



# Depuració biològica d'aigües residuals

**TERESA VICENT  
JOSEP M. PARIS**

**D**urant els darrers anys, s'han restringit les especificacions dels abocaments, tant d'origen industrial com agrícola o ramader. Abans del 1972, els límits permesos es referien tan sols a la matèria orgànica, sòlids en suspensió, pH i alguns metalls, de manera que es podia reduir la contaminació aplicant fonamentalment tractaments biològics aerobis. Actualment, la normativa vigent es refereix a més d'un centenar de contaminants específics, la qual cosa fa que s'hagin d'utilitzar nous tipus de processos físics i químics abans de procedir a la depuració biològica de les aigües residuals.

Des del punt de vista contaminant, els residus es poden classificar de la següent manera:

- a) residus animals: excrements i fems.
- b) residus rurals: restes de plantes abandonades després de la collita, explotacions de fusta, desbrossament de boscos, restes de la poda d'arbres, etc.
- c) residus industrials: efluents d'indústries agroalimentàries i d'altres indústries (papereres, farmacèutiques, etc.).
- d) residus urbans: aigües residuals municipals i escombraries.

L'impacte ambiental d'aquests residus depèn de la periodicitat de l'abocament, de la seva naturalesa i del seu cabal i temperatura. Els possibles efectes que poden ocasionar poden ser físics, químics o biològics. Els impactes físics més generalitzats són els produïts per

l'abocament de residus a altes temperatures o amb un alt contingut en sòlids en suspensió sedimentables. L'impacte químic dels abocaments es relaciona amb l'acció dels diferents compostos tòxics, la variació del pH i de la conductivitat i la possible fermentació dels compostos orgànics. Finalment, la contaminació biològica és deguda al possible increment dels microorganismes patògens en el medi ambient.

A Catalunya, un dels sectors que tenen més repercussió sobre la contaminació del medi ambient és el ramader, al qual correspon més del 61% de la producció final agrícola; ocupa un dels primers llocs pel que fa a la seva importància en l'economia global del nostre país. La Taula 1 mostra les dades corresponents al darrer cens ramader (setembre del 1986), i cal destacar-ne les referents a la província de Girona. Din-

## DEPURADORES

**TAULA 1**  
Cens ramader a Setembre del 1986

	<i>boví</i>	<i>oví</i>	<i>porcí</i>	<i>aus</i> <i>broiler</i>	<i>posta</i>	<i>conills</i>	<i>equí</i>	<i>cabrum</i>
Barcelona	147014	141156	965011	36451000	1880000	5665000	4368	17283
Girona	145404	137118	603626	15499000	756000	1578000	3282	4026
Lleida	98457	368607	1269585	81240000	1325000	3658000	1678	8789
Tarragona	10834	101483	407130	76590000	4360000	1232000	1107	12770
Catalunya	401709	748369	3245352	209780000	8290000	12133000	10435	42868
Espanya	4929961	16954104	11960024	534473000	51453000	74314000	252353	2584219

**TAULA 2**  
Producció d'excrements animals (milers de tones)

	<i>boví</i>	<i>oví</i>	<i>porcí</i>	<i>aus</i> <i>(broiler posta)</i>	<i>conills</i>	<i>equí</i>	<i>cabrum</i>
Barcelona	1111	74	1257	158	34	40	5
Girona	974	83	651	67	18	26	4
Lleida	701	204	987	245	108	20	6
Tarragona	76	63	563	544	9	31	7
Catalunya	2862	424	3463	1009	163	117	22
Espanya	33311	8152	13572	3624	383	2807	1162

tre d'aquest sector s'ha d'assenyalar el fort increment de la ramaderia porcina en els últims anys (s'ha multiplicat per 22 en 25 anys). Actualment, amb la introducció d'explotacions intensives i l'ús massiu d'adobs inorgànics, els residus animals constitueixen un gran problema de contaminació orgànica i sanitària del medi ambient. La producció anual d'excrements animals de les diferents espècies està reflectida a la Taula 2. D'acord amb aquestes dades, la producció de fems a Espanya és de l'ordre de 60 milions de tones / any, amb un contingut en matèria orgànica de l'ordre del 20%.

