

Hi ha diversos sistemes per a eliminar el sulfur d'hidrogen, dels quals el més simple és l'ús d'un procés biològic de transformació de sulfur a sofre. Aquest procés el realitzen uns bacteris que oxiden el sulfur si poden disposar d'una mínima concentració d'oxigen, requerint alhora matèria orgànica per a créixer. Es pot realitzar en un reactor específic situat en el circuit de biogàs (Figura 3.11.), sobre la capa de purins digerits al dipòsit cobert de l'effluent (Figura 3.8.) o sobre la capa de purins en digestió dins del reactor (Figura 3.10.). En aquests darrers dos casos, s'introdueix un cabal d'aire no superior al 6% del cabal de producció de biogàs en l'espai de cap del digestor o del dipòsit, i s'obté un polsim groc (sofre) que queda dipositat sobre la capa superior dels purins.

En el cas d'altres usos del biogàs com l'automoció, les piles de combustible o la substitució de gas natural, caldrà aplicar-li un tractament més complet, amb reducció del contingut de CO_2 .

3.5. Vàlvula de seguretat i torxa

Quan la velocitat de consum de biogàs és inferior a la velocitat de producció, es pot donar una acumulació de gas en el circuit i un augment de pressió. Per tal que aquest augment de pressió no afecti cap element del circuit (per exemple el gasòmetre que, malgrat ser flexible, podrà admetre fins a una pressió màxima determinada), la vàlvula de seguretat ha de poder obrir el circuit de forma automàtica quan s'arriba a una pressió de consigna.

La vàlvula de seguretat més simple s'obté submergint una derivació de la canoana de biogàs en una columna d'aigua. Quan la pressió supera la columna d'aigua, el gas bombolleja i surt del sistema. La profunditat d'aquesta columna d'aigua és la pressió màxima admesa. A la Figura 3.12. s'hi pot apreciar una vàlvula de seguretat construïda segons el principi anterior, que consisteix en un dipòsit petit, en el qual es manté l'altura desitjada d'aigua, amb conducció del gas alliberat i localitzat en un armari aïllat tèrmicament per evitar la congelació de l'aigua.

L'evacuació de biogàs a l'atmosfera per la vàlvula de seguretat s'ha de produir tan sols en casos aïllats. Normalment, la sortida s'hauria de fer de manera controlada, cremant el gas en una torxa (Figura 3.13.) comandada per un pressòstat per tal de no alliberar CH_4 sinó CO_2 (producte de la combustió). El CH_4 té un efecte d'hivernacle 21 vegades superior al CO_2 .

També pot ser convenient enviar el gas a la torxa manualment en moments d'engegada, d'aturada o, en general, en operacions de manteniment.

Fig. 3.14. Flama de la combustió de biogàs en un cremador d'una caldera



Fig. 3.14.

Fig. 3.15. Equip de cogeneració funcionant amb biogàs en una granja de porcs (Vilasana, 2007)



Fig. 3.15.

3.6. Ús energètic del biogàs: caldera o cogeneració

Quan tan sols es desitgi cobrir demanes d'energia tèrmica (per exemple, calefacció de les naus de parts i primera edat en una granja de porcs) serà adient l'ús d'una caldera de gas. El rendiment d'una caldera pot estar entorn del 90%. El cremador s'haurà de modificar lleugerament per tenir en compte que el biogàs conté una part apreciable de CO_2 , aconseguint menys velocitat de sortida del gas i assegurant que la flama no es desenganxi de la tovera del cremador. A la Figura 3.14. es pot apreciar la flama d'un cremador de caldera alimentat amb biogàs.

Si es desitja cobrir demandes d'energia elèctrica i tèrmica, cal utilitzar un equip de cogeneració. En aquests equips, el gas es crema en un motor de combustió interna que acciona un alternador, produint energia elèctrica. Del circuit de refrigeració de l'equip i dels fums d'escapament es recupera energia tèrmica en forma d'aigua calenta o vapor. El rendiment elèctric pot estar comprès entre el 30 i el 40% depenent de l'equip, i el rendiment global (elèctric més tèrmic) pot arribar fins al 85%. A la Figura 3.15. es mostra un equip de cogeneració alimentat amb biogàs.

Exemple

Una planta de biogàs, alimentada amb $53 \text{ m}^3/\text{dia}$ de purins de porc d'una granja de cycle tancat, produeix 852 m^3 de biogàs/dia. S'utilitza un equip de cogeneració amb un rendiment elèctric del 35% i un rendiment tèrmic del 30%. Calcular l'energia elèctrica i tèrmica obtinguda.

Energia del biogàs: $852 \text{ m}^3/\text{dia} \times 6,5 \text{ kWh/m}^3 = 5.538 \text{ kWh/dia}$.

Energia elèctrica: $5.538 \text{ kWh/dia} \times 0,35 = 1.938 \text{ kWh/dia}$. La potència elèctrica és de 81 kW.

Energia tèrmica: $5.538 \text{ kWh/dia} \times 0,30 = 1.661 \text{ kWh/dia}$. La potència tèrmica és de 69 kW.

Als valors anteriors caldrà descomptar els consums del propi equip i dels equips de la planta de biogàs per obtenir l'energia susceptible de ser venuda o aprofitada en altres instal·lacions.



4. Aplicació a dejeccions ramaderes

4.1. Aplicació a purins de porc

A Catalunya es produeixen més de 10 milions de m³ de purins de porc l'any, que són les dejeccions més abundants. Per aquest motiu, poden ser el substrat més comú per a produir biogàs. La producció de biogàs per metre cúbic depèn del contingut en sòlids volàtils biodegradables i, sobretot, del temps d'espera entre el moment en què es generen i l'entrada al digestor. A la Taula 4.1. es mostra un exemple que pot servir de pauta per a estimar el cabal diari i el contingut en sòlids volàtils. En aquest cas s'ha considerat que el contingut en SV és del 70% dels ST, encara que el valor pot arribar a ser del 65%.

El potencial de producció màxima de metà de purins de porc és de 0,45 m³ de CH₄/kg SV. Si el contingut en metà del biogàs és del 65% (valor mitjà, que pot arribar en algun cas al 70%), el potencial de producció de biogàs seria de 0,69 m³ biogàs/kg SV. La producció real baixa per dos factors: 1) amb un temps de retenció aproximat de 20 dies, la producció estarà entorn del 60% del valor màxim; 2) si s'espera més a digerir els purins, aquests van produint gas de forma natural, fent que es pugui baixar a un 30% d'aquest valor amb temps de magatzem sota la nau de més de 3 mesos. Un valor aproximat a efectes d'avaluació del biogàs produïble és de 0,41 m³ biogàs/kg SV. Un assaig de biodegradabilitat ha de permetre una valoració més exacta.

	a	b	c	d	e= b·c/1000	g= e·100/f	h= d·g/100	i= h·10·0,7
	Pes (kg)	Nº Animals	l purins /cap·dia	% ST	Cabal (m ³ /d)	Aportació cabal%	Aport ST %	SV (kg/m ³)
Porcs d'engreix	20-50	1.600	3,5	8	6	11,50	0,92	6,44
Porcs d'engreix	50-100	1.600	6,5	8	10	21,35	1,71	11,96
Mascles reproductors	>140	14	10	3,2	0	0,29	0,01	0,06
Truja seca	>140	100	10	3,2	1	2,05	0,07	0,46
Truja gestant	>150	1.400	12	3,2	17	34,49	1,10	7,73
Truja amb lactants	>150	300	16	2	5	9,85	0,20	1,38
Transició	<20	4.986	2	7	10	20,47	1,43	10,03
TOTAL EXPLOTACIÓ (suma)		10.000			f= 49	100	5,44	38,05

Taula 4.1. Exemple per a estimar el cabal de producció de purins i els continguts en sòlids totals (ST) i sòlids volàtils (SV) en una granja de porcs de cycle tancat. Tots els valors són aproximats i els valors exactes depenen de cada granja.

