

# PERSPECTIVES DE LA FERMENTACIÓ METÀNICA EN EL TRACTAMENT DE RESIDUS ORGÀNICS

per

AGUSTÍ FLORS I BONET

Institut d'Agroquímica i Tecnologia d'Aliments (CSIC)  
Jaume Roig, 11 - 46010 València

## RESUM

La fermentació metànica (FM) és un procés biològic anaerobi mitjançant el qual la matèria orgànica és degradada a metà, diòxid de carboni, sals amòniques i sulfurs. Al llarg dels tres darrers decennis han estat fets progressos importants en el coneixement de la microbiologia, la bioquímica i la cinètica de la FM que han estat la base per al desenvolupament de noves tecnologies de tractament de residus agrícoles i industrials caracteritzades per llur simplicitat, llur baix cost energètic i, en el cas de residus d'alta càrrega orgànica, llur capacitat de producció neta d'energia en forma de metà.

Entre aquestes tecnologies destaquen per la seua competitivitat les anomenades de «contacte anaerobi», «filtre anaerobi», i «llit de llots anaerobis», avui plenament introduïdes en el tractament d'aigües residuals industrials i municipals als països més industrialitzats.

Malgrat la maduresa assolida, encara són previsible millores importants d'aquestes tecnologies en els camps del disseny i el control dels reactors de metanització, molt especialment en els anomenats reactors ràpids (filtre anaerobi, llit fluiditzat i llit de llots).

La millora de l'especificitat i eficiència dels microorganismes és objecte d'esforços considerables en dues direccions: les tècniques clàssiques de mutació-selecció i les de manipulació genètica ofertes per la moderna biologia molecular. Mentre que la primera direcció ha donat ja els seus fruits amb el desenvolupament de microorganismes de gran eficiència, avui comercialitzats com a productes específics contra determinats pol·lucionants, la segona direcció ensopega amb serioses dificultats de finançament a causa de la incertesa dels resultats i la resistència de les lleis actuals a admetre la utilització comercial de microorganismes manipulats.

Algunes empreses han intentat de salvar les dificultats esmentades substituint la comercialització dels microorganismes per la dels enzims produïts per aquests. Els resultats obtinguts semblen aplicables únicament al consum domèstic.

Cal dir finalment que, malgrat la tecnologia avançada de què hom disposa i les indubtables perspectives de nous avanços que hom anuncia, no sembla adequat de plantejar el problema de la preservació del medi ambient dins la dinàmica actual de l'alternança pol·lució-despol·lució.

## *Introducció*

La fermentació metànica (FM) és un procés anaerobi de biodegradació de la matèria orgànica que té com a productes finals el metà ( $\text{CH}_4$ ) i el diòxid de

carboni ( $\text{CO}_2$ ). Pot ésser definida també com un procés d'estabilització (mineralització) de la matèria orgànica que té lloc en les capes més profundes de determinats sistemes aquàtics (aiguamolls, llacs, estuaris, etc.) on la concentració d'oxigen és extraordinàriament baixa. Hom entén per estabilització la transformació dels components orgànics més biodegradables en compostos estables (no fermentables) com ara el  $\text{CH}_4$ , el  $\text{CO}_2$ , les sals amòniques, els fosfats i els sulfurs (VALLÈS *et al.*, 1980).

Com és sabut, la preservació del medi ambient reclama el tractament sistemàtic dels residus orgànics i de les aigües residuals per tal de reduir al mínim llur càrrega orgànica definida generalment per l'anomenada DQO \*. Degudament controlada, la FM és una tècnica especialment qualificada per a efectuar aquest tipus de tractaments per tal com a) produeix gas metà, un combustible d'alt poder calorífic; b) aquest gas se separa espontàniament del sistema en fermentació; c) el procés pot ésser dut a terme amb un baix autoconsum energètic. Cal tenir en compte que els mètodes aerobis convencionals, a més de dissipar el contingut energètic de la matèria orgànica cremant-la biològicament a  $\text{CO}_2$ , són grans autoconsumidors d'energia com a conseqüència dels sistemes d'aïrejament que requereixen. La FM pot resultar atraient fins i tot davant la fermentació etanòlica perquè, si bé aquesta ofereix també una bona fórmula (la producció d'etanol) per a conservar el contingut energètic del residu, com és ben sabut, la separació etanol-aigua és molt onerosa. Totes aquestes circumstàncies han determinat al llarg dels darrers vint anys un considerable desenvolupament de les aplicacions de la FM al tractament de residus orgànics. Avui aquesta tècnica és aplicada amb èxit al tractament de residus molt diversos que van des dels agropecuaris fins als urbans i agro-alimentaris.

