

## DIGESTIÓ ANAERÒBIA DE FANGS DE DEPURADORA. ESTRATÈGIES PER A MILLORAR LA PRODUCCIÓ DE BIOGÀS I EL BALANÇ ENERGÈTIC

August Bonmatí<sup>1\*</sup>, Gracia Silvestre<sup>1</sup>, Belén Fernández<sup>1</sup>, Ivet Ferrer<sup>2</sup>, Xavier Flotats<sup>1</sup>

\*[august.bonmati@giroct.irta.cat](mailto:august.bonmati@giroct.irta.cat)

<sup>1</sup> GIRO Centre Tecnològic, Rbla. Pompeu Fabra 1, 08100 Mollet del Vallès

<sup>2</sup> Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental. Dept. Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (UPC)

### RESUM

La línia de fangs en una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) consumeix, en funció del cabal tractat i el diagrama de flux, al voltant d'un 20% de l'energia elèctrica consumida per l'EDAR. No obstant, els fangs contenen una gran quantitat d'energia que es pot recuperar mitjançant digestió anaeròbia, aportant entre un 40 i un 80% del consum total de la planta

En general, les EDARs amb un cabal de fangs elevat, disposen de reactors anaerobis però, en la majoria dels casos, el biogàs s'utilitza únicament per mantenir la temperatura dels reactors (combustió en caldera) i, en molt pocs casos, es disposa d'un motor de cogeneració per produir electricitat i recuperar l'energia tèrmica.

Optimitzar la generació de biogàs és clau per millorar el balanç energètic global de les EDARs, plantejar la instal·lació d'un motor de cogeneració o, en aquells casos que no es disposa de tractament anaerobi, justificar la seva implantació.

Diverses estratègies es poden plantejar per millorar la producció de biogàs: tractaments diferenciats pels fangs primaris i secundaris, pretractaments per millorar la hidròlisi dels fangs secundaris, digestió en dos fases, tractament termofílic, i la digestió conjunta amb altres residus (codigestió). No obstant, malgrat que aquestes alternatives s'han assajat a nivell laboratori amb resultats molt engrescadors, aquests no s'han traduït en gaires experiències a escala industrial (com a mínim a Catalunya). L'estudi mitjançant balanços energètics es una bona eina per analitzar la conveniència d'aquestes estratègies.

### 1. INTRODUCCIÓ

Les estacions depuradores d'aigües residuals (EDARs), amb tractament intensiu de fangs actius, es caracteritzen per una alta eficiència de depuració, un alt consum energètic, i la generació d'un gran volum de fangs que cal gestionar. No obstant, l'aigua residual conté una gran quantitat d'energia (matèria orgànica particulada i dissolta) que es podria recuperar (Shizas & Bagley, 2004; Logan, 2008).

En un context en què l'energia ha esdevingut una de les principals preocupacions de la societat, no només per l'escassetat dels combustibles fòssils, la variabilitat del seu preu i la incertesa en el seu subministrament; sinó també per les emissions de CO<sub>2</sub> associades, reduir-ne el seu consum és prioritari. En aquest sentit es pot treballar en dues direccions:

- optimitzar els processos de depuració, per tal de reduir el consum energètic mantenint les eficiències d'eliminació,

- optimitzar la recuperació d'energia dels fangs produïts, mitjançant la digestió anaeròbia.

Una tercera alternativa consistiria seria recuperar directament l'energia continguda en l'aigua residual, minimitzant el consum d'energia de les EDARs o fins tot transformant-les en generadores enlloc de consumidores d'energia. Per que aquest canvi de paradigma fos possible, caldria aplicar tecnologies emergents encara en desenvolupament, com són la generació d'H<sub>2</sub>, la generació de bioelectricitat en cel·les de biocombustible (MFC), o sistemes anaerobis d'alta eficiència per eliminar la matèria orgànica de l'aigua tot recuperant energia, combinats amb sistemes que eliminin els nutrients amb requeriments baixos de matèria orgànica (NDN via nitrit o nitrificació parcial + Anammox), la reutilització dels nutrients pel creixement d'algues per produir biodiesel, o la recuperació d'estruvita, entre altres.

No obstant això, actualment, la recuperació d'energia dels fangs mitjançant la digestió anaeròbia continua essent l'estratègia més factible i amb més perspectiva de creixement a curt i mig termini.

### 1.1. Fluxos d'energia en una EDAR

En una EDAR amb un diagrama de flux típic de fangs actius, les diferents fraccions de la matèria orgànica s'elimina de l'aigua a través dels següents processos: els greixos per flotació en el pretractament, la matèria orgànica particulada en el decantador primari (fangs primaris), i la matèria orgànica soluble en part s'oxida a CO<sub>2</sub> i en part s'insolubilitza amb el creixement de la biomassa (fangs secundaris) en el tractament biològic. Del total de l'energia continguda en l'aigua residual en forma de matèria orgànica, només un 20% s'oxida a CO<sub>2</sub> i la resta es transfereix cap a la línia de fangs. Únicament entorn al 38% es recupera en forma de biogàs si els fangs s'estabilitzen mitjançant digestió anaeròbia (Figura 1) (Shizas & Bagley, 2004).