### Compostos contaminants

Els residus poden contenir una gran varietat de compostos químics. Tan sols alguns d'ells són específicament regulats. La resta són classificats en les següents categories:

a) compostos orgànics solubles: inclouen alguns compostos químics sintètics, així com la majoria de productes originats per plantes i animals. Encara que els microorganismes poden degradar-ne la majoria, en la seva presència en el medi és indesitjable perquè el creixement de la biomassa consumeix l'oxigen de l'aigua on són abocats. El contingut en matèria orgànica soluble s'expressa normalment com

a demanda química D.QO i biològica d'oxigen DBO, encara que aquests paràmetres no són mesures absolutament perfectes.

b) ions de metalls pesants: mercuri, crom, plom, coure, zinc, etc., així com d'altres ions tòxics, com cianur, estan sotmesos a límits estrictes, a causa de la seva toxicitat.

c) acidesa i alcalinitat: són perjudicials perquè destrueixen la vida. Per tant, els abocaments àcids o alcalins han de ser neutralitzats abans del seu abocament.

d) olis, greixos i materials en suspensió: han de ser completament eliminats abans de l'abocament.

e) nutrients: nitrogen i fòsfor són necessaris per al tractament biològic de les aigües residuals, però llur excés ha de ser eliminat, perquè poden produir el fenomen conegut com a eutrofització.

f) sòlids en suspensió i col·loides: fan que l'aigua sigui opaca, que hi disminueixi la penetració de la llum i, a més, poden sedimentar, cobrint el fons del canal on són abocats.

g) color, terbolesa i olor: també han de ser eliminats. El color normalment està associat als abocaments de les indústries papereres i tèxtils. L'olor pot estar causada per sulfur d'hidrogen i residus orgànics animals.

És evident que un marge tan ample de possibles contaminants requereix, per fer la seva depuració d'una manera rendible, que la planta de tractament de les aigües contaminades inclogui una combinació

dels possibles processos de depuració.

### Tipus de tractament

La quantitat, tipus i concentració dels compostos contaminants i el grau de depuració requerit són els factors més importants a considerar a l'hora d'escollir el tractament aplicable a cada residu. La Taula 3 resumeix alguns dels processos disponibles per al tractament de les aigües residuals. Com es veu, es pot distingir entre a) processos de pre-tractament, que preparen el residu per al seu tractament; b) processos de tractament primari, normalment emprats per a l'eliminació dels sòlids en suspensió i per a l'ajust del pH; c) processos de tractament secundari, principalment biològic; d) processos de tractament terciari, que són normalment emprats per a acabar la depuració i ajustar-se a la normativa legal; i, finalment, e) d'altres processos que adequen les aigües tractades per al seu abocament.

### Tractament biològic

Aquest tipus de tractament es pot dur a terme emprant processos aerobis o anaerobis:

a) processos aerobis: la biomassa que degrada el residu està constituïda per microorganismes que ne-

## DOSSIER

**TAULA 3**  
**Processos de tractament d'aigües residuals**

Pre-tractament		Tract. primari		Tract. secundari		Tract. terciari	Tractaments diversos	Desinfecció
Grossos	Olis i greixos	Sòlids en susp.	pH	Matèria orgànica	Sòlids en susp.			
Desarenat	Sedimentació	Sedimentació	Neutrització	Bases d'estabilització	Sedimentació	Floculació	Precipitació	Cloració
Dilaceració		Floculació		Llacunes aerades	Floculació	Filtració	Oxidació	Ozonització
Garbellat		Flotació		Filtres percoladors		Adsorció	Reducció	Destrucció química
				Llots actius		Bescanvi iònic	Desorció	Irradiació
				Digestió aeròbia		Destil·lació		
				Digestió anaeròbia		Òsmosi inversa		
				Microfiltració		Electrodialisi		
				Discs biològics		Eliminació de nutrients		
						Congelació		
						Extracció		
						Incineració de líq.		

cessiten oxigen molecular lliure per tal de transformar la matèria orgànica en diòxid de carboni i noves cèl·lules.

b) processos anaerobis: la biomassa anaeròbia actua en absència d'oxigen per tal de transformar els contaminants orgànics en un gas combustible (biogàs), compost fonamentalment per metà i diòxid de carboni; el seu creixement microbià és molt baix.