### *Què és la FM?*

Esquemàticament aquest procés consta de tres etapes (BRYANT, 1979):

a) Hidròlisi dels biopolímers (carbohidrats i proteïnes) seguida de biodegradació dels monòmers resultants a àcids grassos volàtils (acètic, propiònic i butíric), àcid làctic i alcohols (principalment etanol). Microorganismes responsables: bacteris fermentatius de tipus facultatiu.

b) Acetogènesi, o formació d'àcid acètic i  $\text{H}_2$  a partir dels àcids i alcohols originats a l'etapa anterior. Microorganismes responsables: bacteris productors d'hidrogen, anaerobis estrictes.

c) Metanogènesi, o producció de metà per dues vies: 1) descarboxilació de l'àcid acètic, 2) hidrogenació del  $\text{CO}_2$  format tant en aquesta etapa com en eta-

\* DQO = Demanda Química d'Oxigen, mg d'oxigen necessaris per a l'oxidació completa de la matèria orgànica continguda en 1 litre de residu.

pes anteriors. Del total de  $\text{CH}_4$  format, un 70 % és generat per la primera via, i el 30 % restant per la segona. Microorganismes responsables: bacteris metanògens, en bona part consumidors d'hidrogen, anaerobis estrictes.

Alguns autors hi afegeixen (ZEIKUS, 1980) l'etapa homoacetogènica que representa els processos de generació d'acètic a partir de  $\text{CO}_2$  o d'altres monocarbonis. Es tracta d'una etapa que competeix amb la metanogènica.

La concentració d'hidrogen té un paper central (SAHM, 1984) en els processos de fermentació anaeròbia, i això és degut al fet que, com hem dit, hi coexisteixen etapes productores i consumidores d'hidrogen. Si hom vol que els productes finals de la fermentació anaeròbia siguin el  $\text{CH}_4$  i el  $\text{CO}_2$ , cal que la pressió d'hidrogen en el sistema siga inferior a  $10^{-3}$  atm (fig. 1). Per damunt

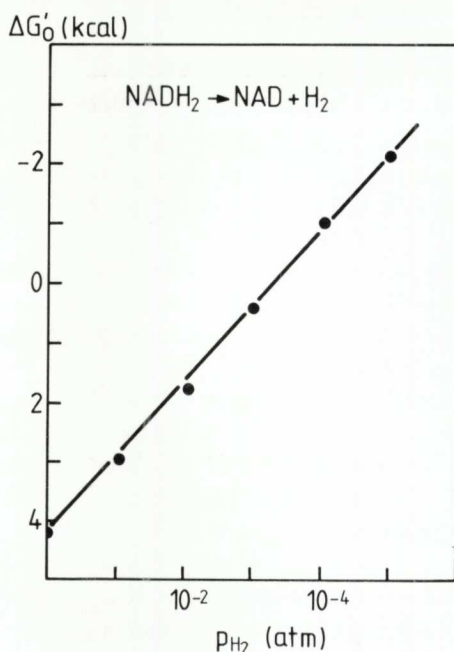


Fig. 1. - Variació de l'energia lliure de la reacció d'oxidació del  $\text{NADH}_2$  en funció de la pressió parcial d'hidrogen.

d'aquesta pressió, la reacció  $\text{NADH}_2 \rightarrow \text{NAD} + \text{H}_2$  és termodinàmicament desfavorable i no hi ha possibilitat de producció de l'hidrogen necessari per als processos de metanogènesi. D'una altra banda, l'acumulació de  $\text{NADH}_2$  desvia el procés cap a l'aparició de productes reduïts intermedis (àcids butíric, làctic, etc.)

