

4. GAIA

LURZORUAREN KUTSADURA ETA HONDAKINEN KUDEAKETA

Biztanleriaren hazkuntza eta gizarte industrializatuen garapena hondakinen sortze-tasa eta bere toxikotasuna handitzea eragin du. Honek naturaren oreka eraldatu egin du ingurumena degradatuz.

1. SARRERA

Hondakina da gizakien jardueretan sortzen den material hondatuen eta alferrikako materialen multzoa, testuinguru horretan balio ekonomikoa lortu ez duena.

Orain dela urte batzuk hondakinak naturan integratzen ziren oreka ekologikoa mantenduz. Hondakin askok beste erabilera batzuk izaten zituzten: ongarri, animalientzako janaria, erregai, etab. Horrela oreka ekologikoa mantentzen zen baino gaur egun egoera aldatu egin da hurrengo faktoreak direla eta:

- 1- Hazkuntza demografikoa eta biztanleria hiri handietan kontzentratzea: honek hondakin asko toki mugatu batean kontzentratzea eragiten du.
- 2- Behin erabilia bota egiten diren ontziak gero eta gehiago erabiltzen direnez plastiko, paper, beira eta metalezko hondakinen kantitatea handitu egin da.
- 3- Produktuak (ibilgailuak, tresna elektrikoak) azkarrago zahartzen dira urte gutxitan hondakin asko sortuz.

Hondakinen kudeaketa desagokiak hurrengo arrazoak sor ditzake ingurumenean:

- Lurzoru eta gainazaleko eta lur azpiko uraren kutsadura.
- Metano sortzea hondakindegietan eta honek dakarren sute edo eztanda-arriskua.
- Hondakindegia eragiten duten ikusmenarekiko inpaktua.
- Hondakin-erraste teknologia desagokia erabiltzeagatik sor daitezken dioxinak airea kutsa dezakete.
- Erabili daitezken baliabide naturalen murrizketa.
- Osasun-arriskuak kontrolik gabe metatzen badira hondakinak.

2. HONDAKIN MOTAK

Bere jatorriaren arabera hondakinak hurrengo motatakoak izan daitezke:

a) Hiriko hondakin solidoak: etxeke eta merkataritzako jardueraren ondorioz sortzen dira. Hiriko hondakin solidoen konposizioa oso heterogeneoa da.

Material horien izaeraren arabera hiru motatakoak izan daitezke:

- Geldoak: beira, zepa, etab.
- Hartzigarriak: elikagaien materia organikoa.

- Erregaiak: papera, kartoia, plastikoak.

Hiri batean sortzen diren hondakin-kantitateak faktore honako hauen arabera aldatzen dira: biztanleen bizi-maila, klima, urtaroa eta biztanleen oporretako edo asteburuetak mugimenduak.

b) Nekazaritzako eta abeltzaintzako hondakinak: Plagizidak, ongarriak eta animalien hondakinak osatzen dituzte. Ugariak dira eta sakabanatuta daude. Hori dela-eta, oso zailak dira kontrolatzen eta lurra eta azaleko eta lurpeko urak kutsatzen dituzte.

c) Industriako hondakinak: fabrikazio-prozesu batean edo eragiketa industrial batean sortzen dira.

d) Hondakin sanitarioak: ospitaleetan, kliniketan eta laborategietan sortzen dira.

e) Hondakin erradiaktiboak: isotopo erradiaktiboak dituzten hondakinak dira eta zentral nuklear, industria, ospitale eta ikerketa arloan sortzen dira.

3. HONDAKIN INDUSTRIALAK

Hondakin industrialak fabrikazio-prozesu batean edo eragiketa industrial batean sortzen dira. Prozesu-industrial desberdin asko erabiltzen direnez sortzen diren hondakinen mota eta konposizioa mota askotakoak izan daitezke. Heterogeneotasun horrek zaildu egiten du haien tratamendua eta ezabaketa.

Hondakin industrialak hurrengo taldeetan sailkatzen dira:

- i) Hiriko hondakinen parekoak: etxeko hondakinen antzeko ezaugarriak eta tratamenduak dituzte. talde honeta elikagaien hondakinak, papera, plastikoa, etab. sartzen dira.
- ii) Hondakin geldoak: fisikoki, kimikoki edo mikrobiologikoki aldatzen ez diren material geldoak dira; ez dira disolbagarriak ez erregaiak, eta ez dute lixibaturik sortzen (zepa, errautsak...).
- iii) Hondakin arriskutsuak: legeriaren arabera, jakineko substantziak edo materiak (arsenikoa, kadmioa eta bestelako konposatuak) dituzten hondakinak dira, betiere gizakiaren osasunerako zein naturako baliabideetarako eta ingurumenerako arriskutsu diren kantitateetan. Ez dira produktu biodegradagarriak, eta biometatzearen bidez arazo larriak eragin ditzakete kate trofiko osoan.