Amb el valor anterior, la producció de biogàs es pot estimar en $0,41 \cdot 38,05 = 15,6 \text{ m}^3 \text{ biogàs/m}^3 \text{ de purins}$, i una producció total de $764,4 \text{ m}^3 \text{ biogàs/dia}$. Amb un temps de retenció de 20 dies, el digestor hauria de tenir un volum útil de 980 m^3 . Aquest valor de producció es pot considerar baix, en comparació amb altres subproductes orgànics i el determina l'alt contingut en aigua o bé el baix contingut en matèria orgànica. De tota manera, els purins de porc tenen tots els nutrients que els bacteris necessiten, permeten un procés estable i són una bona base per codigerir amb altres materials orgànics. Malgrat aquests valors, cal fer notar que el biogàs produït en aquest exemple podria alimentar una caldera d'uns 200 kW tèrmics per a cobrir les demandes de calefacció de les naus de parts i de primera edat.

4.2. Aplicació a purins de bestiar boví i vaquí

Els purins de bestiar boví i vaquí de llet presenten una composició menys variable que els de porcí; tenen un contingut en matèria orgànica més alt i, encara que la producció de biogàs tingui un potencial inferior, la productivitat total acostuma a ser superior. Aquest potencial inferior de producció és deu al sistema digestiu dels remugants, on s'hi ha generat una part del metà (fermentació entèrica). El contingut en sòlids totals es troba entre el 8 i el 12%, amb un 80-82% de sòlids volàtils. Amb un potencial màxim de $0,54 \text{ m}^3 \text{ de biogàs/kg de SV}$ i una realització del 50% d'aquest potencial, la producció de biogàs seria de $22 \text{ m}^3/\text{tona de purins}$, amb un contingut de 80 kg SV/tona . Els valors habituals de producció es troben entre 20 i $25 \text{ m}^3 \text{ biogàs/tona}$. És important veure que de l'assaig de biodegradabilitat de la Taula 2.1., el potencial màxim s'ha mesurat en $27,2 \text{ m}^3 \text{ biogàs/tona}$ per a una mostra concreta.

4.3. Aplicació a gallinassa d'aviram

Les dejeccions d'aviram, gallinassa, presenten dos tipologies: de gallines ponedores i de pollastres d'engreix. Les dejeccions de les segones són sòlides i contenen jaç (palla, serradures o altre material lignocel·lulòsic). Les dejeccions de gallines ponedores són susceptibles de produir biogàs (vegeu la Taula 2.1.), encara que l'alt contingut que tenen en nitrogen i en sòlids pot ocasionar problemes d'inhibició i de maneig. Per aquest motiu cal afegir aigua a la dilució, la qual cosa pot ser un limitant important a la implantació. A la Figura 4.3. es mostra una planta que tracta gallinassa i que la dilueix fins aconseguir una concentració en sòlids de l'ordre del 6-8%.

Fig. 4.1. Planta de biogàs en una granja de porcs al Canadà (2004)

Fig. 4.2. Planta de biogàs col·lectiva a Blahof (Dinamarca, 2003) que, majoritàriament, tracta purins de boví en codigestió

Fig. 4.3. Planta de biogàs que tracta gallinassa de ponedores i pollets al Perú (2007)



Fig. 4.1.



Fig.4.2.

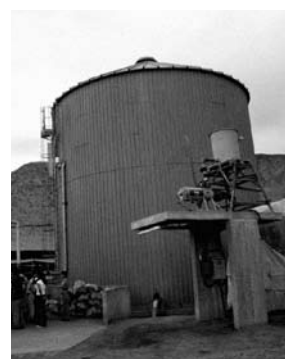


Fig. 4.3.



5. Aplicació a altres residus orgànics

Molts residus de la indústria alimentària també poden produir biogàs. A la Taula 5.1. es mostren els potencials de producció d'alguns d'aquests residus. Sovint, tot i tenir un alt contingut en matèria orgànica, la seva composició no permet una digestió estable per manca d'alcalinitat o per manca dels nutrients necessaris per al creixement dels microorganismes, amb la qual cosa la mescla amb fems o purins pot ajudar a obtenir el màxim profit d'aquests materials.

A la Taula 5.1. es pot comprovar que els residus amb un alt contingut de greix tenen un potencial de producció molt alt. El problema que presenten és que els àcids grassos, producte de la descomposició dels lípids, són inhibidors del procés a altes concentracions. Per aquest motiu, cal diluir per fer el procés possible. Per tal que la dilució no representi un cost elevat, aquesta dilució s'ha de fer amb un altre residu que contingui molta aigua i que alhora la seva digestió presenti interès. El procés de digestió anaeròbia de mescles s'anomena codigestió.

Tipus	Sòlids volàtils (%)	Producció de biogàs (m ³ /tona)
Intestins + continguts	5-20	50-70
Fangs de flotació	13-18	90-130
Terres filtrants d'olis, amb bentonita	40-45	350-450
Olis de peix	80-85	350-600
Xerigot	7-10	40-55
Xerigot concentrat	18-22	100-130
Farines de carn	70-75	300-350
Melmelades	50	300
Oli soja/margarines	90	800-1000
Residus de begudes alcohòliques	40	240
Fangs residuals	3-4	17-22
Fangs residuals Concentrats	15-20	85-110

Taula 5.1. Potencials de producció de biogàs d'alguns residus orgànics de la indústria alimentària



6. La codigestió anaeròbia

El terme codigestió s'utilitza per a expressar la digestió anaeròbia conjunta de dos o més substrats d'origen diferent. L'avantatge principal radica en aprofitar la sinèrgia de les mescles, compensant les carències de cadascun dels substrats per separat. Els objectius generals i, a la vegada, els avantatges són:

1. Aprofitar la complementarietat de les composicions per permetre perfils de procés més eficaços.
2. Compartir instal·lacions de tractament.
3. Unificar metodologies de gestió.
4. Esmorteir les variacions temporals en producció i composició de cada residu per separat.
5. Reduir costos d'inversió i explotació.

A la Taula 5.1. es comprova que molts residus industrials tenen un elevat potencial energètic. Malgrat això, aquests poden presentar problemes en la seva digestió, com la deficiència en els nutrients necessaris per a desenvolupar microorganismes anaerobis, la baixa alcalinitat o l'excessiu contingut en sòlids que provoquin problemes mecànics. Les dejeccions ramaderes, i en concret els purins (de porc o de vaquí), poden ser una bona base per a la codigestió ja que, generalment, presenten un contingut en aigua més elevat, una capacitat tampó superior i aporten una àmplia varietat de nutrients i de micronutrients necessaris per al creixement dels microorganismes.

A la Taula 6.1. es mostren les característiques relatives per a la codigestió. Signes de sentit contrari indiquen un possible interès de la mescla, en compensar-se una carença d'un dels residus. L'alcalinitat dels fangs de depuració presenta tanta variabilitat que es fa difícil generalitzar. La codigestió ha de permetre produccions de biogàs que assegurin la rendibilitat de la instal·lació. Aquesta va ser la base de les plantes centralitzades de digestió anaeròbia de Dinamarca, les quals van ser impulsades pel govern danès a final dels anys vuitanta tant per aconseguir que els residus orgànics fossin una font energètica renovable realitzable com per tenir un control sobre la gestió, el tractament i l'ús agrícola posterior. A la Taula 6.2. es mostren els cabals de dejeccions i altres residus segons el seu origen i les produccions de biogàs en un any, en nou plantes de gestió centralitzada a Dinamarca.