Aquesta minimització de la pressió de  $\text{H}_2$ , indispensable per a la metanogènesi, s'acompleix a nivell biològic mitjançant associacions íntimes (simbiosis)

de microorganismes acetogènics (productors d'hidrogen) i metanogènics (consumidors d'hidrogen).

### *Reactors de biometanització*

Així doncs, un sistema metanogènic serà tant més eficient com més baixa siga la pressió de  $H_2$ . Aquest control de la pressió de  $H_2$  és aconseguit en els reactors (o digestors) tot mantenint una població metanogènica suficientment nombrosa i en les condicions que millor asseguren l'òptim d'activitat. Aquest òptim comporta un equilibri entre la població acidogènica (productora d'àcids i d'hidrogen) i la metanogènica (consumidora d'àcids i d'hidrogen). Aquest equilibri pot trencar-se en la pràctica per dues raons:

1) Creixement excessiu de la població acidogènica (per augment desproporcionat de la velocitat de càrrega, kg DQO alimentats/ $m^3$  de reactor.dia).

2) Reducció de la població metanogènica (de creixement més lent) per augment excessiu de la velocitat volumètrica de càrrega ( $m^3$  de residu alimentats/ $m^3$  reactor.dia).

Ambdós desequilibris, si no són corregits a temps, provoquen una acidificació del sistema (pH òptim  $\sim 7$ ), la consegüent inhibició de la flora metanogènica i, finalment, la paralització del digestor. És per això que el seguiment de la concentració d'àcids grassos (especialment de l'àcid propiònic) és considerat el millor indicador per al control dels reactors de biometanització.

Ara bé, a la pràctica, on es realitza la biometanització? Com qualsevol procés biològic controlat, la biometanització és realitzada en reactors on el residu (sovint aigua residual) a digerir és posat en contacte amb una microflora metanogènica. L'objectiu del disseny d'un bioreactor és d'assolir el màxim valor possible per a la velocitat de transformació (en aquest cas transformació en  $CH_4$ ) del substrat, la qual normalment és expressada com a kg DQO gasificats/ $m^3$  reactor.dia. Aquest objectiu és aconseguit: 1) augmentant dins el reactor la concentració de microorganismes (al cap i a la fi els microorganismes són d'alguna manera els catalitzadors dels processos biològics); 2) millorant la transferència de matèria substrat-microorganisme; 3) aportant-hi, si cal, macro- o micronutrients, reguladors de pH, etc. La fig. 2 representa els principals tipus de reactors de biometanització utilitzats. A dalt hom pot veure (A i B) els reactors de biomassa lliure: el reactor continu de tanc agitat i el reactor de flux pistó (ambdós sense cap dispositiu per a la retenció dels microorganismes) en els quals el temps de retenció de la biomassa ( $\Theta_B$ ) coincideix amb el temps de retenció hidràulic ( $\Theta_B = \Theta_H$ ); també hi veiem el reactor de contacte anaerobi (C) (ROZZI i VERSTRAETE, 1981) en el qual hom aconsegueix una certa retenció de la bio-

massa mitjançant un sistema de recirculació amb separació parcial d'aquesta (és a dir,  $\Theta_B > \Theta_H$ ). A sota hi han estat representats els reactors de biomassa immobilitzada o fixada: el reactor *D* (filtre anaerobi), en el qual els microorganismes es troben immobilitzats sobre la superfície dels sòlids d'un llit fix (DAHAB i YOUNG, 1981) i el *E* caracteritzat perquè la fixació dels microorganismes és duta a terme sobre partícules sòlides més petites que constitueixen un llit fluïditzat (SWITZENBAUM i JEWELL, 1980). Finalment, el *F* (reactor de llots anaerobis o UASB) és una modalitat en la qual la biomassa és retinguda en el reactor en forma de grànuls o floculs que constitueixen un sistema equivalent a un llit fluïditzat (LETTINGA, 1980).

