

# Bioiragazpena: gasen korronteak tratatzeko aukera garbia

*A. Barona\*, E. Elías, I. Cano eta R. Arias*

Ingeniaritza kimikoa eta Ingurumena Saila  
Ingeniaritza Goi-Eskola. Urkijo z/g. 48013 Bilbao  
\* e-mail: iapbafea@bi.ehu.es

**Laburpena:** Gasen tratamendurako metodo biologikoak, mikroorganismoek molekula kutsatzaileak degradatzeko duten ahalmenean oinarritzen dira. Metodo hauetariko bat bioiragazpena dugu eta teknologia «garbia», «merkea» eta «eraginkorra» da. Aplikazio ugari ditu, besteak beste, H<sub>2</sub>S-a bezalako konposatu kirasdun edota toxikoak dituzten gas emarien tratamendua. Kutsatzailearen kontzentrazioa txikia denean eta tratatu behar den gas bolumena handi samarra denean erabiltzen da batez ere. Beraz, hainbat industriak igorritako gasak tratatzeko aplikazio zuzena du.

## SARRERA

Industrien jardueren ondorioz sortutako ingurumenaren arazoa, besteak beste, industriek askaturiko kutsatzaile toxikoen igorpenari lotuta dago. Hala ere, toxikoak izateaz gain, zenbait kutsatzailek, nahiz eta kontzentrazio baxuetan egon, usain desatsegina (hatsa edo kiratsa) izaten dute; hau dela eta, euren igorpena gero eta kontrolatuago dago.

Sufrea duten konposatu asko kutsadura kirasduna eragiten dute. Euren artean H<sub>2</sub>S-a aipa daiteke eta usain desatsegina izateaz gain, oso korrosiboa da. Gainera, gizakiarentzat toxikoa da; izan ere, 800 ppmv-tik gora heriotza eragin dezake, baina zorionez, gizakiak usaimenaren bidez oso kantitate txikiak detektatzen ditu (kantitatea 10 ppbv-tik gorakoa).

Industria kimikoak eta petrokimikoak, elikagaien industriak, ur-araztegiek eta hondakinen zabortegiek usain txarreko konposatuen igorpenarekin lotuta daude zuzenean. Industria motaren arabera, oso desberdina da airera jaulkitzen diren konposatu kirasdunen kantitatea; araztegietan eta elikagaien industrian kantitate txikiak igortzen dira baina paper-industrietan, ostera, kantitateak oso altuak izaten dira [1, 2].

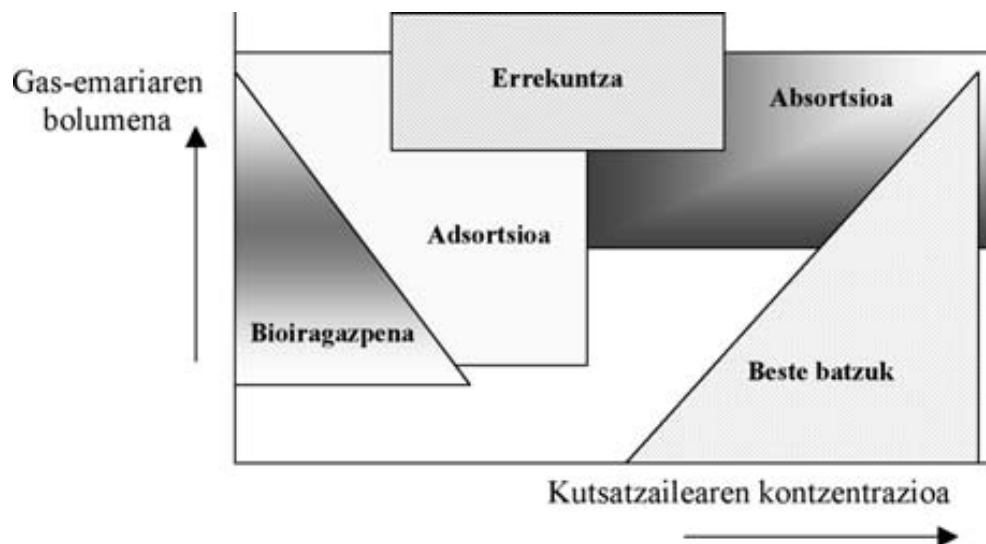
Ingurumenari buruz gizarteak gero eta ardura handiagoa duenez, eta nazioarteko legeak gero eta zorrotzagoak direnez, kutsatzaileak murrizteko teknologia berriak ikertzen ari dira azken urteotan. Literaturan gas-korronteak garbitzeko askotariko prozesuak deskribatu dira eta hauen artean baten bat aukeratzeko, kutsatzailearen izaera eta kontzentrazioa, tratatu behar diren gasen bolumena, instalazioen inbertsio-gastuak eta kudeaketa-gastuak izan behar dira kontuan [3].