Taula 6.1. Característiques relatives de diferents residus orgànics per a la codigestió

	Dejeccions ramaderes	Fangs de depuració	Fracció orgànica Residus Municipal	Residus indústria alimentària
Micro i macronutrients	+	+	-	-
Relació C/N	-	±	+	+
Alcalinitat	+		-	-
SV biodegradables	-	±	+	+

	V.Hjer-mitslev	Vegger	Sinding - Ørre	Fangel	Hodsager	Filskov	Hashoj	Snertinge	Thorso
Volum digestor (m³)	1.500	800	2.100	3.200	880	880	2.900	2.800	4.600
Temperatura procés (M,T)	M	T	M	M	M	T	M	T	T
Residus agropecuaris (m³/any)	10.610	13.656	35.720	48.504	12.248	18.514	27.497	29.004	91.741
Purins boví o vaquí	7.015	13.656	11.980	11.541	10.449	17.655	7.822	9.949	29.432
Purins de porc	3.595		23.654	32.462	1.619	841	17.718	19.055	45.232
Gallinassa				2.482					1.138
Altres fems			86	2.019			1.957		15.910
Residus de collites					180	18			29
Residus orgànics (m³/any)	5.636	6.898	13.723	9.143	6.234	11.506	18.657	14.805	23.272
Contingut intestinal		1.150	5.797	2.276	3.898	5.454	7.639	116	10.026
Fangs de flotació (greixos)		2.613		3.855		6.052	8.213	6.210	4.200
Farratges			59		275			41	125
Indústria del peix	5.296	1.288			1.874		576	25	1.561
Fruïtes i verdures				529				1.586	
Indústria cer-vesera								2.208	
Indústria de la llet			2.649						
Terres filtrants d'olis		1.447	3.776						
Indústria de l'adobatge	340			1.527					
Indústries farmacèutiques		96	448	956			1.264	3.118	2.308
Altres indústries		99	994				965		
Fangs de depuradores		205			187			1.501	5.052
TOTAL RESIDUS (m³/any)	16.246	20.554	49.443	57.647	18.482	30.020	46.154	43.809	115.013
% purins i fems	65	66	72	84	65	62	60	66	80
Temps retenció mitjà (dies)	34	14	16	20	17	11	23	23	15
Prod. biogàs (x1.000 m³/any)	1.492	2.013	2.348	2.275	656	1.224	2.504	1.694	3.281
m³ biogàs/m³ residu	92	98	47	39	35	41	54	39	29

Taula 6.2. Origen dels afluents tractats en nou plantes daneses de biogàs de codigestió i gestió centralitzada, així com les seves produccions de biogàs (Font: Danish Centralised Biogas Plants. Progress Report 1999)



7. El potencial energètic dels residus per digestió anaeròbia

7.1. El biogàs a Europa i a l'Estat espanyol

S'estima que l'any 2006 es van produir a Europa 5,35 Mtep procedents de biogàs. A la Taula 7.1. es mostra la producció dels deu països més destacats l'any 2005 i l'estimada durant el 2006. S'observa que durant aquest període, la producció total va augmentar un 13,6% (un 15,9% d'increment entre 2004 i 2005) i que la que va tenir un augment més significatiu va ser l'energia produïda en plantes descentralitzades de tractament de residus agraris, en les de residus municipals i en les plantes centralitzades de codigestió.

A la Taula 7.1. es distribueix la producció energètica segons tres orígens: a) recuperació de biogàs d'abocadors; b) digestió anaeròbia de plantes de tractament d'aigües residuals, urbanes o industrials, tractant fangs de depuració; c) plantes descentralitzades de residus agrícoles i ramaders, plantes de tractament de residus municipals i plantes centralitzades de codigestió.

Fins a l'any 2005, el país que es trobava a la capçalera d'Europa era la Gran Bretanya, bàsicament per la recuperació de biogàs d'abocadors degut al sistema de certificació d'energia renovable. Aquest sistema, el ROC (Renewable Obligation Certificate) obliga les companyies subministradores d'electricitat a incrementar anualment la producció d'origen renovable, amb un nivell del 6,7% en el període 2006/2007 i una progressió fins al 15,4% l'any 2015, ja sigui mitjançant fonts pròpies o comprant drets a productors renovables. Quan l'objectiu d'increment no s'aconsegueix, la companyia elèctrica ha de pagar una taxa de 47,22 € (2007) per cada MWh renovable no obtingut.

Alemanya s'ha avançat al primer lloc d'Europa en la producció d'energia via biogàs, principalment per la gran activitat en la implantació de petites plantes descentralitzades de tractament de residus ramaders i agrícoles, amb producció d'energia elèctrica i aprofitament d'energia tèrmica mitjançant cogeneració. A final del 2006, a Alemanya hi havia inventariades 3.500 plantes de biogàs en funcionament i amb un taxa d'increment de 50 plantes al mes.

La gran activitat a Alemanya en aquest camp s'explica per les tarifes aplicades a l'electricitat produïda en petites plantes de biogàs. Aquestes tarifes, que decreixen un 1,5% cada any a partir de 2005, presenten els valors següents l'any 2006:

- 17,16 c€/kWh per unitats inferiors a 150 kW;
- 15,63 c€/kWh per unitats fins a 500 kW;
- 12,64 c€/kWh per unitats fins a 5 MW;
- 8,15 c€/kWh per unitats fins a 20 MW.

L'electricitat produïda del biogàs procedent d'abocadors o de fangs de depuració té una tarifa específica a Alemanya de 7,44 c€/kWh en unitats de fins a 500 kW i de 6,45 c€/kWh en unitats fins a 5 MW. Totes les tarifes anteriors s'incrementen en 2 c€/kWh si l'electricitat es produeix mitjançant una tecnologia innovadora, com les piles de combustible o les turbines de gas. Alemanya ocupa el segon lloc en la producció d'energia de biogàs per habitant. Altres incentius aplicats són la possibilitat de rebre subvencions de fins a 15.000€ per instal·lacions de menys de 70 kW i la possibilitat de subscriure crèdits de baix interès per a finançar la inversió.

Itàlia i Espanya ocupen la tercera i quarta posició, respectivament, en producció de biogàs, degut principalment a l'aprofitament de gasos d'abocador, encara que Itàlia va presentar una producció elèctrica estimada significativament superior el 2006 (1.234 GWh a Itàlia i 675 GWh a Espanya). En el sistema italià, els productors i importadors d'energia tenien l'obligació, el 2006, de subministrar un mínim del 2,7% d'energia amb certificat verd, i s'acceptava com a tal l'energia procedent de biogàs de residus orgànics. El preu mitjà a Itàlia del certificat verd va ser de 13,91 c€/kWh el 2006.

	2005				2006			
	Recuperació de biogàs d'abocadors	Digestió de fangs a plantes de depuració	Plantes de biogàs específiques	Total 2005	Recuperació de biogàs d'abocadors	Digestió de fangs a plantes de depuració	Plantes de biogàs específiques	Total 2006
Alemanya	573,2	369,8	651,4	1.594,4	573,2	369,8	980,2	1923,2
Gran Bretanya	1.421,0	179,0	-	1.600	1.515	181,0	-	1696,0
Itàlia	301,7	0,9	40,9	343,5	310,8	0,9	42,1	353,8
Espanya	236,5	56,8	23,6	316,9	251,6	56,8	25,8	334,3
França	141,0	75,0	4,0	220,0	148,0	75,0	4,0	227,0
Holanda	38,8	50,8	29,4	119	38,8	50,8	29,4	119
Àustria	8,3	2,7	19,8	30,8	11,2	3,5	103,4	118,1
Dinamarca	14,2	23,3	54,0	91,5	14,2	23,5	56,5	94,2
Polònia	25,1	25,3	0,3	50,7	27,5	65,8	0,5	93,8
Bèlgica	51,1	25,2	7,7	84	50,6	25,0	7,8	83,3
TOTAL EUROPA	2.946,2	901,6	859,8	4.707,6	3.116,2	949,5	1.281,1	5346,7

Taula 7.1. Producció de biogàs, en unitats d'energia primària (en ktep), a la Unió Europea el 2005 i estimada per al 2006 als deu països més destacats.