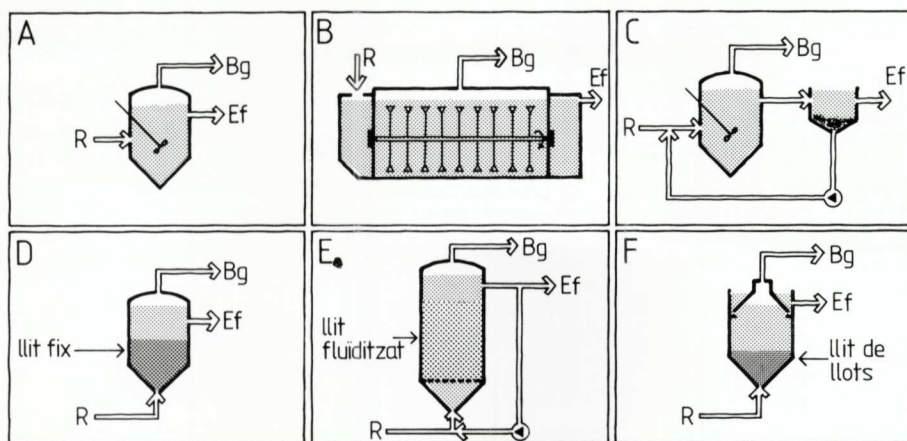


Fig. 2. - Diferents tipus de reactors de biometanització: A. Tanc agitad; B. Flux pistó; C. Contacte anaerobi; D. Filtre anaerobi; E. Llit fluïditzat; F. Llit de llots. (Residu: R; Efluent: Ef; Biogàs: Bg).

Com ja ha estat indicat anteriorment, la velocitat d'operació d'un bioreactor (kg DQO eliminats/m<sup>3</sup>.d) augmenta amb la concentració de biomassa (g/m<sup>3</sup>). En el cas dels reactors de biomassa fixada, aquesta creix a mesura que hom disposa de més superfície colonitzable pels microorganismes, superfície que, com és ben sabut, augmenta en disminuir la grandària de les partícules sòlides a colonitzar. Aquesta reducció de la grandària de les partícules és possible en els llits fluïditzats, els quals sovint són formats per sòlids de diàmetre inferior a 0,5 mm. Tanmateix, la reducció de la mida de partícula no pot continuar-se indefinidament per tal com existeix una limitació: el fenomen anomenat «arrossegament» hidràulic. Cal tenir en compte que els microorganismes constitueixen una capa biològica (biocapa o biopel·lícula) entorn de les partícules, fet que, per regla general, comporta una disminució de la densitat d'aquestes i una major facilitat per a llur arrossegament. Si a això s'afegeix que, a vegades, bombolles de gas

Taula 1  
 CARACTERÍSTIQUES DELS PROCESSOS DE BIOMETANITZACIÓ \*

	Reactor continu tanc agitat	Reactor de contacte	Filtre anaerobi o llit fluiditzat	UASB
Típus de residu o aigua residual	llots, fems granja, residus sòlids	aigües residuals ind. agroaliment.	aigües residuals ind. agroaliment.	aigües residuals ind. sucre i midó
Conc. convenient DQO (mg/l)	> 20.000	2.000-20.000	500-10.000	1.000-50.000
Temperatura operació (°C)	30-40	30-40	20-35	7-35
Velocitat de càrrega DQO (kg/m <sup>3</sup> .d)	1-8	1-5	1-15	3-15
Producció de llots (kg llot/kg DQO degradat)	—	0,03-0,10	0,03-0,10	0,04
Temps de retenció sòlids biològics (d)	10-30	> 20	> 100	> 100
Temps de retenció hidràulic (d)	10-30	0,5-25	0,2-3	0,2-3
Eficiència degradació (% DQO)	30-70	60-90	70-95	80-90

\* H. SAHM, Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, núm. 29, 83-115 (1984).

s'adhereixen a les biopartícules, és evident que en els llits fluiditzats les limitacions de dimensió mínima poden ésser molt dràstiques. Aquest fet, però, no impedeix que els llits fluiditzats siguin sovint els reactors amb més altes concentracions de biomassa (hom cita valors fins a  $40 \text{ kg/m}^3$ ) i també més altes velocitats de reacció (fins a  $37 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{d}$ ) (HICKEY i OWENS, 1981). Com a contrapartida, dins els reactors anaerobis, aquests són els que presenten un més gran autoconsum energètic (energia elèctrica per a mantenir la recirculació).