Bioiragazpena ez da teknika berria baina, gasen korronteak garbitzeko teknologia honek hurrengo abantaila aipagarri bi ditu egun: produktu kalte-garririk sortu gabe kutsatzaile kirasdunak edota arriskutsuak degradatzea eta merkea izatea [4].

## USAIN TXARRAK KENTZEKO SISTEMAK

Kirasdun gasak tratatzeko teknologia aukeratzeko muga bi hartu behar dira kontuan: alde batetik, degradatu behar den konposatuaren kontzentrazioa eta bestetik, tratatu behar den gas-masaren bolumena. 1 irudian ageri da egun merkatuan eskuragarri dauden teknologien eskema parametro bi hauen arabera. Kutsatzailearen kontzentrazioa txikia denean eta tratatzeko gas-masaren bolumena handi samarra denean erabiltzen da bioiragazpena.

Ohiko teknikak diren errekontza, garbiketa kimikoa eta adsortsioa, oso eraginkorrak dira gas- korronteak tratatzeko. Hala eta guztiz ere, errekun-



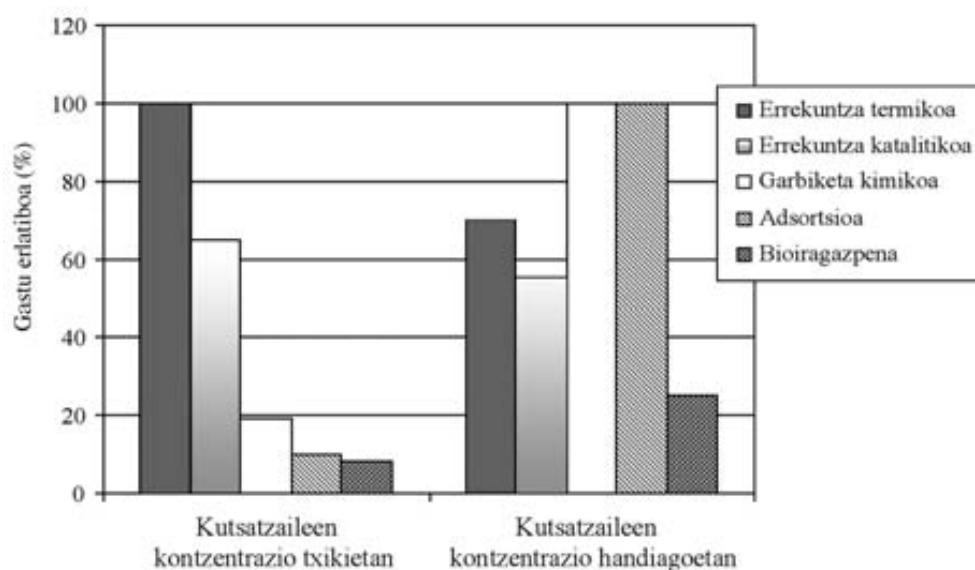
**1. irudia.** Gasak tratatzeko teknologiarik erabilienak, gasen emarien bolumenaren eta kontzentrazioaren arabera.

tzaren kasuan desabantaila handiak dira erregaien gastua eta prozesuan bertan sortutako gasen igorpen kaltegarriak. Garbiketa kimikoa erabiltzeko oztoporik handienetako bat, likido oxidatzaileak erabili behar izatean dago. Bioiragazpena, teknologia «garbia», «merkea» eta «eraginkorra» da, tratatu nahi den gas-masaren emaria eta kutsatzailearen kontzentrazioak teknika honen aplikazio-eremuaren edo tartearen barruan daudenean. Gainera, konposatu organiko eta ezorganiko asko degradatzeko teknika eraginkorra da, 1. taulan erakusten den moduan.