A Dinamarca, la producció energètica de biogàs procedeix en un 60% de 20 plantes centralitzades i unes 60 petites plantes en granges, i l'aportació del biogàs dels abocadors és d'un 15%. La gestió centralitzada de residus orgànics i la codigestió de dejeccions ramaderes i residus industrials ha estat una de les grans aportacions de Dinamarca en aquest sector. El pla de plantes centralitzades endegat a mitjan anys vuitanta ha estat un referent fins ara. Malgrat que, en valors absoluts d'energia produïda, Dinamarca ocupi el vuitè lloc a Europa, és el quart en energia produïda de biogàs per càpita.

En unitats d'energia produïda per càpita, destaca Àustria en cinquè lloc el 2006, amb un increment en la producció energètica de biogàs del 283% respecte al 2005. Una explicació d'aquest creixement són les tarifes vigents, les quals han incentivat el mercat: 16,5 c€/kWh (potència inferior a 100 kW), 14,5 c€/kWh (potència fins a 500 kW), 12,5 c€/kWh (potència fins a 1MW) i 10,3 c€/kWh (potència superior a 1MW). Per a l'energia elèctrica produïda a partir de biogàs d'abocadors, les tarifes són sensiblement inferiors.

El 2006, Espanya ocupava el novè lloc a Europa pel que fa a la producció de biogàs (7,6 tep/1.000 habitants), amb una aportació que procedia, bàsicament, de biogàs d'abocadors. A principi dels anys vuitanta hi va haver un desenvolupament apreciable d'instal·lacions, del mateix ordre que en altres països europeus, incentivat per un programa de subvencions. La baixada relativa posterior dels preus del petroli, la desaparició dels incentius i un retard en el desenvolupament de polítiques ambientals i d'aplicació d'energies renovables no va permetre un mercat que afavorís noves plantes en granges. L'aprovació del Reial decret 661/2007, amb un salt quantitatiu important del valor de les primes per la producció i venda d'energia elèctrica de biogàs a partir de residus i subproductes del sector primari, pot representar l'inici d'un nou desenvolupament que permeti una aportació substancial d'aquest sector al balanç energètic del país.

7.2. Altres usos energètics

Suècia destaca a Europa per l'impuls a l'ús del biogàs com a carburant per a vehicles, amb la implantació d'una reducció de taxes del 30% (implantada l'octubre de 2006) a la compra de vehicles que consumeixen biogàs. També destaca per l'impuls a la injecció de biogàs tractat (reducció del contingut en CO₂ i H₂S) a la xarxa de gas natural, amb un objectiu d'1,8 milions de m³ de gas natural substituït per any.

Els dos usos anteriors, en els quals Suècia s'està convertint en referent, són una alternativa a considerar quan no és possible fer servir l'energia tèrmica recuperada en un procés de cogeneració, obligant a dissipar-la i, per tant, a perdre energia. Amb la injecció a la xarxa de gas natural seria possible fer servir el gas on hi hagi demanda. La necessitat de depurar el biogàs i elevar la pressió a la de servei de la xarxa, suggereix que es pot plantejar en plantes centralitzades de tractament, localitzades en zones sense possible demanda d'energia tèrmica.

Tot i que la injecció a la xarxa encara no s'ha desenvolupat a Espanya, l'ús de biogàs per a automoció ja disposa d'alguna experiència.

La transformació del biogàs en electricitat en cel·les de combustible és un procés que pot arribar a tenir preus assequibles en pocs anys. Aquestes s'alimenten d'aire i d'hidrogen, obtingut de la depuració del biogàs (eliminació de CO_2 i H_2S) i del seu reformat (obtenció d' H_2 a partir del CH_4). A les cel·les de combustible es produeix una reacció electroquímica entre l'hidrogen i l'oxigen de l'aire, que dona lloc a un corrent elèctric i aigua. L'eficiència en la transformació elèctrica pot ser de l'ordre del 40-50%, i també poden permetre recuperar calor. A part d'aquesta elevada eficiència elèctrica, altres avantatges respecte als motors de combustió són la reducció d'emissions gasoses contaminants, bàsicament òxids de nitrogen i monòxid de carboni, atesa l'absència de combustió.

7.3. Normativa legal de referència

7.3.1. Marc normatiu a la Unió Europea

En el global de la Unió Europea, el percentatge de participació de les energies renovables, l'any 2006, és del 6,9%. A Catalunya, el percentatge es troba per sota de la mitjana europea i és del 2,4%. A l'hora de valorar i comparar percentatges com aquests, cal tenir en compte factors com el potencial màxim en energies renovables de què disposa cada país (intimament lligat a les característiques de cada territori com la geografia, la climatologia, la grandària, etc.), el grau d'industrialització o la densitat de població. En aquest sentit, Catalunya té un elevat consum d'energia a causa, principalment, de la seva industrialització i de l'elevada densitat de població d'algunes zones i uns recursos naturals relativament limitats.

Això fa que sigui més difícil assolir un determinat percentatge de participació de les energies renovables que no pas en països com Finlàndia o Suècia, que tenen una densitat de població molt baixa i molts recursos naturals. Un altre exemple similar és el cas d'Alemanya, que tot i tenir un gran nombre d'instal·lacions d'energies renovables en valor absolut, la seva participació en el balanç d'energia primària és reduïda (5,9%), ja que el consum energètic total és molt elevat.

Els principals compromisos i directives establertes en el marc de la Unió Europea que directament o indirecta fomenten l'ús de les energies renovables són:

- El **Llibre blanc de les energies renovables** a la Unió Europea (1997) fixa com a objectiu que, l'any 2010, el 12% del consum d'energia primària a la UE sigui d'origen renovable.
- La **Directiva 2001/77/CE** relativa a la promoció d'electricitat a partir de fonts renovables al mercat interior de l'electricitat estableix un objectiu per a l'any 2010 del 22,1% de l'electricitat bruta d'origen renovable per al conjunt de la UE. En el cas concret de l'Estat espanyol, l'objectiu és del 29,4%.

7.3.2. Marc normatiu a l'Estat espanyol. Sistema de primes a la producció elèctrica

A l'Estat espanyol, la generació elèctrica es desglossa en dos grans grups: el Règim ordinari i el Règim especial. El Règim especial acull els productors d'energia elèctrica (potències inferiors a 50 MW) a partir d'instal·lacions de cogeneració, d'energies renovables, de residus i de tractament de residus, mentre que el Règim ordinari s'associa a la resta de centrals productores. El Règim especial es troba regulat pel Reial decret 661/2007, de 25 de maig, el qual substitueix l'anterior Reial decret 436/2004, aportant una nova regulació a l'activitat de producció d'energia elèctrica en Règim especial, mantenint-ne l'estructura bàsica. El marc econòmic establert en el RD 661/2007 desenvolupa els principis recollits a la Llei 54/1997, de 27 de novembre, del sector elèctric, garantint als titulars d'instal·lacions en Règim especial una retribució raonable per les seves inversions, si bé s'incentiva la participació en el mercat. D'aquesta manera, es manté un sistema anàleg al que preveia el reial decret anterior, el 436/2004, en el qual el titular de la instal·lació pot optar per vendre la seva energia a una tarifa regulada, única per a tots els períodes de programació, amb la novetat que es deslliga de la tarifa mitjana o de referència utilitzada fins llavors, o bé vendre l'energia al mercat i percebre, en aquest cas, el preu negociat en el mercat més una prima. En aquest últim cas, s'introdueix una novetat per a certes tecnologies, uns límits inferiors i superiors per la suma del preu horari del mercat diari més la prima de referència, de manera que la prima a percebre a cada hora pugui quedar acotada en funció d'aquests valors. D'altra banda, s'estableixen uns objectius de potència instal·lada de referència, als quals s'aplicarà el règim retributiu establert en aquest Reial decret.