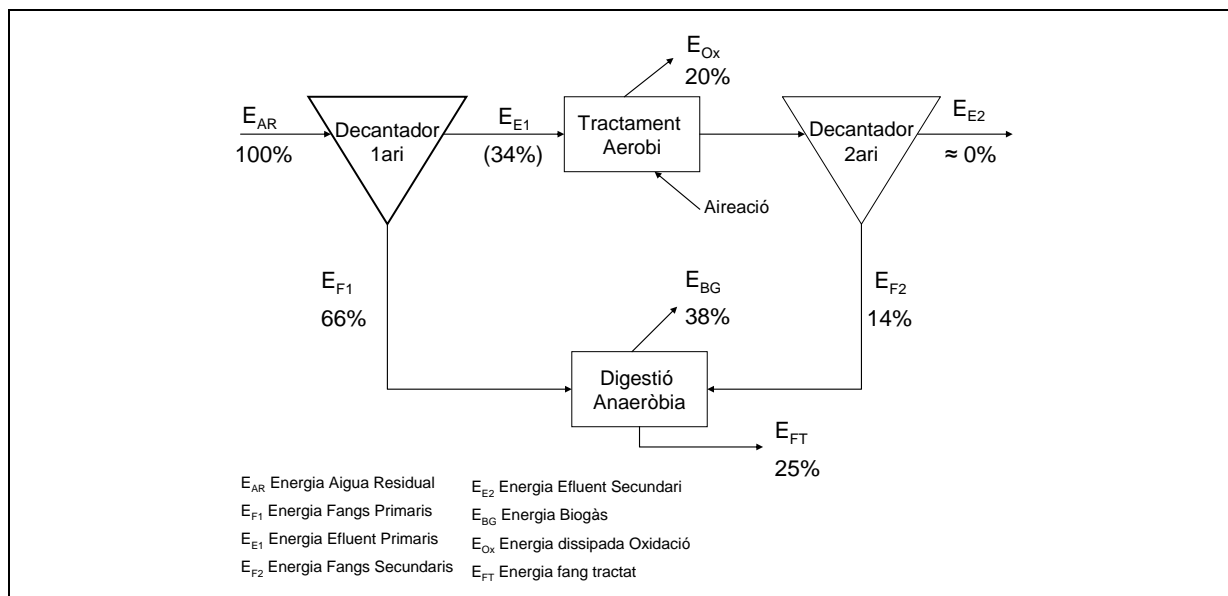


Figura 1. Distribució de l'energia en els fluxos d'una EDAR (Shizas & Bagley, 2004)

### 1.2. Generació i gestió de fangs

La línia de fangs d'una EDAR té com objectiu principal reduir el volum de fangs a gestionar, degradar-ne la matèria orgànica més làbil per tal d'estabilitzar-los (i higienitzar-los) i, cada cop més recuperar part de l'energia que contenen. Les alternatives possibles per assolir aquests objectius són moltes, però habitualment es

troben sistemes fisicoquímics per espessir-los, mecànics per deshidratar-los i biològics (digestió anaeròbia i/o compostatge) per estabilitzar-los. En algun cas, també es pot trobar assecatge tèrmic dels fangs.

El destí final dels fangs més habitual a Catalunya és l'aplicació agrícola directa i, en menor grau, el compostatge previ a la seva aplicació. Aproximadament el 65% dels fangs generats es gestionen en el sector agrícola. Altres destins són la restauració de canteres o els abocadors, quan la seva qualitat no permet altres usos. Recentment s'estan explorant noves alternatives, com la seva valorització energètica en cimenteres i indústries ceràmiques, o bé en sistemes més novedosos com la gasificació i la piròlisi.

La producció anual de fangs a la Unió Europea està entre 20-40 kg matèria seca (MS) per habitant equivalent, amb una producció superior als 10 milions l'any 2006 (Laternus *et al.* 2007). Segons el *Registro General de Lodos*, a l'Estat Espanyol es produeixen anualment aproximadament 1.205 milers de t MS i aquesta xifra podria augmentar d'acord amb les previsions de construcció de noves EDARs. D'aquests, el 12% es produeixen a Catalunya (143.000 t<sub>MS</sub>/any), la qual cosa representa unes 593.000 t/any de fang fresc amb un 24% de MS, que cal gestionar (ACA, 2009).

La línia de fangs d'una EDAR significa entre el 30-40% del cost d'inversió i al voltant del 50% del cost d'operació i manteniment (Vlyssides & Karlis, 2004). Així doncs, la optimització de la recuperació d'energia mitjançant la digestió anaeròbia dels fangs pot contribuir a reduir els costos d'aquestes instal·lacions, incrementant la generació d'energia renovable, disminuint el consum de combustibles fòssils i el seu impacte ambiental.

## 2. DIGESTIÓ ANAERÒBIA DE FANGS

Segons la resolució 2009/C 66 E/05 del Parlament Europeu, la producció de biogàs a partir de dejeccions ramaderes, fangs i altres residus orgànics pot contribuir de manera significativa en la producció d'energia renovable, ajudant a assolir els objectius establerts per l'any 2010 i reduir les emissions dels gasos d'efecte hivernacle, per la qual cosa cal incentivar la seva implantació i la seva optimització.

La producció europea de biogàs a finals del 2007 s'estimava en 5.901,2 ktep, dels quals 887,2 ktep procedien del tractament anaerobi dels fangs d'EDAR, representant únicament un 15%. La generació de biogàs d'abocador segueix sent el percentatge més elevat, però la generació a partir d'altres fonts de biomassa ha incrementat molt aquests darrers anys, fruit dels incentius establerts pels governs dels diferents estats membres (Taula 1) (EuroObserv'ER, 2008).

**Taula 1.** Producció estimada d'energia primària a partir del biogàs a la UE a l'any 2007 (EuroObserv'ER, 2008)

Origen del biogàs	UE		Estat Espanyol	
Abocadors	2.905,2	49,2%	259,6	78,7%
Fangs d'EDAR	887,2	15,0%	49,1	14,9%
Altres	2.108,8	35,7%	21,3	6,5%
Total	5.901,20		330,0	

### 2.1. Característiques de la digestió anaeròbia de fangs

La digestió anaeròbia de fangs permet simultàniament estabilitzar la matèria orgànica i produir energia renovable a partir del biogàs generat, de manera que el

procés pot ser energèticament autosuficient. La major demanda energètica es deguda a l'escalfament dels fangs, mentre que hi ha una certa demanda d'electricitat pel bombeig dels fangs i l'agitació dels digestors. Per altra banda, la producció d'energia depèn de la producció de metà, és a dir, de l'eliminació de matèria orgànica. Aquest paràmetre depèn tant de la fracció fàcilment degradable dels fangs, com de la proporció de fangs primaris i secundaris, i com de les condicions d'operació del reactor (temperatura, temps de retenció i càrrega orgànica).

Les característiques dels fangs primaris i secundaris són molt diferents: els fangs primaris tenen una concentració superior en matèria orgànica fàcilment biodegradable, mentre que els secundaris la tenen en nutrients i la matèria orgànica es troba en forma de biomassa cel·lular. Normalment, però, es digereixen conjuntament aprofitant la seva complementaritat.