Edozein teknika aukeratzeko oso faktore garrantzitsua da inbertsio ekonomikoarena, industrian onartua eta, beraz, erabilia izan dadin. Hurrengo irudian (2. irudia) sistema desberdinen arteko konparazio ekonomikoa ikus daiteke tratatu behar den kutsatzailearen kontzentrazioen arabera. Kostu erlatibo hauek irudikatzen dira, errekuntza termikoaren eta katalitikoaren

**1. taula.** Konposatu kirasduak tratatzeko teknika desberdinen arteko konparazioa

Teknika	Abantailak	Desabantailak
<b>Errekuntza</b> (termikoa-katalitikoa)	—Azkarra —Eraginkortasun handikoa (%99) —Energia berreskuratzeko aukera	—Erregaiaren gastua —Hondakin kutsatzaileak (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )
<b>Garbiketa kimikoa</b>	—Azkarra —Eraginkortasun handikoa (95%) —Konposatu organiko eta ezorganiko hegazkorren kasuan eraginkorra	—Substantzia toxikoak edo korrosiboak erabili beharra (hipokloritoa, ozonoa, permanganatoa...) —Hidrokarburoen kasuan erabiliezin
<b>Ikatz aktikoaren bidezko adsortsioa</b>	—Konposatu organiko hegazkorrek tratatzeko eraginkortasun handikoa —Adsorbaturiko gasak berreskuratu egin daitezke	—Kutsatzaileak ez dira degradatzen, adsorbatu baizik —Ikatz aktibatua ase ahala, eraginkortasuna galdu egiten da —Ur-lurruna dagoenean, interferentziak sor daitezke
<b>Bioiragazpena</b>	—Adsortsioaren, garbiketaren eta oxidazioaren efektuak konbinatzen ditu —Konposatu organiko eta ezorganiko askori eza-rrita eraginkortasun handia lortzen da (80-99%) —Ez da hondakinik sortzen	—Ez da oso azkarra —Neurri handiko instalazioak —Mikroorganismoen kontrola



**2. irudia.** Gasen tratamendurako teknologien arteko konparazioa ekonomiaren ikuspuntutik.

ren kasuan, prozesuan sorturiko energia berrerabil daitekeela kontuan hartu da eta ikatza aktiboaren adsortsioaren kasuan, adsorbatzailea berreskuratu egin daitekeela aintzat eman dugu. Oro har, kutsatzaile kantitate txikiak tratatzeko teknikarik merkeena bioiragazpena da (kantitate handietan ez litzateke eraginkorra izango, nahiz eta oso garestia ez izan). Kontzentrazio handietan, berriz, errekuntza da aukera egokiena gastu ekonomikoaren eta batez ere eraginkortasunaren ikuspuntutik.

## SUBSTANTZIA KIRASDUNAK DEGRADATZEKO METODO BIOLOGIKOAK

Gasen tratamendurako metodo biologikoak, mikroorganismoek molekula kutsatzaileak degradatzeko duten ahalmenean oinarritzen dira. Mikroorganismoak bizi eta gara daitezen fase likidoa behar da eta ondorioz, sistema biologikoetan hiru faseak agertzen dira: alde batetik, degradatuko edo tratatuko den gasa duen fase gaseosoa, euskarria den fase solidoa eta biomasaren aktibitatea edo degradazioa burutuko den fase likidoa.

Bioiragazpena (edo mikroorganismoen bidezko degradazioa) burutzeko hiru sistema edo ekipo mota daude: biogarbiontziak, biotantaohantzeak (biotrickling filters) eta bioiragazkiak. Sistema hauetako baten bat aukera-

tzeko, parametro bi hartu behar dira kontuan: alde batetik, gas-emarian konposatu kutsatzaileak duen kontzentrazioa eta konposatu horrek fase likidoaren eta gaseosoaren artean banatzeko duen koefizientea (Henry-ren konstantea). Sistema bakoitzak berez dituen abantailak eta desabantailak ere aztertu behar dira. Hurrengo taulan (2. taulan) bioiragazpean oinarritutako ekipo edo sistema desberdinen ezaugarriak erakusten dira.