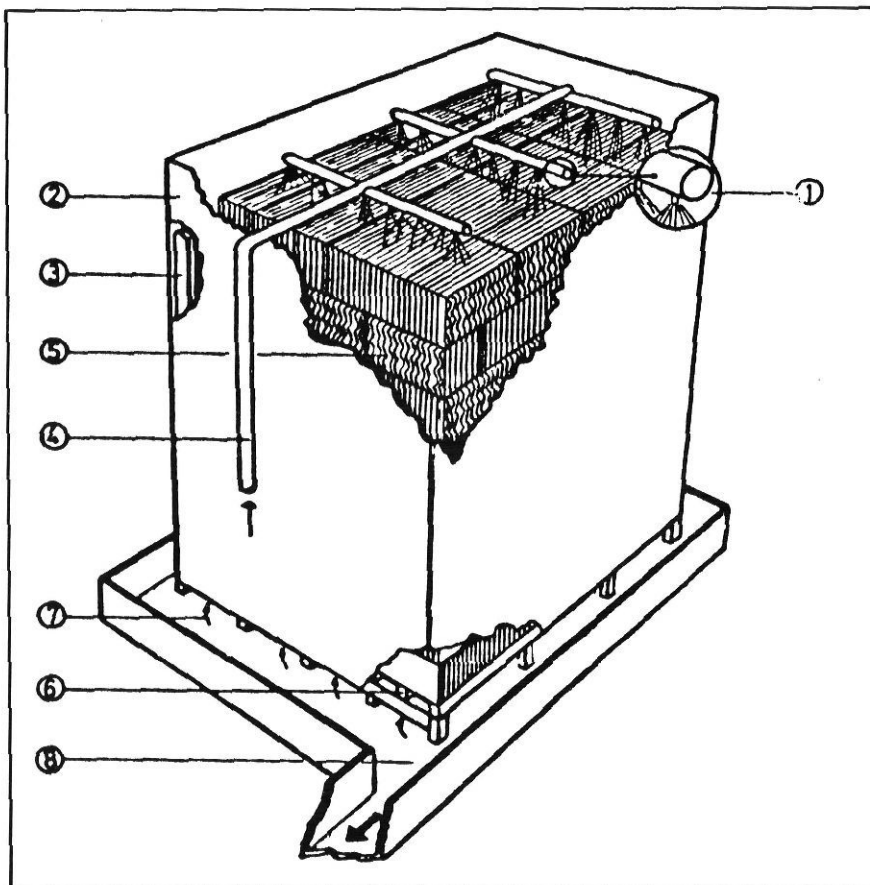
En ambdós processos, les noves cèl·lules formades, així com alguns materials no degradats, sedimenten formant un llot residual que ha de ser eliminat.

### Processos aerobis

Els sistemes de tractament aerobi normalment emprats es poden classificar en funció de l'estat de la biomassa microbiana a l'interior del reactor:

- a) biomassa no fixada: llacunes aeròbies;
- b) biomassa recirculada: llots actius;
- c) biomassa fixada: filtres percoladors i biodiscs.

Les llacunes aeròbies són excavacions del terreny de poca profunditat (inferior a 1,5 m) on es permet l'activitat fotosintètica d'algues. En alguns casos, s'augmenta la disso-



**Figura 1.**

*Filtre percolador. 1: sistema de distribució; 2: coberta; 3: estructura; 4: canonada d'alimentació; 5: rebliment; 6: suport; 7: espai d'aire i 8: col·lector (cortesia de CIDA-Hidroquímica, S.A.).*



## DEPURADORES

lució d'oxigen mitjançant la seva injecció directa o per agitació.

El procés de llots actius consisteix en un reactor que tracta d'una forma contínua l'aigua residual emprant biomassa floculant. En una segona fase, l'aigua, amb els flocs microbians, passa a un decantador per tal de separar el llot actiu, fent-lo recircular al reactor o purgant-ne l'excés. Els sistemes emprats per a la dissolució de l'oxigen de l'aire són molt diversos: injectors d'aire o oxigen pur, agitadors mecànics verticals o horitzontals o sistemes mixtos.