La digestió conjunta de fangs es caracteritza per una baixa eficiència d'eliminació de sòlids volàtils (SV) i de producció de biogàs (Taula 2), especialment en EDARs que eliminen nutrients (N i P), ja que els temps de retenció dels fangs són elevats (més de 10 dies), la qual cosa fa que els fangs estiguin força mineralitzats quan arriben als digestors. Fins i tot, en algun cas, s'ha anul·lat el decantador primari per tenir més matèria orgànica disponible per l'eliminació de nutrients, afectant directament a la producció de biogàs.

**Taula 2.** Característiques dels fangs de depuració

Paràmetre	Fangs primaris	Fangs secundaris
DQO (g/gSV)	1,425	1,628
SV (%ST)	65-90	55-90
Potencial calorífic (kcal/kgST)	1,010-1,050	1,000-1,050
Producció de biogàs (Nm <sup>3</sup> /kgSV <sub>eliminats</sub> )	0.9	0.3
Eliminació de SV (%SV)	40-60	20-40

ST- sòlids totals; SV- sòlids volàtils

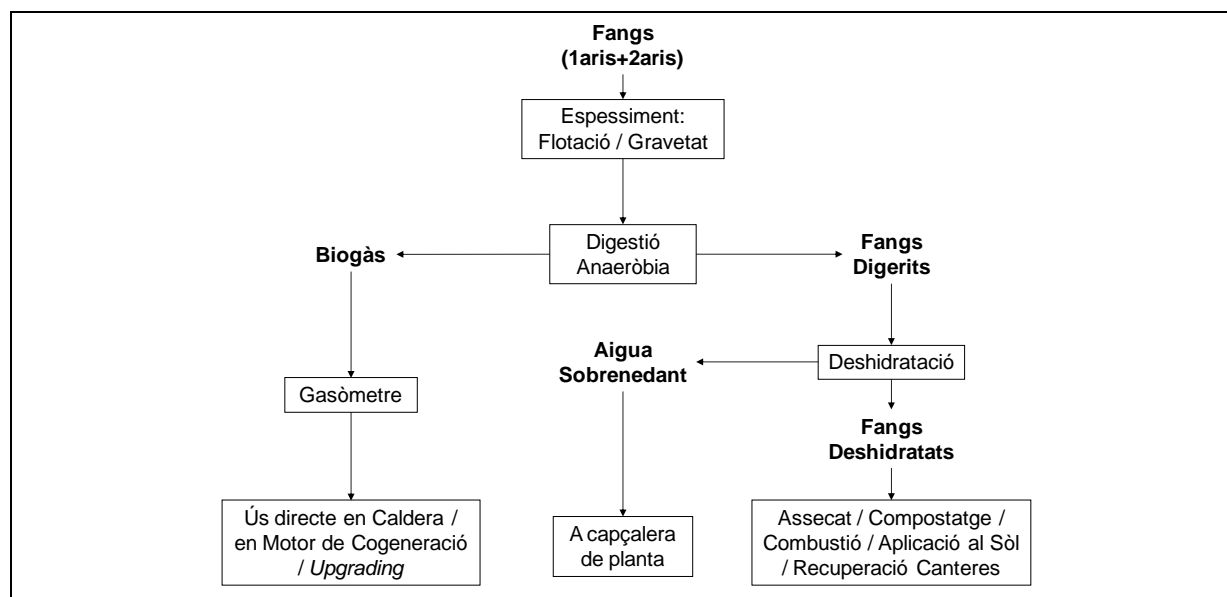
Font: Minini, 2006; Bolzonella, 2006

Els valors típics de producció de biogàs per tona de fang fresc no deshidratat són de 5-12 m<sup>3</sup>/t. El biogàs es pot cremar en calderes o bé en motors de cogeneració, els quals permeten produir electricitat i també aprofitar el calor residual. La configuració típica de la línia de fangs amb digestió anaeròbia és un espessiment dels fangs seguit de la digestió anaeròbia i una deshidratació posterior abans dels seu destí final (Figura 2).

### 3. ESTRATÈGIES PER INCREMENTAR LA PRODUCCIÓ DE BIOGÀS

Les diferents estratègies que es poden implantar per tal d'incrementar la producció de biogàs comporten, paral·lelament, modificacions en les característiques dels fangs que en algun cas poden ser determinants per decidir quina estratègia adoptar. El primer benefici indirecte de l'increment en la producció de biogàs és la reducció del volum de fangs, ja que una major producció de biogàs comporta una major eliminació de SV i, per tant, un menor volum de fangs si aquests es deshidraten correctament. Altres propietats dels fangs que es poden veure afectades són la seva deshidratabilitat i la seva higienització. També poden afectar l'operació del reactor anaerobi, per exemple el control de les escumes.

Les estratègies habituals per incrementar la producció de biogàs es poden agrupar en: canvi del règim de temperatura, canvis en les configuracions del/s reactors, aplicacions de pretractaments i codigestió.



**Figura 2.** Diagrama de flux de la línia fangs amb digestió anaeròbia (adaptat de Appels, 2008)

### 3.1. Canvi del règim de temperatura

El règim de temperatura més habitual dels reactors anaerobis de fangs és el règim mesofílic (35-40°C), ja que a aquesta temperatura el procés és molt estable i s'adapta molt bé als canvis de cabal i composició dels fangs. No obstant, la digestió termofílica (50-55°C) és més eficient en termes d'eliminació de sòlids, producció d'energia i higienització de l'efluent, i de fet s'ha utilitzat en EDARs de diversos països des de principis del segle passat (Buhr & Andrews, 1977). Indicar però, que en rang termofílic es troben també una sèrie de limitacions que cal tenir en compte: un major consum energètic per escalfar el reactor, altes concentracions d'àcids grassos volàtils (AGV) en els efluent, menys estabilitat del procés i un risc més elevat de sobrecàrregues orgàniques (Ghosh *et al.* 1995; Han & Dague, 1997).