Els reactors de llots anaerobis (o UASB) presenten característiques molt similars als de llit fluiditzat per bé que no sempre és possible aconseguir la granulació de la microflora. Les aigües residuals de les indústries del sucre i del midó són les més adients per a assolir aquesta granulació imprescindible per al procés.

Pel que fa a millorar la transferència substrat-microorganismes, hom acostuma a intensificar l'agitació (cas dels reactors de tanc) o a augmentar la velocitat relativa fluid-sòlids biològics (cas dels reactors de columna).

Finalment, cal dir que, per regla general, els residus orgànics són rics en micronutrients. Per aquest motiu, molt rarament s'han d'afegir components d'aquests tipus. Algunes vegades (especialment en el cas de residus rics en carbohidrats) cal corregir la relació C/N afegint-hi compostos nitrogenats, i controlar el pH del sistema mitjançant una dosificació adequada de carbonats alcalins.

### *Praxi actual de la fermentació metànica*

A la taula 1 hom presenta esquemàticament, per a les tècniques de fermentació metànica més comunes, els marges dins els quals varien els paràmetres operatius del procés i les eficiències obtingudes. Així mateix, la taula 2 completa aquesta informació amb noves dades referides a instal·lacions concretes que l'any 1982 funcionaven a escala industrial amb els residus indicats. En el moment actual hom pot afirmar, doncs, que la fermentació metànica és una tecnologia d'ús comú en el tractament de residus i aigües residuals als països industrialitzats.

### *Perspectives futures*

El millorament dels processos de tractament de residus pot ésser abordat en dues direccions: 1) desenvolupament de millores en el disseny i control dels reactors (que, recorrent a un símil amb la microelectrònica, seria el *hardware*), i 2) desenvolupament de microorganismes més eficaços i més especialitzats (el *software*).

Pel que fa al *hardware*, les perspectives semblen prometedores en els reactors de biomassa immobilitzada. Aquí hi ha un marge considerable per a millo-

Taula 2  
 EXEMPLES DE PLANTES DE TRACTAMENT DE BIOMETANITZACIÓ A  
 LA INDÚSTRIA AGRO-ALIMENTÀRIA \*

Tipus de reactor i indústria	DQO entrada (g/l)	Càrrega volumètrica (kg/m <sup>3</sup> .d)	Reducció assolida (%)	Temps de residència hidràulica (d)
TANC AGITAT, residus extracció d'oli de palma	65,0	—	75	20
TANC AGITAT, residus granjes porquines i vacunes	18,4 (DBO <sub>5</sub> ) 51,1	2,1 (DBO <sub>5</sub> ) 5,8	70 (DBO <sub>5</sub> ) 35	10
CONTACTE ANAEROBI, indústria càrnica	1,4 (DBO)	2,52	90,8	0,5
CONTACTE ANAEROBI, ind. del sucre (remolatxa)	—	2,5	93-95	—
CONTACTE ANAEROBI, destil·leria de vi	40,0	8,0	95	5
FILTRE ANAEROBI, fàbrica gluten de blat	8,8	3,8	75 (DQOf)	0,92
FILTRE ANAEROBI, fàbrica goma guar	9,1	7,9	60	—
LLOTS ANAEROBIS (UASB), indústria del sucre (remolatxa)	4,2	14	90	0,3

\* OLESZKIEWICZ i OLTTHOF (1982).