Els filtres percoladors disposen d'un suport inert sobre el qual es fixa la biomassa d'una manera espontània i a través del qual es fa passar l'aigua que s'ha de tractar. El medi filtrant és el factor més important en aquest tipus de sistemes; pot ser de material plàstic, pedres, grava, etc. Finalment, els biodiscs retenen la biomassa mitjançant una sèrie de tambors (discs) amb un eix horitzontal, que contenen un material semblant als filtres percoladors. Aquests discs estan parcialment submergits en l'aigua residual i la seva rotació facilita la transferència d'oxigen a la biomassa bacteriana (v. Figures 1 i 2).

### Processos anaerobis

Són adequats per al tractament d'efluents altament carregats (de 1.500 a 100.000 mg  $O_2 \cdot l^{-1}$ ), i presenten com a avantatge addicional la producció del biogàs, que pot ser

cremat per a satisfer necessitats energètiques o per a la cogeneració d'electricitat.

Hi ha diversos paràmetres d'operació que convé controlar per tal d'obtenir el màxim rendiment del procés. Un d'ells és la temperatura, ja que els bacteris anaerobis, segons la seva naturalesa, treballen d'una forma òptima en tres intervals diferents: 5-20 °C (psicròfils), 20-50 °C (mesòfils) i 50-70 °C (termòfils). L'interès actual se centra en els processos a baixa temperatura per al tractament de les aigües residuals d'origen ramader o municipal, mentre que per al dels efluents d'indústries agro-alimentàries es prefereix treballar a temperatura mesòfila, o fins i tot termòfila, ja que són abocats a altes temperatures.

D'altres paràmetres a controlar són: pH, que es prefereix prop de la neutralitat; una relació carboni / nitrogen / fòsfor equilibrada (de l'ordre de 150 / 5 / 1); una concentració de nitrogen amoniacal no excessivament elevada, sobretot quan es tracta de residus animals (millor inferiors a 3.000 mg.l<sup>-1</sup>); absència de determinats compostos tòxics, com ara dissolvents orgànics, pesticides i antibiòtics i concentracions baixes de metalls.

Les instal·lacions utilitzades són molt diferents, i el seu disseny depèn de la composició i de l'estat físic del residu a tractar, així com de les condicions d'operació del digester. Tenint en compte les seves característiques de funcionament, es poden distingir sistemes amb biomassa en suspensió o fixada i múltiples. A la Taula 4 es presenta

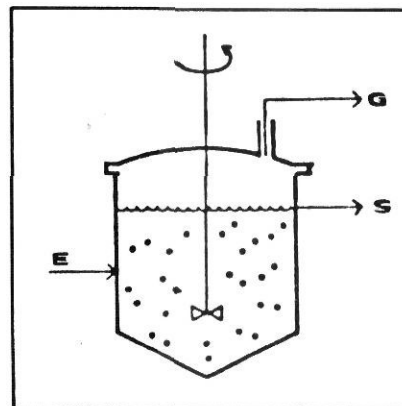


Figura 3.

Reactor convencional per a la digestió anaeròbia d'aigües residuals.

una comparació entre aquests processos referida a la facilitat d'engegar i operar, controlabilitat del procés, resistència als canvis i capacitat per a processar corrents amb un elevat contingut de sòlids en suspensió.

El digester de mescla completa és essencialment un reactor de tanc agitad continu. Ha estat el més emprat per a la digestió dels llots generats en el tractament aerobi d'aigües residuals. L'homogeneització del contingut del digester es realitza mecànicament o per recirculació de gas o líquid (Fig. 3).

El procés de contacte anaerobi consta d'un digester del tipus anterior al qual s'afegeix un decantador, que permet la recirculació dels llots per tal d'augmentar la concentració de biomassa activa al digester. L'eficàcia d'aquest sistema depèn de la decantació i recirculació dels llots.