Aplicar la digestió en condicions termofíliques acostuma a ser una opció per tal de reduir el temps de retenció (TR) o augmentar la càrrega orgànica del digestor. L'increment de la temperatura comporta un augment de l'activitat dels microorganismes anaerobis, fet que es tradueix en velocitats elevades de creixement, síntesis de substrat i la corresponent reducció del temps necessari per assimilar la matèria orgànica. Així doncs, la gran avantatge de la digestió anaeròbia termofílica és troba quan es treballa a baixos TR, ja que es pot operar a majors càrregues orgàniques (Mata *et al.* 2008). Aquest podria ser el cas de l'increment del cabal de tractament en una EDAR, on no es vol o no es pot (per manca d'espai) incrementar el volum dels reactors anaerobis. Val a dir que el procés de transició d'un sistema mesofílic a termofílic pot ocasionar un transitori sense producció de biogàs de l'ordre de 15 a 20 dies (Palatsi *et al.*, 2009)

Una extensa revisió sobre l'estat de l'art i la implementació de la digestió anaeròbia termofílica de fangs, incloent l'avaluació energètica del procés, pot trobar-se a Ferrer (2008) i Kalogo & Monteith (2008). A continuació es citen alguns exemples d'EDARs urbanes en què els fangs s'estabilitzen en digestors termofílics.

A l'EDAR de Moscou els fangs s'estabilitzen mitjançant 18 digestors de 5.000 m<sup>3</sup>, que treballen de manera estable a 55 °C amb un temps de retenció de només 7 dies des de fa 50 anys (Pakhomov *et al.*, 2006). A l'EDAR de Vancouver es dissenyà un procés termofílic format per diversos digestors en sèrie amb l'objectiu d'higienitzar els fangs prèvia aplicació a sòls agrícoles (Krugel *et al.*, 1998). A l'EDAR central de Praga, els fangs s'estabilitzen mitjançant digestors de 4.823 m<sup>3</sup> connectats de dos en dos formant sistemes en dues etapes, en què el primer reactor està escalfat i agitat, mentre que el segon no. Inicialment, aquests reactors treballaven en règim mesofílic (38/35 °C). Degut a l'augment del cabal de fangs a tractar, s'optà per fer una transició a règim termofílic (55/52 °C), de manera progressiva i sense aturar la càrrega orgànica en cap moment. Aquest canvi comportà un augment en la producció de biogàs de 0,48 a 0,61 m<sup>3</sup><sub>biogàs</sub> /m<sup>3</sup><sub>reactor</sub> dia (amb un contingut de metà al biogàs del 66 %), que representa un increment del 27 % en la producció de metà (Zábranská *et al.*, 2000).

### 3.2. Configuració dels reactors en sèrie

Una altra alternativa per incrementar la producció de biogàs, millorar l'estabilització dels fangs i la seva deshidratabilitat, és la digestió en dos o més reactors en sèrie. En molts casos, només el primer reactor està agitat i escalfat, i és on es produeix la major part del biogàs. El segon reactor, el qual no s'agita ni s'escalfa, aporta una capacitat extra de seguretat. A la pràctica, aquest tipus de configuració es pot considerar com un únic reactor, i tan sols es consideren reactors en sèrie quan tots els reactors estan controlats, amb una temperatura de treball determinada, s'agiten i estan aïllats.

Hi ha diverses configuracions de reactors en sèrie. A continuació es descriuen diverses alternatives.

#### 3.2.1 Doble etapa

La configuració més senzilla són dos reactors en sèrie operant al mateix regim de temperatura; en regim mesofílic o termofílic. Amb això s'aconsegueixen majors taxes de degradació de SV i produccions de biogàs més elevades.

Una opció més sofisticada, i que aporta algunes avantatges addicionals, és la combinació de dos o més etapes amb diferents règims de temperatura (els anomenats sistemes TPAD, *Temperature-Phased Anaerobic Digestion*). En aquest cas es disposen 2 o 3 reactors en sèrie en regim mesofílic i termofílic. D'aquesta manera se sumen els avantatges dels dos règims de temperatura. La combinació Termofílic + Mesofílic és la combinació més habitual ja que presenta els següents beneficis: higienització, majors càrregues orgàniques i efluents amb baixos continguts d'AGV i amb bona deshidratabilitat (Figura 3a) (Kalogo & Monteith, 2008)

#### 3.2.2 Doble fase Àcid-Gas

És també un sistema doble etapa en què el primer reactor és un reactor àcid i el segon un reactor metanogènic (Figura 3b), de tal manera que les condicions de cadascun d'ells són les òptimes per a que es desenvolupin les diferents fases de la digestió anaeròbia: l'etapa hidrolítica i acidogènica en el primer reactor i l'etapa acetogènica i metanogènica en el segon reactor.

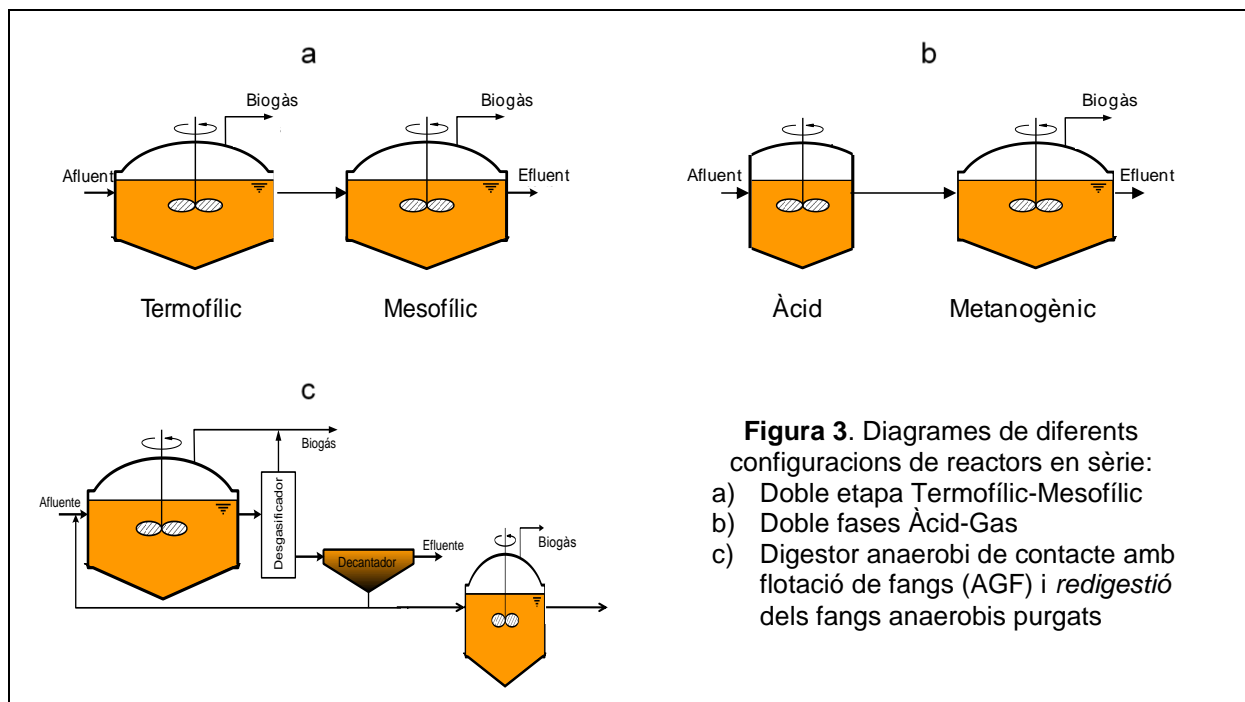
Amb això es pretén incrementar les possibilitats de control del procés, disminuir els TR i incrementar la càrrega orgànica (Schafer & Farrell, 2000). No obstant, sovint s'observa que es desacoblen les dues etapes per una elevada concentració d'H<sub>2</sub> que pot inhibir l'acidogènesi, l'eliminació de possibles interdependències nutricionals