**2. taula.** Biodegradazioan erabiltzen diren sistema edo ekipo desberdinen abantailak eta desabantailak

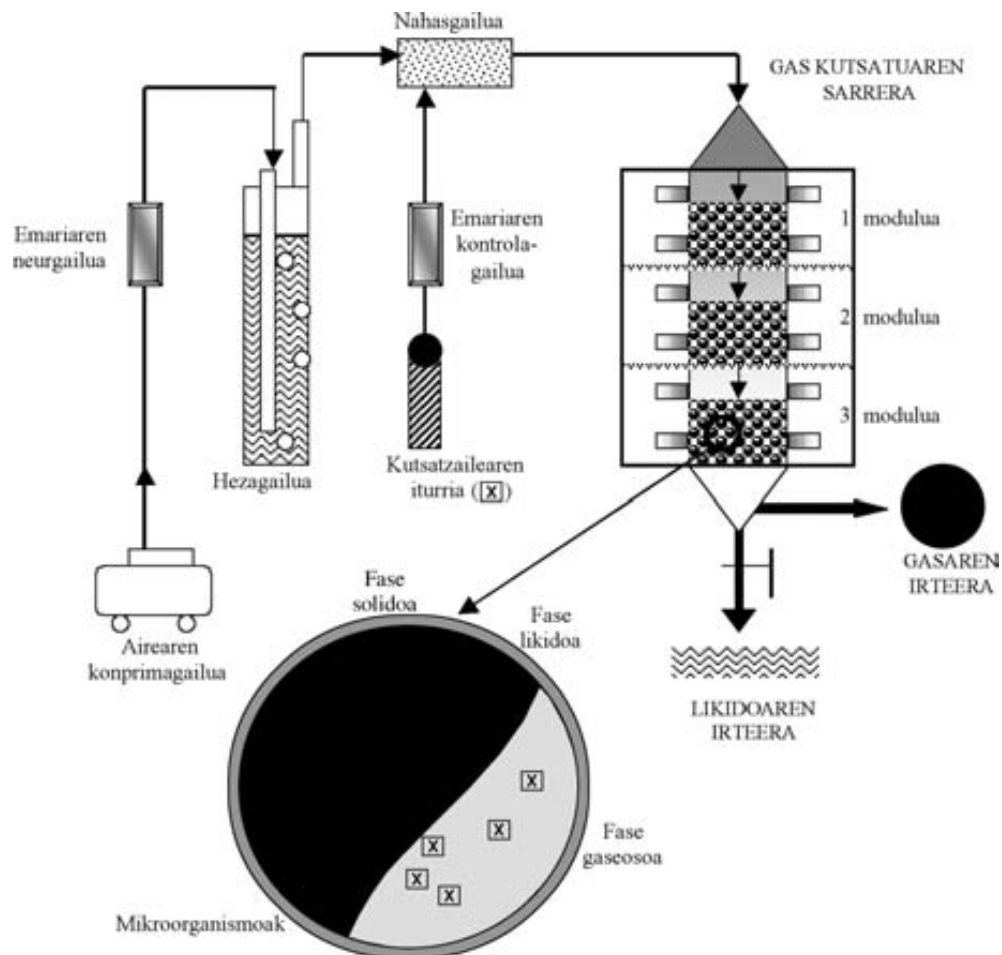
<b>Ekipoa</b>	Abantailak	Desabantailak
<i>Bioiragazkiak</i> Biomasa → geldia Fase likidoa → geldia	—Gas-likido fasearte handia —Martxan jartze eta funtzionamendu errazak —Ez da garestia —Biomasa-galera txikiak	—Erreakzio-parametroen kontrola ez zehatza —Kontzentrazio-aldaketarako inertzia geldoa —Instalazio handiak behar dira
<i>Biotantaohantzeak</i> Biomasa → geldia Fase likidoa → mugikorra	—Erreakzio-parametrorik garrantzitsuenak ondo kontrola daitezke —Instalazio txikiak —Karga-galera txikiak —Biomasa gutxi galtzen da	—Gas-likido fasearte txikia —Lokatz edo basa ugari —Martxan jartzea ez da erraza —Garestia
<i>Biogarbitontziak</i> Biomasa → esekiduran Fase likidoa → mugikorra	—Erreakzio-parametrorik garrantzitsuenak ondo kontrola daitezke —Instalazio txikiak behar dira —Karga-galera txikiak	—Gas-likido fasearte txikia —Hazkunde motela duten mikroorganismoak lixibiatu egin daitezke —Lokatz edo basa ugari —Martxan jartzea ez da erraza —Garestia

## BIOIRAGAZKIAK

Industria mailan gasak mikroorganismoen bidez degrada daitezkeela frogatu zuen lehenengo ikertzailea Bach izan zen 1923. urtean eta bereziki, hidrogeno sulfuroa (H<sub>2</sub>S-a) tratatzeko ur-araztegiaren erabili zuen bioiragazpena.