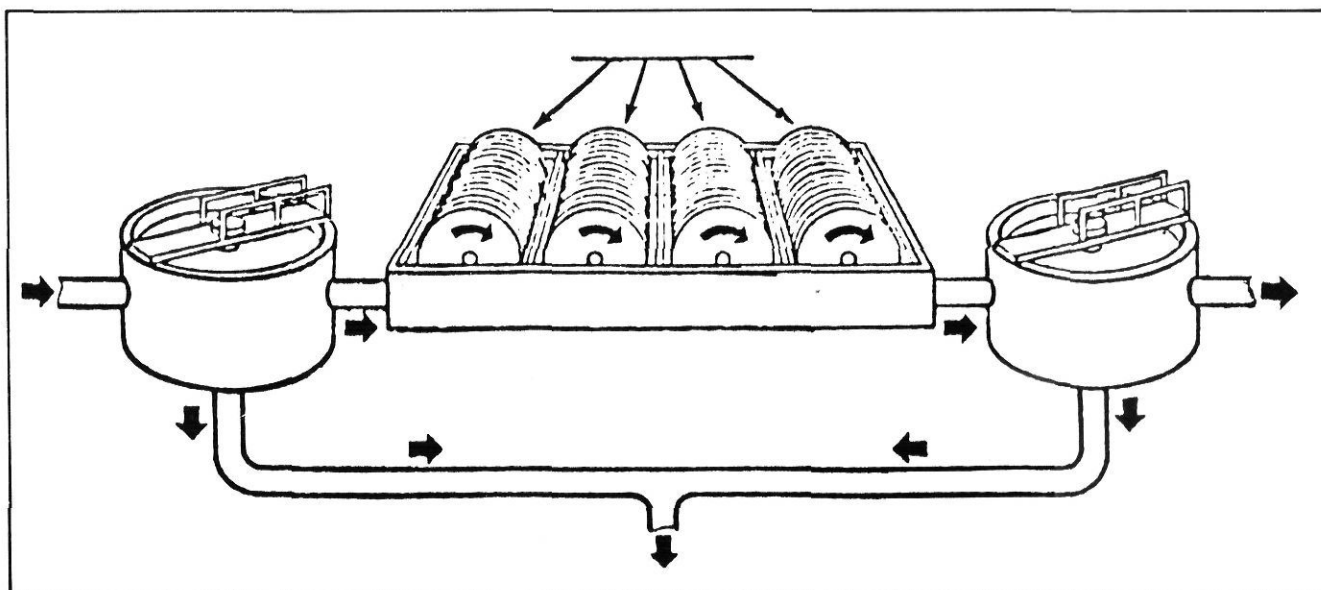


Figura 2.

Esquema d'una instal·lació de depuració aeròbia per biodiscs.

# DOSSIER

**TAULA 4**  
**Comparació de sistemes anaerobis**

	<i>Biomassa en suspensió</i>			<i>Biomassa fixada</i>	
	<i>sense recirculació</i>	<i>amb recirculació de sòlids</i>	<i>llit de llots</i>	<i>Pel·lícula fixada</i>	<i>llit fluiditzat</i>
Facilitat d'engegada	dolenta	excel.lent	acceptable	molt bona	bona
Facilitat d'operació	acceptable	acceptable	bona	excel.lent	bona
Controlabilitat	dolenta	excel.lent	bona	bona	bona
Resistència a canvis de:					
—Temperatura	dolenta	bona	excel.lent	excel.lent	excel.lent
—Tòxics	dolenta	bona	molt bona	excel.lent	excel.lent
—Càrrega orgànica	dolenta	molt bona	excel.lent	excel.lent	excel.lent
—Sòlida en susp. a l'aliment	molt bona	bona	acceptable	dolenta	acceptable
Capacitat per a processar llots	excel.lent	molt bona	dolenta	dolenta	dolenta

És adequat per tractar càrregues mitjanes o altes o una concentració elevada de sòlids en suspensió. Ha estat aplicat a la depuració d'aigües residuals de tot tipus (Fig. 4).

El reactor anaerobi de llit de llots, també anomenat UASB (de

l'anglès "Upflow Anaerobic Sludge Blanket"), ha estat desenvolupat a Holanda. En aquest cas, l'aigua residual passa simplement a través del llit de llots anaerobis de floculació o granulars, circulant en sentit ascendent fins a la part superior del

reactor, on es troba un dispositiu original de separació gas-sòlid-líquid, que permet la desgasificació, així com la decantació dels llots, que retornen a la zona activa del reactor (Fig. 5).