de les diferents poblacions microbianes, etc., perdent-se l'eficiència. Aquest fet comporta que no sigui una pràctica molt estesa.

### 3.2.3 Contacte Anaerobi + Redigestió de Sòlids

Una altra possibilitat per incrementar la carrega orgànica i reduir el temps de retenció hidràulic (TRH) són els reactors de contacte, en els quals és recirculen els fangs anaerobis concentrats, per incrementar el TR cel·lular. Hi ha diferències tècniques per concentrar els fangs, però les més habituals són la centrifugació o la flotació anòxica.

Experiències a escala pilot realitzades per Burke (2001) mostren que la flotació dels fangs anaerobis mitjançant un sistema de flotació patentat (Anoxic Gas Flotation-AGF-) permet reduir fins a 5 dies el TRH. Si addicionalment s'acobla un tractament tèrmic dels fangs purgats i es *redigereixen* anaeròbiamment, s'obtenen increments de producció de biogàs de fins al 15% (Figura 3c).



### 3.3. Pre-tractaments

L'avantatge principal dels pre-tractaments rau en que permeten accelerar la hidròlisi dels fangs, que sol ser l'etapa limitant tant de la velocitat del procés com de l'eliminació total de sòlids al llarg del mateix. Des de finals del segle passat, diversos tipus de pre-tractaments s'han estudiat amb aquest objectiu. Aquests inclouen processos mecànics (tritració, ultrasons, microones, etc); tèrmics (a alta (> 100 °C) o baixa (< 100 °C) temperatura), químics (amb sosa, etc.), termoquímics (que combinen els efectes dels dos anteriors) i biològics (enzimàtics).

A nivell de laboratori i en plantes pilot s'han estudiat nombroses condicions de treball per cadascuna d'aquestes categories (Benabdallah *et al.*, 2006; Bourgrier *et al.*, 2007; Climent *et al.*, 2007; Ferrer *et al.*, 2008; Kalogo & Monteith, 2008; Perez-Elvira *et al.*, 2008).

A escala real, entre els més utilitzats destaquen el pre-tractament tèrmic a alta temperatura (ex. EDAR central de Praga, diverses EDARs d'Alemanya, França o Noruega) i els ultrasons. El procés, comercialment conegut com hidròlisi tèrmica (amb variants patentades per diverses empreses), es duu a terme a uns 170 °C

durant 30 minuts. Segons la literatura, millora considerablement la degradació de sòlids, producció de biogàs i posterior deshidratació dels fangs, permetent substituir el consum de polielectrolit i reduir la quantitat final dels biosòlids a gestionar fora de l'EDAR. Aquest procés s'ha implementat a desenes d'EDARs de diversos països europeus (Kepp *et al.*, 2000; Kepp *et al.*, 2001; Pickworth *et al.*, 2001). El pretractament amb ultrasons també està implantat en diverses EDARs, amb uns increments en la producció de biogàs entre el 30 i el 50%.

Si bé és veritat que qualsevol d'aquestes alternatives incrementa el consum energètic de l'etapa d'estabilització dels fangs, la producció d'energia neta del procés pot resultar-ne afavorida (Zábranská *et al.*, 2000; Ferrer *et al.*, 2009), i en tot cas s'obtenen altres beneficis importants (major destrucció de sòlids, millor deshidratabilitat, etc.) que també cal considerar.

### 3.4 Codigestió anaeròbia

La codigestió anaeròbia consisteix en la digestió conjunta de residus orgànics de diferents orígens amb l'objectiu d'aprofitar la complementarietat de les composicions (Taula 3), de tal manera que permeti perfils de procés més eficients, i que amorteixin les variacions temporals en composició i producció de cada residu per separat. Així mateix, permet unificar metodologies de gestió i compartir instal·lacions de tractament, fent un ús més eficient dels equips i compartint costos d'explotació (Alatriste-Mondragón, 2006). Aquesta gestió conjunta permet sinèrgies en la gestió, però alhora requereix una major coordinació entre els diferents sectors i les autoritzacions administratives corresponents per poder gestionar els residus conjuntament.

**Taula 3.** Caracterització relativa per la codigestió de diferents residus orgànics (Flotats *et al.* 2001)

	Residus ramaders	Fangs EDAR	FORM	Residus Ind. Alimentaria
Macro i micronutrients	↑	↑	↓	↓
Relació C/N	↓	↑↓	↑	↑
Capacitat tampó (alcalinitat)	↑	↑↓	↓	↓
Matèria orgànica biodegradable	↓	↑↓	↑	↑

No obstant, l'avantatge més destacable de la codigestió és l'increment en la producció de biogàs, que amb les primes a la producció d'energia renovable (Real Decret 661/2007), fa que sigui una alternativa econòmica molt interessant.