Degradazio biologikoa nabarmenki garatu da azken urteotan eta 80.eko hamarkadatik hona pinturen industriek, ur-azategiek eta galdategiek bezalako industriek igorritako konposatu organiko hegazkorrak eta beste konposatu kutsatzaile batzuk degradatzeko erabili da era sistematikoan [5]. Gainera, aipatutako beste abantailen artean, teknologia alternatibo hau merkea izatea oso erakargarria da industria mailan aplikatzekotan.

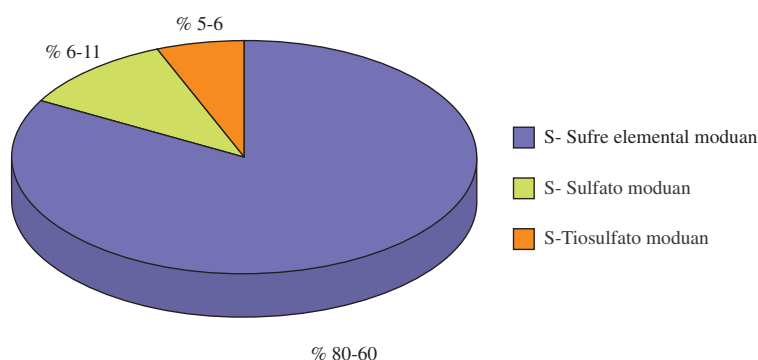
Jarraian, H<sub>2</sub>S-a bioiragazpenaren bidez degradatzeko laborategiko planta pilotuaren eskema (3. irudia) ageri da. Bioiragazki honen muntaia sinplea da eta, sistema martxan jartzeko inbertsioa, oso txikia. Erakutsitako irudietan, bioerreaktorea edo bioiragazkia PVCz fabrikaturik dagoen hodia da (1 m-ko altuera eta 10 cm-ko diametroa) eta aurrerago deskribatuko diren kontrolerako parametroak neurtu, aztertu eta optimizatu ahal izateko, hiru modulutan banatu da bioerreaktore hau.



3. irudia. Bioiragazkiaren laborategiko muntaia orokorra eta osagaiak

Bioiragazgailua edo bioerreaktorea hiru faseak dituen sistema da. Alde batetik, konposatu kutsatzailea duen *gas-jarioak*, solidoa eta disolbaezina den *euskarria* zeharkatzen du. Euskarri solido honetan mikroorganismoak bizi dira itsatsita eta bertan kutsatzailea eta beste konposatu batzuek (oxigenoa adibidez) disolbatuko diren *ur-fasea* edo fase likidoa geldi dago [6]. Biomusak ur-fase horretan disolbaturik dauden konposatuak baino ezin ditu degradatu; hots, gas-fasetik zuzenean ezin ditu hartu; ondorioz, euskarriaren ur-fase edo ur-biofilm hau oso garrantzitsua eta erabakigarria da prozesuaren eraginkoratsunarako.

Biodegradazioaren ondorioz ekoizturiko produktuak oso desberdinak dira elikaturiko kutsatzailearen izaeraren arabera. Zenbait konposatu organikoren kasuan (toluenoaren kasuan adibidez) degradazioa %100ekoa denean,  $\text{CO}_2$ -a eta  $\text{H}_2\text{O}$ -a lortzen dira batez ere eta produktu hauek zuzenean igor daitezke atmosferara. Baina, tamalez, kloroa duten konposatu organiko hegazkorak elikatzen direnean, hidrogeno kloruroa ( $\text{HCl}$ -a) ager daitezke [7]. Hidrogeno sulfuroa bezalako konposatu ezorganikoaren degradazioan ere, lorturiko produktuak oso desberdinak izan daitezke. Adibidez, Arreguy-k [8] bioiragazgailuari  $\text{H}_2\text{S}$  moduan elikaturiko sufre guztiaren %80-86a sufre elemental bihurtzen zela aurkitu zuen eta kantitate oso txikia sulfato eta tiosulfato moduan agertzen zela (4. irudia). Kasu honetan, produktu hauek denak solidoak direnez, euskarriaren gainean ezartzen dira eta honek abantailak (atmosferara gas garbia igortzea) eta desabantailak (euskarriaren azalera espezifikoa murriztea) eragiten ditu. Beste ikertzaile batzuek [9] ostera, azido sulfurikoa ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ -a) aurkitu dute  $\text{H}_2\text{S}$ -aren degradazioaren produktu gisa.