Taula 7.1. Tarifes per a les instal·lacions dels grups a.1.3 (b.7) i b.7 segons el RD 661/2007 (actualització per a l'any 2008).

Grup	Subgrup	Potència elèctrica	Període (anys)	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referència c€/kWh	Límit Superior c€/kWh	Límit Inferior c€/kWh
a.1.3) Cogeneració amb biogàs i/o biomassa (mín. 90% de l'energia primària utilitzada)	b.7.1) Biogàs d'abocador		15 primers	8,5059	4,2154	-	-
	b.7.2) Biogàs generat en digestors	P ≤ 500 kW P ≥ 500 kW	15 primers	13,7945 10,2935	10,422 6,3053	-	-
	b.7.3) Fems i biocombustibles líquids		15 primers	5,5396	3,1877	-	-
b.7) Instal·lacions que utilitzin com a combustible principal biogàs, fems i biocombustibles líquids	b.7.1) Biogàs d'abocador		15 primers	8,2597	3,905	9,2602	7,6892
	b.7.2) Biogàs generat en digestors	P ≤ 500 kW P ≥ 500 kW	15 primers	13,5068 10,0043	10,0969 5,9709	15,8436 11,3995	12,7637 9,8699
	b.7.3) Fems i biocombustibles líquids		15 primers	5,5396	3,1877	8,6091	5,2709

El RD 661/2007 agrupa les tecnologies de producció elèctrica, considerant en primer lloc si es produeix electricitat i calor mitjançant cogeneració o no i, posteriorment, considerant la font utilitzada. A títol orientatiu, a la Taula 8.1. es presenten els preus que resulten d'aplicar aquest règim econòmic (segons l'actualització de les tarifes per a l'any 2008, publicades a l'Ordre ITC/3.680/2007, de 28 de desembre, per la que es revisen les tarifes elèctriques a partir de l'1 de gener de 2008) per als grups a.1.3 i b.7, corresponents al biogàs.

En general, els imports de les tarifes regulades, primes, límits superiors i inferiors i complements per al biogàs (igualmente per a tot el grup b i el subgrup a.1.3) s'actualitzen anualment segons l'increment de l'IPC menys el 0,25% fins al 31 de desembre del 2012 (menys el 50% a partir de llavors). Durant l'any 2010 es revisaran els imports de totes les tecnologies incloses al RD 661/2007, tenint en compte els costos associats d'aquestes, el grau de participació del Règim especial en la cobertura de la demanda i la seva incidència en la gestió tècnica i econòmica del sistema, garantint unes taxes raonables de rendibilitat. Cada quatre anys, a partir de llavors, es realitzarà una nova revisió, mantenint els criteris anteriors.

7.3.3. Tràmits administratius per a produir energia elèctrica en Règim especial

Per a desenvolupar legalment l'activitat de producció elèctrica en Règim especial, com és el cas d'una planta d'aprofitament energètic de biogàs i tenir dret als beneficis que la legislació atorga, d'acord amb el que determina el RD 661/2007, cal complir els tràmits següents:

- Obtenció de la condició d'instal·lació acollida al Règim especial.
- Autorització administrativa de la instal·lació.
- Aprovació del projecte executiu.
- Autorització de posada en marxa en proves, si el titular ho considera convenient.
- Inscripció provisional en el Registre d'Instal·lacions de Producció en Règim Especial de Catalunya (RIPRE), si se sol·licita la posada en marxa en proves.
- Autorització de posada en marxa definitiva.
- Inscripció definitiva en el Registre (RIPRE).

Per a cadascun dels tràmits indicats, cal aportar la documentació i complir els requisits que determina el real decret esmentat, així com la resta de legislació aplicable segons cada tecnologia en concret.



8. Anàlisi econòmica d'instal·lacions

El primer pas per avaluar una instal·lació és el seu dimensionat, en funció dels materials a digerir. S'avaluaran tres instal·lacions genèriques que tracten 3 mescles diferents de residus biodegradables. Cal notar que aquestes avaluacions són indicatives, pretenen tan sols donar ordres de magnitud i mostrar el mètode d'avaluació a partir de les hipòtesis que es prenen. Per a una avaluació detallada cal un estudi de les condicions particulars de cada instal·lació i de la producció específica de biogàs de cada residu a codigir, la qual dependrà de la seva composició particular.

8.1. Dimensionat

Se suposen tres plantes amb cabals de tractament i mescles diferents de residus a codigir.

A la **planta 1** es tracten 13.000 tones/any (35,6 tones/dia) de la mescla de residus biodegradables que es mostra a la Taula 8.1. Aquesta mescla té una base del 68% de purins de porc amb un contingut relativament baix de sòlids volàtils biodegradables (3,4%, uns 34 g SV/kg) i es complementa amb petites proporcions de diverses tipologies de residus biodegradables, detallats també a la Taula 8.1. Per a l'estimació de la producció de biogàs màxima d'aquesta mescla s'ha de partir del potencial de producció de cada residu (columna B a la Taula 8.1.) i del contingut en matèria orgànica (columna A) si la producció de biogàs està referida a aquest valor. Atès que una concentració molt elevada en nitrogen pot ocasionar problemes d'inhibició, és convenient tenir informació sobre aquesta concentració (columna C). La concentració final de matèria orgànica (suma del producte de les columnes D per A), el potencial de producció de la mescla (suma dels productes de les columnes D per A i per B) i el contingut en nitrogen (suma dels productes de les columnes D per C) dona la informació bàsica per al dimensionat.

A la **planta 2** (Taula 8.3.), amb un cabal de tractament de 25.500 tones/any (69,9 tones/dia), s'han substituït els residus d'escorçador (intestins i contingut intestinal) i els fangs residuals dels tres tipus de la planta 1 per farines de carn, gallinassa de ponedores i fruita podrida. La mescla millora lleugerament la producció de biogàs, però incrementa considerablement el contingut en nitrogen, sobretot les farines de carn i la gallinassa. Per aquest motiu, cal que la proporció d'aquests residus sigui relativament baixa.

A la **planta 3** (Taula 8.5.), amb un cabal de tractament de 55.000 tones/any (150,7 tones/dia), s'ha reduït lleugerament el contingut de farines de carn fins a un 2% respecte de la planta 2 i s'han introduït terres filtrants d'oli. Aquests darrers residus tenen un potencial elevat de producció de biogàs i un contingut alt de matèria orgànica. Atès el cabal de tractament, aquesta planta es podria considerar centralitzada.

La fracció problemàtica de nitrogen és el contingut en nitrogen amoniacal lliure (NH_3), el qual serà una part del nitrogen amoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) que anirà augmentant al llarg del procés de descomposició de la matèria orgànica, a mesura que el nitrogen orgànic (N_{org}) vagi passant a amoniacal. El nitrogen total inicial serà la suma de les diferents fraccions (orgànic més amoniacal). Tot i que hi pot haver un procés d'acimatació dels bacteris a alts continguts en nitrogen, és convenient no sobrecarregar el sistema fins que no s'hagi comprovat que aquesta acimatació ha tingut lloc. En els tres exemples analitzats s'ha tractat que el nitrogen total inicial no sobrepasés els 6 g N/kg.