Un altre factor a considerar és que en molts casos els digestors estan sobredimensionats, degut a la baixa producció de fangs en la línia d'aigües i l'eliminació, en algun cas, del decantador primari per millorar l'eficiència dels processos d'eliminació biològica de nutrients (Bolzonella *et al.*, 2006). En aquests casos, la codigestió amb altres residus és una molt bona alternativa per optimitzar l'ús de les instal·lacions ja existents.

D'entre la gran varietat de cosubstrats que es poden utilitzar (Taula 4), l'interès d'uns o altres dependrà de factors com el potencial de producció de metà, la complementarietat amb la composició dels fangs, la disponibilitat en cada àrea geogràfica (quantitat produïda, costos de transport, etc.) i la legislació aplicable per cada un dels residus. Els residus que s'utilitzen amb més freqüència en codigestió de fangs són la fracció orgànica de residus municipals (FORM), residus d'origen



animal (fems, purins, restes de producció de llet, etc.), restes de cultius (cultius energètics, restes de poda, etc.), residus industrials (de producció de cafè, olis, xocolata, suc de fruita, etc.) i enzims d'efluents industrials (Alatrisme-Mondragón *et al.*, 2006).

**Taula 4.** Potencials de producció de biogàs de diferents residus (Flotats i Sarquella, 2008)

Residu	Sòlids Volàtils (%)	Producció de biogàs (m <sup>3</sup> /t)
Intestins + contingut	15-20	50-70
Llots de flotació	13-18	90-130
BBO (terres filtrants d'oli d'oliva amb Bentonita)	40-45	350-450
Oli de peix	80-85	350-600
Xerigot	7-10	40-55
Xerigot concentrat	18-22	100-130
Hidrolitzats de carn	10-15	70-100
Melmelades	50	300
Oli de soja/margarines	90	800-1000
Begudes alcohòliques	40	240
Llots EDAR urbana	3-4	17-22
Purins	2-8	5-15

La codigestió de fangs amb FORM ha estat àmpliament estudiada (Edelmann *et al.* 2000; Hamzawi *et al.*, 1998; Mata-Álvarez, 2001; Mata-Álvarez y Cecchi, 1990), ja que són dos residus orgànics produïts en grans quantitats, especialment en zones urbanes. S'han descrit increments de fins el 50% en la producció de biogàs mitjançant la codigestió de fangs i FORM procedent de recollida selectiva en plantes industrials (Bolzonella *et al.*, 2006).

En els darrers anys, estudis realitzats a escala laboratori han mostrat la viabilitat de la codigestió amb residus de difícil disposició, com els greixos i els olis, que a més tenen un alt potencial energètic. Es descriuen càrregues de 28-48% SV, amb eliminacions de fins el 88% i rendiments de 278 - 449 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t SValimentat (Fernández *et al.*, 2005; Luostarinen *et al.*, 2009). Així mateix, també s'ha estudiat la codigestió amb residus d'escorxadors, la gestió dels quals està molt restringida per la legislació vigent, amb resultats molt bons. Per exemple, a l'EDAR de Rheda (Alemanya) es van obtenir increments del 60% en la producció de biogàs, arribant a 2800 m<sup>3</sup>/d (0,5 m<sup>3</sup>/kg<sub>ST</sub>) codigirint fangs amb restes d'escorxadors, sense comportar problemes operacionals com obturacions o la disminució de la deshidratabilitat de l'efluent (Rosenwinkel & Meyer, 1999).

Un residu que previsiblement es generarà en grans quantitats durant els propers anys és la glicerina, subproducte de la producció de biodiesel. La codigestió amb purins de porc ha mostrat increments de la producció de biogàs de fins el 230% (Tajoacha & Madsen, 2005). Aquests valors poden ser previsibles en la codigestió de glicerina amb fangs, encara que cal comprovar-ho experimentalment.

En el marc del projecte CENIT SOSTAQUA, el GIRO treballa en la línia d'optimització de la codigestió de fangs amb altres residus orgànics.

#### 4. BALANÇ D'ENERGIA

Tal com s'ha indicat anteriorment, el consum energètic de les EDARs ha esdevingut un dels principals punts que cal optimitzar, per tal de reduir el cost d'explotació i contribuir a la mitigació del canvi climàtic. Si s'analitza el consum energètic d'una EDAR, es pot comprovar que els factors més importants són els següents:

- ✓ cabal i característiques de l'aigua residual a tractar
- ✓ objectius de depuració: eliminació de matèria orgànica i/o nutrients (N, P)
- ✓ diagrama de flux de l'EDAR
- ✓ configuració i operació del tractament biològic

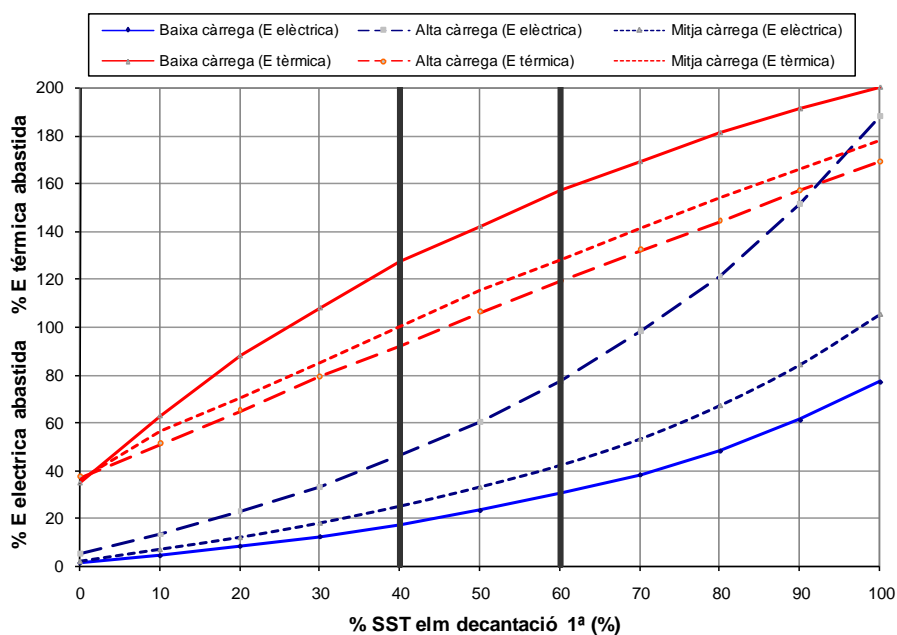
Per altra banda, part de l'energia continguda en l'aigua residual es pot recuperar amb la generació de biogàs mitjançant la digestió anaeròbia dels fangs primaris i secundaris. Els factors que afecten la generació de biogàs, a part del cabal i de les característiques de l'aigua residual a tractar (concentració i composició de la matèria orgànica), són els següents:

- ✓ eficiència del decantador primari
- ✓ temps de retenció cel·lular del tractament biològic (edat dels fangs secundaris)
- ✓ eficiència de l'espessiment dels fangs
- ✓ característiques i operació del reactor anaerobi

El biogàs generat és pot transformar en energia elèctrica i tèrmica en motors de cogeneració amb eficiències típiques de generació elèctrica del 30-35% i de recuperació tèrmica del 45- 55%. L'energia recuperada es pot utilitzar en la pròpia EDAR per escalfar el reactor i per abastir el consum elèctric, o bé ésser venuda a la xarxa.

A la Figura 4, es presenta el percentatge d'abastament d'energia tèrmica i elèctrica d'una EDAR, en funció del rendiment del decantador primari (factor amb més influència sobre la producció de biogàs) i per diferents tractaments biològics (alta, baixa i mitja càrrega). Tal com es pot veure, el percentatge d'abastament tèrmic, en el rang típic d'eficiència del decantador primari (40-60%), està per sobre del 100%, i l'abastament elèctric entre el 20 i el 80%.

A la Taula 5 es presenten les dades de diferents balanços energètics realitzats en 5 EDARs catalanes, amb cabals de tractament compresos entre 20.000 – 30.000 m<sup>3</sup>/d, les quals disposen de tractament anaerobi a la línia de fangs, però no de motor de cogeneració. Es comprova que l'energia tèrmica generada és suficient per abastir els requeriments tèrmics del reactor anaerobi i, per tant, trobar altres usos per aquest excés d'energia pot ser de gran interès per optimitzar les instal·lacions. Per altra banda, l'energia elèctrica generada pot abastir entre un 40 i un 80% de l'energia elèctrica consumida a la planta i, si aquesta es ven a la xarxa a collint-se a les primes establertes al RD 661/2007, el retorn de la inversió del motor de cogeneració estaria situat entre els 2 i 3 anys.



**Figura 4.** Percentatge d'abastament d'energia elèctrica i tèrmica generada a partir de biogàs, en una EDAR amb tractament secundari biològic per eliminar matèria orgànica.

**Taula 5.** Balanç energètic de 5 EDARs catalanes

	EDAR 1	EDAR 2	EDAR 3	EDAR 4	EDAR 5
Q aigua (m <sup>3</sup> /d)	27.325	29.650	22.200	21.130	27.950
MES <sub>entrada</sub> (mg/L)	359	332	352	349	338
DBO <sub>entrada</sub> (mg/L)	299	411	416	550	498
Producció Biogàs (L/m <sup>3</sup> aigua)	83	129	144	229	215
E consumida (Kwh/m <sup>3</sup> )	0,44	0,43	0,51	0,91	1,28
E elèctrica abastida (%)	39%	64%	56%	52%	80%
E tèrmica abastida (%)	202 %	283 %	209 %	270 %	445 %
Retorn Inversió (anys)	2	3	3	2	2

## 5. CONCLUSIONS

La digestió anaeròbia és una bona estratègia de tractament per estabilitzar els fangs i recuperar part de l'energia, podent aportar entre el 40-80 % del consum elèctric d'una EDAR. En el context català, encara hi ha grans oportunitats per optimitzar la producció de biogàs, reduint alhora la quantitat final de fangs resultants del procés de tractament, mitjançant alguna de les alternatives indicades: pretractaments, configuracions dels reactors, regim de temperatura i codigestió; o simplement aprofitant el biogàs produït mitjançant motors de cogeneració. Així mateix, cal tenir en compte que una major producció d'energies renovables comporta una reducció del consum de combustibles fòssils i, per tant, de les emissions de gasos amb efecte hivernacle associades, que no s'haurien de menysprear en el context actual de canvi climàtic global.

## AGRAÏMENTS

El autors agraeixen a les empreses AGBAR i SENER el finançament d'estudis sobre codigestió de fangs, en el marc del projecte CENIT SOSTAQUA

## BIBLIOGRAFIA

ACA (2009). Proposta de Programa d'actuacions per a la gestió dels fangs residuals generats en els processos de depuració d'aigües residuals urbanes de Catalunya.

Alatríste-Mondragón F., Samar P., Cox H., Ahring B., Iranpour R. (2006). Anaerobic codigestion of municipal, farm and industrial organic wastes: a survey of recent literature. *Wat. Environ. Res.* 78(6): 607-637.

Appels L., Baeyens J., Degreè J., Dewil R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Prog. Energy Comb. Sci.* 43 :755-71.

Benabdallah El-Hadj T., Dosta J., Márquez-Serrano J., Mata-Álvarez J. (2006). Effect of ultrasound pretreatment in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion with emphasis to naphthalene and pyrene removal. *Water Res.* 41(1): 87-94.

Bolzonella D., Battistoni P., Susini C., Cecchi F. (2006). Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experience of Viareggio and Treviso plants (Italy). *Wat. Sci. Technol.* 53(8): 203-211.

Bourgrier C., Delgenès, J. P., Carrère H., (2007). Impacts of pre-treatments on the semi-continuous anaerobic digestion of waste activated sludge. *Biochem. Eng. J.*, 34: 20-27.

Buhr H.O., Andrews J.F. (1977). The thermophilic anaerobic digestion process. *Water Res.* 11: 129-143.

Burke, D. (2001). Producing Exceptional Quality Biosolids Through Digestion, Pasterurization and Redigestion; Proceedins WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference, Biosolids 2001

Climent M., Ferrer I., Baeza M.M., Artola A., Vázquez, F., Font, X. (2007). Effects of secondary sludge pre-treatment on biogas production under thermophilic conditions. *Chem. Eng. J.* 133: 335-342.

Edelmann W., Engeli H., Gradenecker M. (2000). Co-digestion of organic solid waste and sludge from sewage treatment. *Wat. Sci. Technol.* 41(3): 213-221.