**4. irudia.** Hidrogeno sulfuro eran elikaturiko sufrearen banaketa espezie desberdinetan biodegradazioaren ostean [8]

Bioiragazpena era esperimentalean aztertzeko eta jarraitzeko parametro mota bi daude: prozesuaren eraginkortasuna neurtzen dutenak eta prozesuaren funtzionamendu egokia kontrolatzen dutenak.

Lehenengo motaren barruan ezabatze-eraginkortasuna (E) eta ezabatze-ahalmena (EC) aipa daitezke eta hurrengo formulen bidez kalkulatzen dira:

$$\text{Ezabatze-eraginkortasuna (E)} = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{Ezabatze-ahalmena (EC)} = \frac{(C_{in} - C_{out}) Q}{V} \quad (\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1})$$

$C_{in}$  eta  $C_{out}$ , konposatu kutsatzailearen sarrerako eta irteerako kontzentrazioak; Q, gas-emaria ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) eta V, ohantzearen bolumena dira ( $\text{m}^3$ ).

Biodegradazio-prozesuaren funtzionamendu egokian eragin handiko aldagaiak edo parametroak dira euskarriaren pH-a eta hezetasuna, gasaren egoitza-denbora, tenperatura eta biomasa mota.

Bioerreaktorean produktu azidoak ekoizten direnean funtsezkoa da euskarriaren pH-a neurtzea. Produktu azido hauek oso kaltegarriak dira; euskarria desegin edo disgregatu egin dezakete; bide preferentzialak, presio-galera handiak eta solidoaren konpaktazioa gerta daitezke [10]; beste alde batetik, mikroorganismo gehienek hazkunde eta garapen egokirako pH-ak neutraltasunetik hurbil egon behar du, nahiz eta zenbait mikroorganismo pH oso baxuetan bizi daitezkeen (adibidez, *Thiobacillus*-ak 1 eta 8 pH tartean bizi daitezke eta *Thiobacillus thiooxidans*-ak, berriz, 1 eta 3 pH balioen bitartean) [11]. Azidotasunaren arazoa konpontzeko, berezko buffer-ahalmena duten euskarriak aukeratu behar dira, baina gehienentan, azidotasuna neutralizatzeko kaltzio karbonatoa [10] edo sodio bikarbonatoa [12] gaineratzen zaio bioerreaktoreari.

Euskarriaren ur-edukiak edo hezetasunak eragin handia du bioerreaktorean [5, 13]. Hezetasun maila baxuak, degradazioa gertatu behar duen biofilm likidoa murrizten du, eta beraz, biomasaren hazkundera eta arnasa mugatuko ditu [13]. Baldintza hauetan, mikroorganismoen jardura moteldu egiten da eta euskarriak adsorbaturiko molekula kutsatzaileak desorbatu egin daitezke [14]. Hezetasun ezak gune anaerobioen agerpena eta solidoaren konpaktazioa ekar ditzake [5]. Berriz, hezetasun-maila handiegia denean, euskarriaren poroak urez bete daitezke edo euskarria bera desegin egin daiteke; ondorioz, presio-galera handiak eragiten dira eta ohantzearen propietateak galdu [15]. Bibliografian aholkaturiko hezetasun maila %65 eta %150 bitartekoa da, baina  $\text{H}_2\text{S}$ -a bezalako molekula biodegradagarrietan, %100eko eraginkortasuna lortu da uraren edukia %11 bezain txikia izanik [16].

Gasaren egoitza-denbora, hots, erreazio-sistema zeharkatzeko gasak behar duen denbora, oso aldakorra izan daiteke eta biomasaren jardueraren, euskarri motaren eta konposatu kutsatzailearen izaeraren arabera izaten da.



Temperaturari dagokionez, bioiragazketan erabiltzen diren mikroorganismok mesofiloak direnez, biomasaren jarduerari laguntzeko temperaturarik egokienak 30 eta 35°C bitartekoak dira. Oro har, ezabatze-eraginkortasun (trukaera) altuak lortzeko, temperatura 20 eta 40°C bitartekoa izatea aholkatzen da [5, 14, 15], nahiz eta batzuetan 10 eta 45°C bitartean ere arazorik gabe lan egin daitekeen. Beste alde batetik, gehienetan ezabatze-eraginkortasunak temperatura igoz batera gora egin arren, igoera honek kutsatzaileak urretan duen disolbortasuna txikitzea dakarrela hartu behar da kontuan [17].