El filtre anaerobi va ser desen-

### Característiques dels dos Digestors anaerobis de les comarques gironines:

#### LA GARROTXA

<i>Tipus de digestor</i> mescla completa	<i>Material</i> formigó	<i>Capacitat</i> 148 m <sup>3</sup>
<i>Tipus de residu</i> fems líquid porcí	<i>Sist. d'escalfament</i> radiadors interiors amb aigua calenta	<i>Sist. d'agitació</i> recirculació de gas
<i>Sist. circ. fluids</i> forçada amb bomba	<i>Sist. emmagatz. gas</i> globus inflable	<i>Cap. acumulador gas</i> 35 m <sup>3</sup>
<i>Utilitz. gas</i> calefacció	<i>Utilitz. residu final</i> fertilitzant	<i>Càrrega diària</i> 8 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>
<i>Prod. neta gas</i> 93 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	<i>Personal</i> una persona	<i>Cost instal.lació</i> 7.000.000 Pts.

#### PERE CERDÀ (CAN BELLONA). MAÇANET DE LA SELVA. LA SELVA

<i>Tipus de digestor</i> mescla completa	<i>Material</i> fibra de vidre	<i>Capacitat</i> 47 m
<i>Tipus de residu</i> residu porcs	<i>Sist. d'escalfament</i> caldera de metà	<i>Sist. d'agitació</i> agitadors elèctrics
<i>Sist. circ. fluids</i> forçada amb bomba	<i>Sist. emmagatz. gas</i> globus inflable	<i>Cap. acumulador gas</i> 100 m <sup>3</sup>
<i>Utilitz. gas</i> calefacció habitatge, granja i frigorífic	<i>Utilitz. residu final</i> adob per als camps	<i>Càrrega diària</i> 47 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>
<i>Prod. neta gas</i> 100-120 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	<i>Personal</i> automatitzat una persona revisions	<i>Cost instal.lació</i> 5.000.000 Pts.

## DEPURADORES

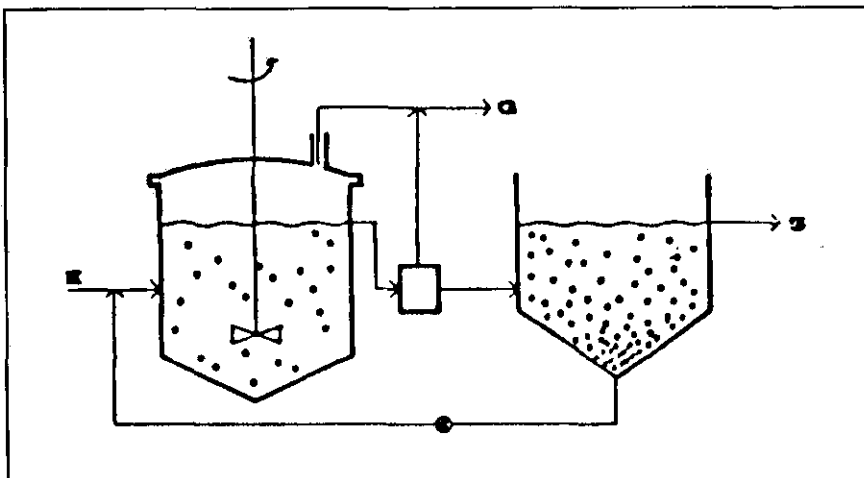
**TAULA 5**  
**Digestors anaerobis a Catalunya (1985)**

<i>propietari</i>	<i>tipus de digestor</i>	<i>residu tractat</i>	<i>utilitz. gas</i>	<i>utilitz. residu final</i>
—Granja Ferrer Dalmau Puigpelat ALT CAMP	mescla completa	purins de porc	calefacció electricitat	adob
—Vilarmau, Les Mora- tones San Joan d'Olot BAGES	mescla completa	purins de porc	--	adob
—S. Vilumara, La Tosa Gallús, BAGES	mescla completa	purins de porc	electricitat	adob
—P. Cerdà, Can Bellona Maçanet de la Selva LA SELVA	mescla completa	purins de porc	calefacció habitatge, paridora i frigorífic	adob
—Ajuntament de Reus Reus BAIX CAMP	mescla completa	llots de depuradora urbana aeròbia	--	adob
—LA GARROTXA	mescla completa	purins de porc	calefacció	adob
—Granja Les Feixes Sant Hipòlit de Voltregà OSONA	mescla completa	purins de porc	calefacció electricitat	adob
—APRO-ALFA Sucs SEGRIÀ	contacte	aigua residual d'ex- tracció de proteïna de la userda	calor planta	--
—Granja J. Badia Caldes VALLÈS OC.	mescla completa	purins de porc	calefacció electricitat	adob
—Ajuntament de Manresa Manresa BAGES	mescla completa	llots de depuradora urbana aeròbia	--	adob