Per al càlcul del temps de retenció hidràulic s'ha fixat la velocitat de càrrega orgànica en 3 kg SV/m³ digestor i dia, com a valor de referència. El temps de retenció serà el quocient entre la concentració de sòlids volàtils a la mescla d'entrada i la velocitat de càrrega orgànica. A la planta 1 aquest temps és de 28 dies, mentre que a les plantes 2 i 3 és de 30,9 i 25 dies respectivament (taules 8.2., 8.4. i 8.6.). Cal veure que el temps ha d'augmentar a mesura que incrementa la concentració de matèria orgànica en el material a digerir. El manteniment d'un temps de retenció fixat per a una concentració creixent de matèria orgànica a l'entrada es tradueix en una disminució de l'eficiència en la transformació en biogàs en reactors de mescla completa (vegeu les figures 2.2. i 2.3.).

El volum útil de digestió és el producte del cabal (en m³/dia) pel temps de retenció (en dies). Atès el contingut en sòlids d'aquests exemples, es pot considerar una tona com un metre cúbic, sense cometre un error massa apreciable. Aquest volum s'ha d'augmentar per tal de tenir un espai de cap en el digestor que acumuli escumes i permeti la recollida del biogàs. A les taules 8.2, 8.4 i 8.6 s'ha augmentat el volum calculat en un 10%, aproximadament, per obtenir el volum total dels digestors.

La producció específica de biogàs s'ha estimat suposant una eficiència del 80% en tots els casos, sobre la base de la producció màxima de biogàs suposada per a cada instal·lació. La producció volumètrica és la producció de gas per unitat de volum de digestor i dia. En els casos estudiats, aquesta producció dóna de l'ordre d'1, el qual és un valor molt típic per a digestors de mescla completa. La producció anual de biogàs s'ha estimat suposant un funcionament continuat al llarg de tot l'any.

A partir de la producció anual de biogàs, la potència elèctrica s'ha estimat considerant les hipòtesis següents: contingut en metà del biogàs del 65%; PCI del metà de 8.600 kcal/m³; eficiència elèctrica de l'equip cogenerador del 35%. L'eficiència en la recuperació d'energia tèrmica s'ha considerat del 50%.

Per a l'estimació de l'energia elèctrica i tèrmica susceptible de ser valorada econòmicament, s'ha considerat un temps de funcionament del cogenerador de 8.000 hores/any i unes pèrdues del 10% en la conducció de l'energia tèrmica per al càlcul de l'energia bruta produïda. Part de l'energia bruta produïda s'ha de destinar a autoconsums de la instal·lació, els quals s'han valorat en un 10% de l'energia elèctrica i en 25 kWh tèrmics/m³ residu tractat. Aquest valor d'autoconsum d'energia tèrmica per a mantenir la temperatura del digestor depèn de les condicions climàtiques de la zona i de l'època de l'any. De la diferència entre l'energia bruta produïda i els autoconsums elèctrics i tèrmics s'obté la producció neta d'energia, que apareix a les taules 8.2., 8.4. i 8.6.

Planta 1

Taula 8.1. Estimació de la producció màxima de biogàs, de la concentració de sòlids volàtils (SV) i del nitrogen total a la planta 1, codigirint els residus que s'indiquen.

Mescla codigestió 1	Dades dels residus			Dades de la mescla a codigirir			
	SV (g/kg)	Producció biogàs (m ³ /kg SV)	Nitrogen total (g N/kg)	Proporció de la mescla	SV aportats (g SV/kg)	Biogàs aportat (m ³ /tona)	N aportat (g N/kg)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(D·A)	(D·A·B)	(D·C)
Intestins i contingut intestinal	175	0,34	8,0	1%	1,8	0,6	0,08
Fangs depuració amb greixos	155	0,71	5,0	5%	7,8	5,5	0,25
Fangs residuals	35	0,56	1,5	5%	1,8	1,0	0,08
Fangs residuals concentrats	175	0,56	7,7	5%	8,8	4,9	0,39
Purins porc	34	0,53	4,0	68%	23,1	12,3	2,72
Purins boví	90	0,30	4,0	4%	3,6	1,1	0,16
Fangs de flotació	101	0,57	2,0	2%	2,0	1,2	0,04
Residu vegetal de procés ind.	352	0,45	1,0	10%	35,2	15,9	0,10
TOTAL				100%	83,9	42,4	3,81

Taula 8.2. Dades de dimensionament bàsic de la planta 1, codigirint els residus indicats a la Taula 8.1

Cabal de tractament	13.000	m ³ /any = 35,6 m ³ /dia	
Velocitat de càrrega orgànica	3	kg SV/m ³ ·dia	
Temps de retenció hidràulic	28,0	dies	
Volum útil de digestió	996,1	m ³	
Volum total de digestor	1100	m ³	
Producció específica de biogàs	33,9	m ³ /tona (eficiència del 80%)	
Producció volumètrica de biogàs	1,1	m ³ /m ³ digestor·dia	
Producció total de biogàs	440.769,1	m ³ biogàs/any	
Potència elèctrica	114,3	kWe	
Producció d'energia (si 8.000 hores/any)		Producció bruta	Autoconsums
Energia elèctrica (kWh/any)	914.430	91.443	822.987
Energia tèrmica (tèrmies/any)	1.012.561	279.904	732.657

Planta 2

Mescla codigestió 2	Dades dels residus			Dades de la mescla a codigir			
	SV (g/kg)	Producció biogàs (m ³ /kg SV)	Nitrogen total (g N/kg)	Proporció de la mescla	SV aportats (g SV/kg)	Biogàs aportat (m ³ /tona)	N aportat (g N/kg)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(D-A)	(D-A-B)	(D-C)
Farines de carn	725	0,45	90,0	2,5%	18,1	8,1	2,25
Purins porc	34	0,53	4,0	55,5%	18,8	10,0	2,22
Gallinassa	201	0,42	8,0	2,0%	4,0	1,7	0,16
Purins boví	90	0,30	4,0	15,0%	13,5	4,1	0,60
Fangs de flotació	101	0,57	2,0	15,0%	15,1	8,7	0,30
Residu vegetal de procés ind.	352	0,45	1,0	5,0%	17,6	7,9	0,05
Fruita podrida	110	0,55	0,3	5,0%	5,5	3,0	0,02
TOTAL				100%	92,7	43,6	5,60

Taula 8.3. Estimació de la producció màxima de biogàs, de la concentració de sòlids volàtils (SV) i del nitrogen total a la planta 2, codigirint els residus que s'indiquen.