Bioiragazgailuetan euskarria erabiltzearen helburua biomasari eustea da baina era berean, biomasa hori hazi eta gara dadin urari eutsi behar zaio. Oro har, mikroorganismoek era egokian lan egin dezaten, biofilmean oxigenoak egon behar du disolbaturik eta tenperaturaren eta pH-aren tarteez egokiak izan behar dute; mikroorganismoentzat toxikoa den konposaturik ez da egon behar eta biomasak elikagaiak eskuragarri eduki behar ditu (batzuetan elikagai hauek euskarriak berak ematen ditu eta beste batzuetan eman egin behar izaten zaizkio sistemari kanpotik) [5]. Euskarri organikoek elikagaiak izaten dituzte (adibidez nitrogenoa, potasioa eta fosforoa) eta oro har nahikoa izaten da mikroorganismoak bizi daitezen; baina euskarri ezorganikoen kasuan edo euskarri geldoak dituzten materialen kasuan, naitaezkoa da gatz ezorganikoak gehitzea eta gatz hauek ohantzeko materialari egoera solidoan nahastuz edo likido eran dispersioz sartzen dira. Gainera, biomasa-populazioaren zati bat hil egiten denean, elikagaiak birziklatu egiten dira [18]. Elikagaien gaineratzea oso era kontrolatua egin behar da, bestela biomasaren hazkunde azkarregia gerta liteke [13] eta honen ondorioz, presio-galerak eta euskarriaren konpaktazioa ere gerta litezke [19]. Beharrezkoak ez diren elikagaiak gaineratzea kalterako izan daiteke. Hidrogeno sulfuroaren degradazioan harrikatuz eta uraztegi-tako basaz osaturiko euskarria erabiliz, sistemari elikagaiak eman gabe emanda baino azkarrago hasten zela degradazioa ikusi zuen Kowal ikertzaileak [20].

Euskarri solidoaren izaera eta propietate fisiko-kimikoak ere garrantzi handikoak dira. Oro har, azalera espezifiko handia izan behar du alde batetik eta bestetik, behar den besteko konsistentzia izan behar du bioerreaktoreak luzaro martxan irauteko. Osaera kimikoari dagokionez, eta lehen aipatu den bezala, materia geldoz (poliestirenozko bolaz edo sumendietako harri txikiez adibidez) edo materia organikoaz (zuhaitz-azalez, egurrezko txirbilez edo hondakin organikoaz oro har) osaturik egon daiteke [21, 22, 23, 24].