rar els actuals reactors. Així, en el cas dels filtres anaerobis (reactors biològics de llit fix), hom progressa en el desenvolupament de rebliments de densitat mínima i baix preu que presenten una alta superfície específica per a la fixació de microorganismes. En el cas dels reactors de llit fluïditzat, l'optimització del disseny s'orienta també cap al desenvolupament de nous materials-suport (presumiblement plàstics), lleugers i amb bona resistència mecànica, susceptibles d'ésser transformats en partícules de petites dimensions i alta superfície específica. Si aquestes condicions fossin satisfetes, seria possible de disposar de llits fluïditzats d'alta eficiència biològica i mínim consum energètic. Finalment, en el cas dels reactors UASB, les perspectives de millora se situen més aviat a nivell de procés. En aquest sentit hom fa un esforç considerable per tal d'aprofundir en el coneixement de les bases físico-químiques i biològiques que fan possible el procés de granulació. Aquest aprofundiment potser permetria de generalitzar l'aplicació d'aquesta tècnica a aigües residuals fins ara considerades no aptes per a la granulació, o, si més no, faria possible d'escurçar el temps necessari (normalment, llarg) per a la formació dels grànuls (HENZE i HARREMOËS, 1983).

Pel que fa al *software*, el somni dels microbiòlegs i dels bioenginyers és d'obtenir microorganismes «fets a mida», és a dir especialitzats en la metabolització d'uns pol·lucionants determinats.

Una part d'aquest somni ja és una realitat perquè, si més no en alguns casos, avui dia ja disposem de microorganismes especialitzats en la catabolització de productes tòxics i altament refractaris a la biodegradació.

Ara bé, com poden ésser obtinguts aquests microorganismes? Les possibles vies poden agrupar-se en dues: 1) les clàssiques, basades en la selecció (o mutació/selecció) de microorganismes, i 2) les ofertes pels coneixements actuals en el camp de l'enginyeria genètica.

### *Tècniques de selecció*

Són procediments ben clàssics coneguts en microbiologia amb el nom de tècniques d'enriquiment. Com és sabut, si partint d'una flora mixta amb gran varietat de microorganismes hom inicia un cultiu continu (chemostat) i hom hi va substituïnt progressivament i lentament un substrat de fàcil metabolització (glucosa per exemple) per un altre de tòxic i/o refractari, els microorganismes que hi sobreviuen després d'un període suficientment llarg d'alimentació amb aquest darrer substrat és evident que han d'ésser capaços de metabolitzar-lo. A més a més, la utilització de la tècnica del «chemostat» fa que els microorganismes de creixement més lent siguin eliminats («arrossegats») progressivament, i només romanguen al bioreactor els de més ràpid creixement (és a dir els que metabolitzen amb més efectivitat el producte no desitjable). L'eficiència d'aquest procés de selecció pot ésser millorada notablement aplicant les tècniques convencio-

nals de mutació/selecció. En aquest cas la mutació és accelerada mitjançant la utilització de reactius mutagènics o radiacions d'alta energia.

Quan hom ja ha arribat a un microorganisme o cultiu mixt d'alta eficiència en la biodegradació d'un producte pol·lucionant, només cal obtenir aquest microorganisme o microorganismes en grans quantitats i donar al producte una presentació adequada per a la seua utilització.

Avui dia, diverses firmes, principalment nord-americanes (Cyttox, Sybron Biochemical i Flow Laboratories, per exemple), tenen en el mercat productes (per regla general liofilitzats en pols que porten incorporats humectants i emulsionants) de gran eficiència en la metabolització d'hidrocarburs, formol i residus difícils de les indústries alimentàries, farmacèutiques, tèxtils i del paper (POWLEDGE, 1983).

### *Tècniques de manipulació genètica*

Com acabem de veure, les vies clàssiques d'obtenció de microorganismes especialitzats han permès d'assolir fites importants a nivell d'algunes aplicacions concretes en la tecnologia antipol·lució. Però, dins d'aquest sector tecnològic, què podem esperar de les modernes tècniques de manipulació genètica? Ací les perspectives no semblen tan prometedores, si més no, a curt termini i a termini mitjà. Les dificultats existents són de tres tipus: tècniques, legals i econòmiques.