Cabal de tractament	25.500	m ³ /any = 35,6 m ³ /dia	
Velocitat de càrrega orgànica	3	kg SV/m ³ -dia	
Temps de retenció hidràulic	30,9	dies	
Volum útil de digestió	2.159,2	m ³	
Volum total de digestor	2.400	m ³	
Producció específica de biogàs	34,4	m ³ /tona (eficiència del 80%)	
Producció volumètrica de biogàs	1,0	m ³ /m ³ digestor-dia	
Producció total de biogàs	876.907,1	m ³ biogàs/any	
Potència elèctrica	227,4	kWe	
Producció d'energia (si 8.000 hores/any)		Producció bruta	Autoconsums
Energia elèctrica (kWh/any)	1.819.253	181.925	1.637.328
Energia tèrmica (tèrmies/any)	2.014.484	549.043	1.465.441

Taula 8.4. Dades de dimensionament bàsic de la planta 2, codigirint els residus indicats a la Taula 8.3

Planta 3

Taula 8.5. Estimació de la producció màxima de biogàs, de la concentració de sòlids volàtils (SV) i de nitrogen total a la planta 3, codigirint els residus que s'indiquen

Mescla codigestió 3	Dades dels residus			Dades de la mescla a codigirir			
	SV (g/kg)	Producció biogàs (m ³ /kg SV)	Nitrogen total (g N/kg)	Proporció de la mescla	SV aportats (g SV/kg)	Biogàs aportat (m ³ /tona)	N aportat (g N/kg)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(D-A)	(D-A-B)	(D-C)
Intestins i contingut intestinal	175	0,34	8,0	5%	8,8	3,0	0,40
Fangs depuració amb greixos	155	0,71	5,0	2%	3,1	2,2	0,10
Farines de carn	725	0,45	90,0	2%	14,5	6,5	1,80
Fangs residuals	35	0,56	1,5	8%	2,8	1,6	0,12
Purins porc	34	0,53	4,0	65%	22,0	11,8	2,60
Purins boví	90	0,30	4,0	10%	9,0	2,7	0,40
Terres filtrants olis	323	0,69	0,1	3%	9,7	6,7	0,00
Fangs de flotació	101	0,57	2,0	5%	5,0	2,9	0,10
TOTAL				100%	74,9	37,3	5,53

Taula 8.6. Dades de dimensionament bàsic de la planta 3, codigirint els residus indicats a la Taula 8.5.

Cabal de tractament	55.000	m ³ /any = 35,6 m ³ /dia	
Velocitat de càrrega orgànica	3	kg SV/m ³ -dia	
Temps de retenció hidràulic	25,0	dies	
Volum útil de digestió	3.764,2	m ³	
Volum total de digestor	4.200	m ³	
Producció específica de biogàs	29,9	m ³ /tona (eficiència del 80%)	
Producció volumètrica de biogàs	1,1	m ³ /m ³ digestor-dia	
Producció total de biogàs	1.642.655	m ³ biogàs/any	
Potència elèctrica	426,0	kWe	
Producció d'energia (si 8.000 hores/any)		Producció bruta	Autoconsums
Energia elèctrica (kWh/any)	3.407.892	340.789	3.067.103
Energia tèrmica (tèrmies/any)	3.773.605	1.184.211	2.589.395

8.2. Avaluació econòmica

Amb vista a fer l'avaluació econòmica, cal tenir en compte els costos d'inversió, els costos de funcionament i els ingressos per venda d'energia.

8.2.1. Costos d'inversió

La inversió de les plantes de biogàs depèn molt de la mida de la instal·lació i del seu cabal de tractament, i mostra una marcada economia d'escala. A la Figura 8.1. s'ofereix la inversió per unitat de potència elèctrica en funció de la potència elèctrica de la instal·lació, a partir de dades de plantes d'Àustria, Dinamarca, Alemanya, una instal·lació catalana i avaluacions de diversos avantprojectes a Catalunya.

La gran dispersió de la Figura 8.1. és deguda a inversions d'adaptació de cada instal·lació a necessitats específiques de cada planta (dipòsits de magatzem pre i postdigestió, per exemple), a diferents escales de preus en funció d'empreses subministradores, a la comptabilització d'algun equip de posttractament, al fet de construir diversos dipòsits d'entrada de cosubstrats o a la necessitat d'adequació de la línia elèctrica per a la venda de la producció elèctrica a la xarxa.

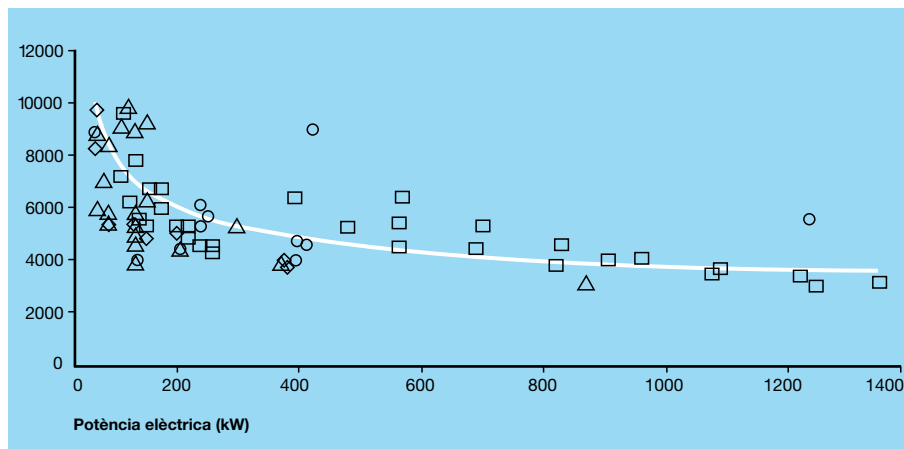
La corba que ajusta els valors de la Figura 8.1., és: $\text{Inversió unitària (€/kW)} = 16.272 \cdot \text{Potència (kW)} - 0,2114$. Aquesta corba s'utilitzarà per a fer l'estimació de la inversió de les tres plantes de biogàs genèriques objecte d'anàlisi. S'entén que seran possibles valors d'inversió tant per sobre com per sota d'aquest valor estimat i que, per tant, els resultats tan sols tenen un valor indicador.

8.2.2. Costos de manteniment i funcionament

Per a estimar els costos de funcionament s'ha considerat 1 c€/kWh per als motors de cogeneració, sobre la base de l'energia elèctrica bruta produïda i un 1,5% anual del total de la inversió en concepte de reparacions, manteniment, administració i assegurances. Per a estimar el cost de dedicació de personal s'ha considerat una dedicació base del 25% del temps d'una persona, més un increment lineal de l'equivalent d'una persona a temps complet per cada 200 kW de potència de la instal·lació, a raó d'un cost mitjà de 45.000 €/persona·any.

A efectes d'aquesta avaluació es considera que l'obtenció dels residus per a la cogeneració no representa un cost per a la instal·lació. Tampoc es té en compte el possible cost a causa de l'aplicació agrícola del material digerit o a causa de processos posteriors de tractament. En canvi, tampoc es considerarà un ingrés possible per estalvi en la compra d'elements fertilitzants. Queda clar que el cost de posttractament o de transport i gestió d'efluents, sobretot a l'exemple de la planta 3, serà un cost que caldrà afegir, amb un valor que dependrà de cada cas particular.

Fig. 8.1. Relació entre inversió unitària per unitat de potència elèctrica i potència elèctrica, a partir d'informació de diverses instal·lacions en funcionament o d'avantprojectes.



8.2.3. Ingressos

Només es tenen en compte els ingressos per venda d'energia elèctrica a la xarxa i per venda o estalvi d'energia tèrmica. Per venda d'energia elèctrica es té en compte la tarifa indicada al RD 661/2007 per a aquest tipus d'instal·lacions (13,069 c€/kWh elèctric) aplicada a l'energia elèctrica neta produïda i, per estalvi o venda d'energia tèrmica, un ingrés equivalent a 3 c€/tèrmia aplicat al 90% de l'energia tèrmica neta produïda. Aquesta fracció d'energia tèrmica valoritzable econòmicament depèn de l'ús: estalvis en calefacció a la pròpia granja, usos en hivernacles, venda a tercers, instal·lacions de posttractament, etc.