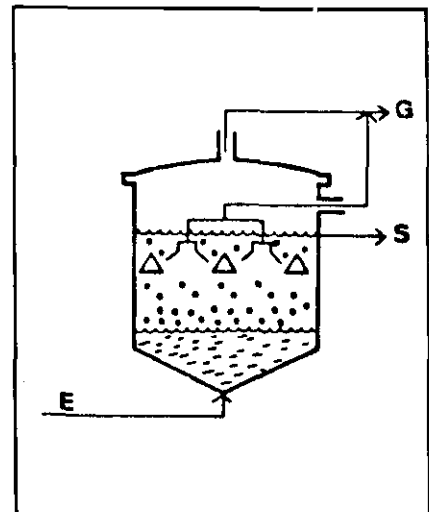
volupat cap als anys 60. És molt semblant al filtre percolador, amb les diferències de ser anaerobi i de circular el líquid normalment en sentit ascendent. S'ha utilitzat tot tipus de materials com a suport per a l'adhesió microbiana (ceràmic,

plàstic, pedres,...), encara que el més comunament utilitzat, pel seu rendiment i cost, ha estat el plàstic. Pot presentar els problemes típics d'un reactor de llit fix (caramulls, creació de camins preferencials, etc.), per la qual cosa és utilitzat

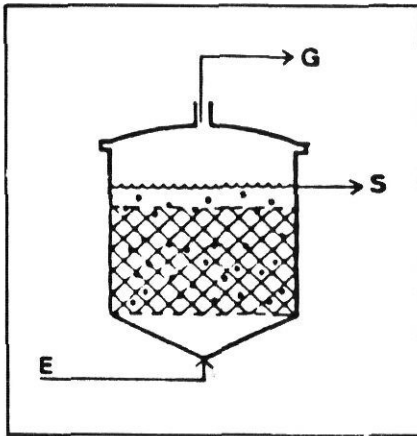
preferentment per al tractament d'efluents líquids. És de destacar la seva resistència a sobrecàrregues orgàniques, la possibilitat de treballar intermitentment i la seva estabilitat davant l'entrada de substàncies tòxiques o variacions sobtades del



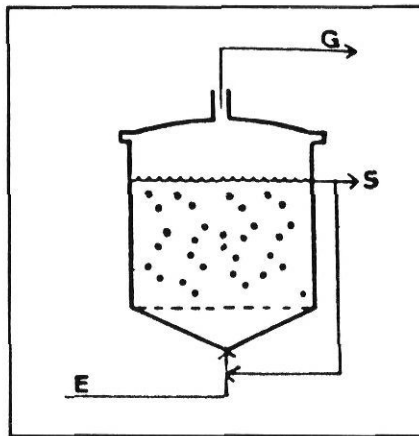
**Figura 4.**  
*Esquema del procés de contacte anaerobi.*



**Figura 5.**  
*Reactor anaerobi de llit de llots (tipus U.A.S.B.).*



**Figura 6.**  
Filtre anaerobi.



**Figura 7.**  
Reactor anaerobi de llit fluiditzat.

Comú a les figures 3-7:

E: aigua a tractar  
S: aigua depurada  
G: biogàs

pH (Fig. 6).

En el reactor anaerobi de llit fluiditzat la pel·lícula bacteriana es forma sobre un suport inert, sovint de partícules de sorra, que sol ser fluiditzat per recirculació de l'efluent del digestor. Sembla que és la tecnologia potencialment superior, encara que fins avui només es disposa de resultats a escala de laboratori o pilot, però les instal·lacions de dimensions industrials són molt escasses i es refereixen a efluentes d'indústria sucrera (Fig. 7).