Pel que fa a les dificultats tècniques, cal començar dient que la microbiologia és una ciència vastíssima amb amplis capítols encara desconeguts. Per exemple, no sabem encara com les bacteris aconsegueixen la informació necessària per a degradar substàncies artificials que fins ara no havien existit a la natura. El cas dels bacteris que oxiden el metà és ben allisonador: aquests bacteris són insensibles als agents mutàgens coneguts i sembla que els gens que codifiquen l'oxidació del metà no estan continguts en plàsmids. És evident que la manipulació d'aquests gens exigirà no solament noves tècniques sinó, probablement, també noves idees.

Un altre tipus de dificultats que s'oponen a l'aplicació de les tècniques de manipulació de gens són les legals. Les tècniques de mutació-selecció no són mirades amb desconfiança perquè hom parteix de la base que empren mètodes «naturals» adreçats a magnificar propietats que ja preexistien en els microorganismes originals. Ben diferent és el cas en què la millora dels microorganismes implica transferència de gens entre gèneres i, àdhuc, entre regnes: aleshores hom suposa que poden generar-se microorganismes amb característiques imprevisibles. És lògic, doncs, que els organismes regulatoris i les legislacions dels diferents països s'ho miren amb cert respecte i prenguen mesures per tal d'evitar disseminacions de microorganismes potencialment perillosos. En primer lloc cal-

dria disposar de bons «tests» (és a dir, proves veritablement significatives) per a l'avaluació de la perillositat dels nous microorganismes. De moment sabem que alguns organismes (per exemple l'Agència Nord-americana del Medi Ambient, EPA) hi estan treballant, però n'hi ha per a estona! Mentrestant, hom proposa de continuar els estudis en tres direccions: 1) assajar en sistemes tancats enginyeritzats els microorganismes «insuficientment» caracteritzats pel que fa a llur perillositat; 2) dissenyar microorganismes que exhaurixen completament llur substrat favorit (fet que lògicament comporta llur desaparició) i 3) introduir en els microorganismes gens letals. No cal dir que aquesta autoimmolació és de gran interès per als venedors de microbis!

Malgrat les dificultats existents, cal dir que els microorganismes manipulats han començat a guanyar batalles legals: potser la més significativa ha estat l'acceptació per part del Tribunal Suprem dels EUA de la primera patent microbiològica: la *Pseudomonas* de Chakrabarty obtinguda reunint el gens de diferents microorganismes capaços de degradar components del petroli (POWLEDGE, 1983).

Finalment, cal comentar breument les dificultats de tipus econòmic, sens dubte les més decisòries a l'hora d'introduir noves tecnologies. I no és previsible que l'aplicació de les tècniques biològiques al control de la pol·lució siga l'excepció de la regla. Aquestes van arribant al mercat a mesura que esdevenen competitives amb les convencionals (per ex., incineració, neutralització química, confinament, etc.) Avui dia, com ha estat indicat més amunt, ja són competitives les tecnologies biològiques basades en tècniques de mutació-selecció. No ho són encara, i sembla que trigaran a ser-ho, les basades en tècniques de manipulació genètica. Com a explicacions a aquest fet, poden ésser adduïdes les enormes despeses de recerca i, més encara, les lligades als «tests» de seguretat exigits actualment pels organismes regulatoris.

### *Fórmules alternatives*

Les dificultats que acabem d'enumerar estan d'una o altra manera lligades al desenvolupament i utilització de nous microorganismes. Aquest fet ha estat determinant perquè algunes empreses hagen optat per comercialitzar enzims en lloc de microorganismes. Exemples d'aquest tipus de plantejament són determinats productes d'ús domèstic com «desembussadors» enzimàtics a base de proteases i lipases, o d'ús industrial com alguns complexos utilitzats a les plantes depuradores per tal de millorar la coagulació, i la consegüent separació de l'aigua, dels llots produïts.

### *Consideracions finals*

— La fermentació metànica ofereix la possibilitat d'efectuar l'estabilització dels residus orgànics sense renunciar a l'aprofitament de llur contingut energètic en forma de metà. Aquest fet contrasta amb els elevats costos energètics dels mètodes de tractament purament aerobis.

— Hi ha perspectives immediates de millora de la tecnologia en el disseny i control dels reactors de biometanització, especialment en els reactors ràpids de llit fix o fluiditzat, o de llots granulats.