8.2.4. Estimació d'índexs econòmics

Per al càlcul dels índexs de rendibilitat de la inversió es consideren les hipòtesis següents:

- a) Finançament de la inversió a càrrec de fons propis, sense subvencions.
- b) Vida útil de la instal·lació de 15 anys i valor residual nul.
- c) Increment anual dels costos de manteniment i funcionament del 3,5%.
- d) Increment anual dels ingressos per pujada dels preus de l'energia de l'1% i del 3,5% a partir del quart any inclòs.

S'avaluen els índexs següents per a les tres plantes:

- 1) Índex 1: Taxa interna de retorn (TIR, %) i temps de retorn de la inversió (anys) sense considerar reinversions en substitució d'equips amb vida útil inferior als 15 anys.
- 2) Índex 2: Taxa interna de retorn (TIR, %) i temps de retorn de la inversió (anys) suposant que el 30% del marge net anual es destina a substitució d'equips amb vida útil inferior als 15 anys.
- 3) Índex 3: Increment admissible de la inversió en despeses que no donin lloc a increment de costos de manteniment o funcionament, per tal que la TIR no baixi per sota del 7,5%.

Si l'índex 3 és positiu indica que podria ser assumible una inversió més elevada, per exemple en equips de tractament posterior dels digerits. En canvi, si és negatiu indicaria que cal aconseguir una inversió inferior, reduir els costos de funcionament o bé augmentar els ingressos mitjançant l'increment de la producció específica de biogàs (millorar la mescla a codigirir).

El resum de les dades d'avaluació econòmica de les tres plantes tipus estudiades es mostra a la Taula 8.7. En aquesta es comprova que les plantes 2 i 3 tenen interès amb les dades de producció i econòmiques preses com a hipòtesis, mentre que la planta 1 requeriria menys inversió que la considerada com a mitjana a la Figura 8.1. En aquesta figura es comprova que hi ha una gran dispersió de valors d'inversió a baixa potència, de manera que es considera que hi pot haver potencial en el mercat per a instal·lacions simples que permetin inversions més baixes.

Atès que hi ha equips de les instal·lacions que tenen una vida útil inferior als 15 anys, cal tenir en compte que part del marge net anual (diferència entre ingressos, despeses i inversió total proporcional) caldrà reinvertir-lo en la substitució d'aquests equips. Per aquest motiu, es considera que la TIR i el temps de retorn estimats en cas de tenir en compte aquest extrem seran els valors més adequats per a estimar la rendibilitat.

Els dos factors per als quals la rendibilitat es mostra més sensible són els ingressos i la mida de la instal·lació. La mida afecta sobretot la inversió, la qual presenta una marcada economia d'escala.

Els ingressos depenen dels preus de l'energia, de la producció específica de biogàs i de la possibilitat d'obtenir la màxima valorització de l'energia produïda. Mentre que els preus de l'energia vénen fixats, els altres dos factors depenen de la capacitat de gestionar correctament els materials a digerir, del bon funcionament de la planta i del màxim aprofitament de l'energia. Aquest darrer extrem afecta molt especialment l'energia tèrmica obtinguda, sobretot si la planta és petita. Per exemple, a la planta 1, la TIR baixa per sota del 4% si l'energia tèrmica no s'aprofita per a substituir una font d'energia fòssil. I encara caldria considerar un increment de la inversió en equips per a dissipar la calor excedentària en aquest cas, fent baixar encara més la rendibilitat.

En cas que les produccions específiques de biogàs baixessin a la meitat dels valors considerats en el dimensionat, una vegada feta la inversió, cap de les instal·lacions mostraria valors favorables de rendibilitat. Per aquest motiu, cal una planificació acurada dels materials a digerir durant la fase del projecte.

A mesura que augmenta la mida de la planta, baixa la inversió específica per unitat de volum de digestor o per unitat de potència, amb les hipòtesis considerades. Però caldrà tenir en compte que també hauria d'augmentar la inversió en instal·lacions complementàries de gestió dels materials en augmentar el cabal de tractament i la necessitat de gestionar tant un volum superior de residus diferents com un volum superior de digerit. De l'avaluació de la Taula 8.7. es desprèn que pot ser permisible més inversió per a les plantes 2 i 3 si mantenen produccions específiques de biogàs superiors a la planta 1, mentre que la planta 1, la més petita, hauria de tendir a una inversió més baixa. Una inversió més gran o uns costos permissibles superiors per a les plantes 2 i 3 s'haurien de destinar al tractament i gestió dels efluents digerits.

En general, es poden considerar dos grans tipologies d'instal·lacions:

1) Les individuals, per granja, amb la necessitat d'inversions molt ajustades, produccions de biogàs mínimes properes als 30 m³/tona, amb ús de l'energia tèrmica en la pròpia granja i amb aplicació agrícola dels efluents digerits sense cost afegit apreciable.

2) Les col·lectives, de gestió centralitzada, amb un cabal de tractament elevat, amb produccions específiques de biogàs mínimes de 30-35 m³/tona, tractant residus biodegradables produïts a la seva zona d'influència i donant un servei de tractament i gestió posterior dels materials digerits.

Taula 8.7. Avaluació econòmica de les tres plantes de biogàs genèriques estudiades

	Planta 1	Planta 2	Planta 3
Dades bàsiques de dimensionat			
Cabal de tractament (tones/any)	13.000	25.500	55.000
Producció específica de biogàs (m ³ biogàs/tona)	33,9	34,4	29,9
Potència elèctrica (kWe)	114,3	227,4	426,0
Volum digestors (m ³)	1100	2400	4200
Costos i ingressos			
Inversió (k€)	683,0	1174,9	1927,4
Costos anuals de manteniment i operació (k€/any)	56,4	98,2	170,1
Ingressos anuals			
Venda energia elèctrica (k€/any)	107,6	214,0	400,8
Estalvi o venda d'energia tèrmica (k€/any)	19,8	39,6	69,9
Rendibilitat de la inversió			
Índex 1 (sense reinversions)			
TIR 15 anys (%)	8,13%	12,15%	15,22%
Temps de retorn de la inversió (anys)	9,0	7,0	6,0
Índex 2 (reinvertió del 30% del marge net anual)			
TIR 15 anys (%)	6,05%	9,14%	11,50%
Temps de retorn de la inversió (anys)	10,0	8,0	7,0
Índex 3 (reinvertió del 30% del marge net anual)			
Increment (%) admissible de la inversió per TIR=7,5%	-9,4	11,2	28,3



9. Consultes recomanades

Pàgines web d'interès

EurObserv'ER (2007). European Union Biogas Barometer. URL:

http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro179_a.pdf

Programa AgSTAR de l'Agència del Medi Ambient d'Estats Units (US-EPA):

<http://www.epa.gov/outreach/agstar>

Bioenergia a l'Agència Internacional de l'Energia (AIE-Bioenergy):

<http://www.ieabioenergy.com/>

Projecte de promoció del biogàs per a la producció d'electricitat i calor als països de la Unió Europea:

<http://websrv4.sdu.dk/bio/probiogas.htm>

Biogas Crops Network:

<http://www.biogas-network.de>

Associació de plantes de biogàs de Dinamarca:

<http://www.biogasbranchen.dk>

Biogàs a Alemanya:

<http://www.renewables-made-in-germany.com/es/biogas/>

Guia del tractament de les dejeccions ramaderes

(Agència de Residus de Catalunya):

<http://www.arc-cat.net/ca/altres/purins/guia.html>

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE):

<http://www.idae.es/>

Institut Català de l'Energia (ICAEN):

<http://www.icaen.net/>

Àmbit d'Energia del Departament d'Economia i Finances de la Generalitat de Catalunya:

http://www.gencat.cat/economia/ambits/energia_mines/index.html

Gestió Integral de Residus Orgànics, Centre Tecnològic (GIROCT):

<http://www.giroct.net/>