## **ESKERRONAK**

Lan hau Euskal Herriko Unibertsitateko 1/UPV 00112.345-t-13929/2001 proiektuari eta Zientzia eta Teknologiarako Ministerioko PPQ2002-01088 MCYT proiektuari esker (FEDER laguntzarekin) burutu da.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] LE CLOIREC, P.; GUEUX, M.; PAILLARD, H.; ANSELME, C. 1991. «Sources of Volatile Organic Compounds and Examination of Odorant Pollution». *Odeurs Desodorisation Environ.*, 195-245.
- [2] BRENNAN, B.M.; DONLON, M.; BOLTON, E. 1996. «Peat Biofiltration as an Odour Control Technology for Sulphur-Based Odours». *Journal Ciwem.*, **10**, 190-198.
- [3] FANLO, J.L.; DEGORCE-DUMAS, J.R.; LE CLOIREC, P. 1993. «Deodorization of Industrial Waste Air by a Biofilter». *Air Pollution (Int. Conf.)*, **1<sup>st</sup>**, 727-734.
- [4] SUN, Y.; CLANTON, C.J.; JANNI, K.A.; MALZER, G.L. 2000. «Sulfur and Nitrogen Balances in Biofilters for Odorous Gas Emission Control». *American Society of Agricultural Engineers*, **43** (6), 1861-1875.
- [5] LESON, G. eta WINER, A.M. 1991. «Biofiltration: an Innovate Air Pollution Control Technology for VOC Emissions». *Journal of the Air & Waste Management Association*, **41** (8), 1045-1054.
- [6] MORALES, M.; HERNÁNDEZ, S.; REVAH, S.; AURIA, R. 1998. «Modeling Drying Process on Biofiltration». *Proceedings of the 91th Air & Waste Management Association Annual Meeting*, San Diego.
- [7] BALTZIS, B.C. 1997. Biofiltration of VOC vapors Biological. Ed. Lewandowski, G.A. eta DeFilippi, L.J. *Treatment of Hazardous Wastes*, John Wiley & Sons, Chapter 5, 119-150.
- [8] ARRÉGUY, A. 2001. *Traitement d'Effluents Gazeux par Biofiltration: Application à l'Hydrogène Sulfuré*. Thèse de l'Université de Pau.
- [9] HARTIKAINEN, T.; RUUSKANEN, J.; MARTIKAINEN, P.J. 2001. «Carbon Disulfide and Hydrogen Sulfide Removal with a Peat Biofilter». *Journal of the Air and Waste Management Association*, **51** (3), 387-392.
- [10] DEVINNY, J.S.; CHITWOOD, D.E.; REYNOLDS Jr, F.E. 1998. «Two Stage Biofiltration for Wastewater Treatment Off-Gases». *Proceedings of the 91th Air & Waste Management Association Annual Meeting*, San Diego.
- [11] SMET, E.; LENS, P.; VAN LANGENHOVE, H. 1998. «Treatment of Waste Gases Contaminated with Odorous Sulfur Compounds». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **28** (1), 89-117.
- [12] TORRES, E.M. eta BASRAI, S.S. 1998. «Evaluation of Two Biotechnologies - Biofiltration and Biotrickling Filtration for Controlling Air Emissions from POTWS». *Proceedings of the 91th Air & Waste Management Association Annual Meeting*, San Diego.
- [13] VAN LITH, C.; LESON, G.; MICHELSEN, R. 1997. «Evaluating Design Options for Biofilters». *Journal of the Air & Waste Management Association*, **47**, 37-48.
- [14] KIARED, K.; WU, G.; BEERLI, M.; ROTHENBÜHLER, M.; HEITZ, M. 1997. «Application of Biofiltration to the Control of VOC Emissions». *Environmental Technology*, **18**, 53-63.
- [15] SWANSON, W.J. eta LOEHR, R.C. 1997. «Biofiltration: Fundamentals, Design and Operations Principles, and Applications». *Journal of environmental Engineering*, **June**, 538-546.
- [16] ELIAS, A.; BARONA, A.; RIOS, F.J., ARREGUY, A.; MUNGUIRA, M.; PEÑAS, J.; SANZ, J.L. 2000. «Application of biofiltration to the degradation of hydrogen sulfide in gas effluents». *Biodegradation*, **11**, 423-427.

- [17] YANG, Y. eta ALLEN, E.R. 1994. «Biofiltration Control of Hydrogen Sulfide. 1. Design and Operational Parameters». *Journal of the Air & Waste Management Association*, **44**, 863-868.
- [18] CORSI, R.L. eta SEED, L. 1995. «Biofiltration of BTEX : Media, Substrate, and Loadings Effects». *Environmental Progress*, **14** (3), 151-158.
- [19] DEGORCE-DUMAS, J.R.; KOWAL, S.; LE CLOIREC, P. 1997. «Microbiological Oxidation of Hydrogen Sulphide in a Biofilter». *Canadian Journal of Microbiology*, **43**, 264-271.
- [20] KOWAL, S. 1993. *Désodorisation sur Biofiltre à Support Consommable. Application du Procédé BSE pour l'Élimination de l'Hydrogène Sulfuré*. Thèse de l'Université de Provence.
- [21] VEIGA, M.C. eta KENNES, C. 2001. «Parameters Affecting Performance and Modeling of Biofilters Treating Alkylbenzene-Polluted Air». *Applied Microbiology and Biotechnology*, **55** (2), 254-258.
- [22] QUINLAN, C.; STREVETT, K.; KETCHAM, M. 1999. «VOC Elimination in a Compost Biofilter Using a Previously Acclimated Bacterial Inoculum». *Journal of the Air & Waste Management Association*, **49**, 544-553.
- [23] ERGAS, S.J.; KINNEY, K.; FULLER, M.E.; SCOW, K.M. 1994. «Characterization of a Compost Biofiltration System Degrading Dichloromethane». *Biotechnology and Bioengineering*, **44** (9), 1048-1054.
- [24] ELIAS, A.; BARONA, A.; ARREGUY, A.; RIOS, J.; ARANGUIZ, I.; PEÑAS, J. 2002. «Evaluation of a packing material for the biodegradation of H<sub>2</sub>S and product analysis». *Process Biochemistry*, **37**, 813-820.