— Tant en biometanització com en altres tècniques antipollucionants, ha estat iniciada la comercialització de microorganismes per a ús en massa, millorats mitjançant tècniques de mutació-selecció.

— El desenvolupament de microorganismes d'alta eficiència antipollucionant per manipulació genètica sembla una via amb bones perspectives a llarg termini. A curt termini, dificultats de tipus científic i legal frenen fortament aquesta via.

— Les inversions en recerca genètica d'avantguarda dins el sector de la tecnologia antipollucionant són molt tímides i més aviat van dirigides al desenvolupament de productes per al gran consum, sens dubte els més atractius des del punt de vista d'una amortització i uns beneficis a curt termini.

— Els grans problemes actuals del medi ambient només podrien trobar solució amb fortes inversions de recerca i desenvolupament en el sector públic. Ha estat suggerit, i d'alguna manera ha començat a ésser aplicat en certs països, que aquesta àrea tecnològica es mobilitzaria si hom aplicàs mesures tals com carregar fortes taxes als pollucionadors o primar l'obtenció de recursos a partir dels residus (l'obtenció d'alguns metalls valuosos o de CH<sub>4</sub> en serien exemples). Tanmateix, la mecànica de pollucionar en massa per a despollucionar en massa no sembla una fórmula practicable. Potser ja és hora d'anar dient amb claredat que l'ideal d'una natura equilibrada només podrà assolir-se pel camí del canvi socioeconòmic que a la llarga, no cal dir-ho, només serà possible amb un canvi radical de l'actual escala de valors.

### BIBLIOGRAFIA

- BRYANT, M. P. (1979). «Microbial methane production - Theoretical aspects». *J. of Ani. Sci.* 48 (1), 193-201.
- DAHAB, M. F., YOUNG, J. C. (1981). «Energy Recovery from Alcohol Stillage Using Anaerobic Filters». *Biotechnol. Bioeng. Symp.* núm. 11, 381-398.
- HENZE, M., HARREMOËS, P. (1983). «Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors - A Literature Review. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 15, Copenhagen 1-101.

- HICKEY, R. F., OWENS, R. W. (1981). «Methane Generation from High-Strength Industrial Wastes with the Anaerobic Biological Fluidized Bed». *Biotechnol. Bioeng. Symp.* núm. 11, 399-413 (1981).
- LETTINGA, G., van VELSEN, A. F. M., HOBMA, S. W. de ZEEUW, W., KLAPWIJK, A. (1980). «Use of the Up flow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Waste Water Treatment, Especially for Anaerobic Treatment». *Biotechnol. Bioeng.* XXII, 4, 699-734 (1980).
- OLESZKIEWICZ, J. A., OLTHOF, M. (1982). «Anaerobic Treatment of Food Industry Wastewaters». *Food Technology*, 78-82 (June 1982).
- POWLEDGE, T. M. (1983). «Prospects for Pollution Control with Microbes». *Biotechnology*, Nov. 1983, 743-755.
- ROZZI, A., VERSTRAETE, W. (1981). «Calculation of active biomass and sludge production vs waste composition in anaerobic contact processes». *Trib. Cebedeau*, 455, 34, 421-427.
- SAHM, H. (1984). «Anaerobic Wastewater Treatment» dins «Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology», núm. 29, pàg. 83-115, Springer-Verlag (Berlín).
- SWITZENBAUM, M. S. and JEWELL, W. J. (1980). «Anaerobic attached-film expanded-bed reactor treatment». *Journal WPCF*, Vol. 52, núm. 7, 1953-1965.
- VALLÈS, S., FLORS, A., LEQUERICA, J. L., MADARRO, A. (1980). «Producción de metano por fermentación anaerobia. I. Descripción del proceso». *Rev. Agroq. Tecnol. Aliment.* 20 (2), 189-208.
- ZEIKUS, J. G. (1980). «Microbial populations in digesters» dins *Anaerobic Digestion*. D. A. Stafford, B. I. Wheatley and D. F. Hughes, pàg. 61-89. Applied Science Publishers Ltd. (Londres, 1980).