### Depuració aeròbia o anaeròbia?

La depuració anaeròbia presenta sobre l'aeròbia una sèrie d'importants avantatges:

- es formen llots estabilitzats en petita quantitat,
- no sol ser necessària l'addició de nutrients,
- es poden tractar efluentes molt carregats i amb una elevada concentració de sòlids en suspensió,
- les necessitats energètiques del procés són molt més petites,
- es conserven els nutrients (per exemple, el nitrogen amoniacal),
- hi ha una important disminució de males olors.

Els desavantatges que presenta són:

- els períodes d'engegada poden ser llargs,
- l'engegada requereix energia per a escalfar i homogeneïtzar el reactor (encara que és molt petita),
- la depuració obtinguda no sol ser l'adequada per a l'abocament directe a corrents d'aigua, la qual cosa fa que puguin ser necessaris tractaments terciaris.

A la vista de la comparació entre processos aerobis i anaerobis per a la depuració biològica d'aigües residuals, s'entén que la tendència actual sembla enfocada cap als segons, àdhuc en el cas que s'hagi d'abocar a rius, llacs o al mar. En aquests casos, com s'ha dit, calen tractaments complementaris per tal de complir les normes legals, però el cost addicional que suposen aquestes instal·lacions queda compensat per l'energia obtinguda.

Teresa Vicent i Josep M. Paris són químics tècnics de la Universitat Autònoma de Barcelona, experts en tractaments anaerobis.

### BIBLIOGRAFIA

- "Anuario de Estadística Agraria" Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Servicio de Publicaciones Agrarias. Madrid, 1986.
- "El Campo". Boletín de Información Agraria. Banco de Bilbao. Barcelona, 1984.
- W. Wesley, J. Patoczka i A.T. Watkin. "Wastewater Treatment". Chem. Eng. 92 (18), 60-74 (1985).
- P. Gam, R. Roersma i G. Lettinga. "Anaerobic treatment of raw sewage by UASB reactors". Proc. 2nd Int. Symp. on Anaer. Dig. Travemunde, 1981.
- G.M. Faup. "Metanización de las aguas residuales de industrias agrícolas y alimentarias". Proc. Seminario sobre trat. y recicl. de aguas res. de bajos costos económicos y energéticos. Madrid, 1982.
- G. Lettinga, A.F.M. van Velsen, A. de Zeeuw i S.B. Hobma. "The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment". Proc. 1st Int. Symp. on Anaer. Dig. Cardiff, 1979.
- J.C. Young i P.C. McCarty. "The anaerobic filter for waste treatment". J. Water Pollut. Control Fed., 41 (5), R160 (1967).
- M. Henze i P. Harremoës. "Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors — a literature review". Water Sci. Technol. 15 (8/9), 1-101 (1983).
- E. Colleran i A. Wilkie. "The development of the anaerobic filter and its application to the treatment of agricultural wastes and effluents". En 'International Biosystems', CRC Press (en premsa).
- J. Paris, J.M. Lema i C. Casas "Criterios de selección de tecnología en la digestión anaeròbia de aguas residuales" Ing. Quim. 143, 143-149 (1983).
- A. Rozzi. "Trends in the development of anaerobic digestion technology". Proc. III Int. Symp. on anaerobic digestion, Boston, EE.UU. (1983).
- G. Lettinga et al. "Anaerobic wastewater treatment based on biomass retention with special emphasis on the UASB process". Proc. IV Int. Symp. on Anaerobic Digestion Guantzhou, R.P. China. (1985).
- T. Vicent, J.M. Lema i J.M. Paris. "Thermophilic anaerobic treatment of an industrial wastewater: start — up and stability studies". Biotech, Bioeng. Symp. 15, 599-609 (1985).
- E.S. Pankhurst. "The prospects for biogas — A european point of view". Biomass. 3, 1-42, (1983).
- T. Vicent i J.M. Paris "La digestió anaeròbia com un procés de descontaminació i revalorització energètica dels residus". Scientia Gerundensis, 10, 87-96 (1985).
- T. Vicent, J.M. Paris i M. Camprubí. "Estudi de l'eficàcia del procés de contacte anaerobi aplicat a la depuració de l'aigua residual d'una indústria agroalimentària. I. Experiments a l'interval mesòfil de temperatura". Scientia Gerundensis. 11, 63-69, (1986).
- W. Pfeifer i col. "State of the art of anaerobic wastewater treatment in various industrial branches". Result of a literature review. Universität München. (1986).