EurObserv'ER (2008) European Union Biogas Barometer- July 2008. Systèmes Solaires Le journal des énergies renouvelables N° 186 URL: [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro186\\_a.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro186_a.pdf)

European Parliament (2009) [2009/C 66 / E/05] European Parliament resolution of 12 March 2008 on sustainable agriculture and biogas: a need for review of EU legislation (2007/2107/(INI))

Fernández, A., Sánchez, A., Font, X. (2005). Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. *Biochem. Eng. J.* 26: 22-28.

Ferrer I. (2008). Study of the effect of process parameters on the thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge, evaluation of a thermal sludge pre-treatment and overall energy assessment. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona. Directors: Font, X. i Vázquez, F.

Ferrer I., Ponsá S., Vázquez F., Font, X. (2008). Increasing biogas production by thermal (70 °C) sludge pre-treatment prior to thermophilic anaerobic digestion. *Biochem. Eng. J.* 42(2): 186-192.

Ferrer, I., Serrano, E., Ponsá, S., Vázquez, F., Font, X. (2009). Enhancement of thermophilic anaerobic sludge digestion by 70 °C pre-treatment: energy considerations. *Journal of Residuals Science and Technology*, 6(1): 11-18.

Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, A. (2001). Digestión anaeròbia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. *Porci; Monografías de actualidad* 65: 51-65.

Flotats, X., Sarquella, L. (Eds) (2008). Producció de biogàs per codigestió anaeròbia. *Col·lecció Quadern Pràctic, número 1. Institut Català d'Energia*, Barcelona.

Ghosh, S., Buoy, K., Dressel, L., Miller, T., Wilcox, T., Loos, D. (1995). Pilot- and full-scale two-phase anaerobic digestion of municipal sludge. *Water Environment Research* 67(2): 206-214.

- Hamzawi, N., Kennedy, K.J., McLean, D.D. (1998). Anaerobic digestion of co-mingled municipal solid waste and sewage sludge. *Wat. Sci. Technol.* 38(2): 127-132.
- Han, Y., Dague, R.R. (1997). Laboratory studies on the temperature-phased anaerobic digestion of domestic primary sludge. *Water Environment Research* 69(6): 1139-1143.
- Kalogo, Y.; Monteith, H. (2008). State of Science Report: Energy and Resource Recovery from Sludge. Global Water Reserach Coalition (UKWIR, WERF & Stowa)
- Kepp, U., Machenbach, I., Weisz, N., Solheim, O.E. (2000) Enhanced stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis-three years of experience with full scale plant. *Wat. Sci. Technol.* 42(9): 89.
- Krugel S., Nemeth L., Peddie C. (1998). Extending thermophilic anaerobic digestion for producing Class A biosolids at the Greater Vancouver Regional District Annacis Island wastewater treatment plant. *Wat. Sci. Technol.* 38: 409-416.
- Laternus, F., von Arnold, K. Gron, C. (2007). Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils. *Environmental Science and Pollution Research* 14(1): 53-60.
- Logan, B.E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America..
- Luostarinen S., Luste S., Sillanpää M. (2009). Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meta processing plant. *Biores.Technol.* 100: 79-85.
- Mata-Álvarez, J. (2001). Digestió anaeròbica de residus sòlids urbans. *Estudis i Monografies 22*, Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, 134 pp.
- Mata-Álvarez, J., Cecchi, F. (1990). A review of kinetic models applied to the anaerobic biodegradation of complex organic matter. Kinetics of biomethanation of organic fractions of municipal solid wastes. In: Kamely, D., Chakrodory, A., Ommen, G.S., (Ed.), *Biotechnology and Biodegradation*. Portfolio Publ. Comp.: 65-68.
- Mata-Alvarez, J, Benabdallah El-Hadj T., Astals, S. (2008). Digestió Anaeròbia de fangs: possibles millores en el seu rendimiet. Volum de ponències. III jornades tècniques de gestió de sistemes de sanejament d'aigües residuals. *Tractament i valorització de fangs*. Barcelona, 91-105
- Mininni G., Bolzonella D., Braguglia C., Cecchi F. (2006). New perspectives of application of combined anaerobic digestion of secondary sewage sludge together with organic solid waste. Conference Proceedings of IWA Specialized Conference of Sustainable Sludge Management: state of the art, challenges and perspectives. Moscow, 29-31 May, 2006, 303-309.
- Palatsi, J., Gimenez-Lorang, A., Ferrer, I., Flotats, X (2009). Start-up strategies of thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge. *Wat. Sci. Technol.* 59(9): 1777-1784.
- Perez-Elvira, S.I., Fdz-Polanco, F., Fdz-Polanco, M., Rodriguez, P., Rouge, P. (2008) Hydrothermal multivariable approach. Full-scale feasibility study. *Electronic Journal of Biotechnology* 11(4):10 p.
- Pakhomov A.N., Danilovitch D.A., Strelstov S.A., Daineko F.A., Belov N.A. (2006). Improvement of sludge digester operation at Kryanovo and Lyuberetskaya Wastewater Treatment Plants, Moscow. Conference Proceedings of IWA Specialized Conference of Sustainable Sludge Management: state of the art, challenges and perspectives. Moscow, 29-31 May, 2006.
- Pickworth, B., Cranshaw, I., Abraham, K., Coleman, P., Walley, P., Solheim, O.E. (2001) Large scale reality of sewage sludge pasteurisation and thermal hydrolysis. In Proc. CIWEM/Aqua Enviro 6th European Biosolids and Organic Residuals Conference, Wakefield, UK.
- Shizas, I., Bagley, D.M. (2004) Experimental determination of energy content of unknown organics in municipal wastewater streams. *J. Energy Engineering* 130(2): 45-53.
- Zábranská J., Dohányos M., Jeníček P., Kutil J. (2000). Thermophilic process enhancement of excess activated sludge degradability – two ways of intensification sludge treatment in Prague central wastewater treatment plant. *Wat. Sci. Technol.* 41(9): 265-272.
- Zabranska, J, Dohanyos, M., Jenicek, P., Kutil, J. (2006). Disintegration of excess activated sludge - evaluation and experience of full-scale applications. *Wat. Sci. Technol.* 53(12): 229-236.