Euskal Erkidegoan burdingintzan eta metalurgian sortzen dira hondakin arriskutsu gehienak: altzairu-fabriken hautsa, azidoak eta taladrinak. Atzetik, industria kimikoak eta petrokimikoak daude, honako hondakin hauekin: sodio hidroxidoa eta efluentek

tratatzean geratzen diren lohiak. Beste hondakin batzuk jatorri askotarikoak izaten dira. Aipatzekoak dira olioak, substantzia arriskutsuekin kontaktuan egon diren ontziak eta xurgatzaileak, pinturak eta disolbatzaileak.

Hondakina sailkatzeko analizatu egin behar da bere ezaugarri fisiko, kimiko eta biologikoak ezagutzeko eta erabiliko den kudeaketa-bidea aukeratzeko.

Industria batek sortzen dituen hondakinak hurrengo faktoreen menpe daude:

- Ekoizpen-prozesuaren teknologia
- Lehengaien kalitatea
- Materiale laguntzaileen propietate fisiko eta kimikoak
- Erabilitako erregaiak
- Prozesuan erabilitako enbalajeak eta ontziak.

Hondakinak ondorengo prozesuetan sortzen dira:

- Ekoizpen-prozesua
- Materialen bilketa eta garraioa: ontziak, enbalajeak,... biltzen dira.
- Instalazioaren barnean garraioa eta materialak erabiltzea: istripuz gertatzen diren isurketak, ontzi kaltetuak erabiltzea...
- Lehengai, produktu bukatuak, bitarteko produktuen stock-a: laborategi errektiboak, erabilitako katalisatzaileak...
- Arazketa eta erauzketa prozesuak:
- Ekipo eta osagaien garbiketa-prozesuak
- Garraioa eta banaketa.

4. HONDAKIN ARRISKUTSUAK

Hondakin arriskutsuak: 833/1998 Errege Dekretuak onartutako hondakin arriskutsuen zerrendan agertzen direnak, eta substantzia horiek jasota edo bilduta egon diren ontziak.

Hondakin arriskutsuak adierazteko piktograma arautak erabiltzen dira: erronbo forma duten piktogramak (txuriak eta ertz gorriarekin).



Lehergailuak:ugar, beroa, marruskadura, talka.... eraginez leher daitezkeenak dira (nitroglizerina).



Sukoikiak: erraz erretzen dira atmosferako oxigenoarekin. Adibidez: etanola, azetona...



Errekariak: oxigeno duten sustantziak dira eta sukoiekin kontaktuan jarriz su har dezakete (peroxidoak).



Gasak: ontzi batek presiopean gasa duenean erabiltzen da piktograma hau. Batzuk eztanda egin dezakete (gas konprimatuak). Kriogenikoak oso temperatura baxuak dituzte eta erredurak eragin ditzakete (nitrogenoa).



Korrosiboak: produktuak kalte larriak sor ditzake azalean, begietan eta beste gorputzeko mintzetan ukitzen bada.



Pozoitsuak: arnastean, irenstean edo larruazalean zehar sartzeagatik heriotza sor dezakete edo osasunari kalte larriak eragin.



Narritagarriak: arnastean, irenstean edo larruazalean zehar sartzeagatik kalte mugatuak sor ditzakete.



Kaltegarria: arnastean bada epe luzean kalte oso larriak sor ditzakete (kantzerigenoak, mutagenikoak eta teratogenikoak).



Ingurune akuatikoarentzako kaltegarria: algak, arrainak... hiltzen dituzten produktuak dira.

Garrantzi bereziko hondakin toxikoak hurrengoak dira: polikloro bifeniloak, sustantzia eutrofizatzaileak (garbigarrien fosforoa eta nitrogenoa), metal astunak (Pb, Hg, Cd, As eta Ni), hidrokarbuero aromatiko poliziklikoak, klorofluorokarbonatoak, plagizidak eta amiantoa.

5- HONDAKIN INDUSTRIALEN KUDEAKETA

Hondakinen kudeaketaren etapak bilketa, metaketa, garraioa, balorazioa eta hondakinen ezabaketa dira. Hondakinen kudeaketa egokia lortzeko hondakin gutxiago sortzeko eta hondakinak dituzten baliobideak berreskuratzeko neurriak hartu behar dira hurrengo hierarkia jarraituz:

- a) Hondakinen sortzea jatorrian murriztea
- b) Hondakinean dauden baliobideak berreskuratzea (materia edo energia)
- c) Hondakinak sortzen arriskua murriztea edo desagerraraztea
- d) Hondakindegia kontrolatua gordetzea

Hondakin arriskutsuen kantitatea murrizteko purutasun handiko lehengaiak eta teknologia garbiak erabili behar dira. Gainera, produkzio-prozesuak aldatu egin behar dira hondakin gutxiago lortzeko.

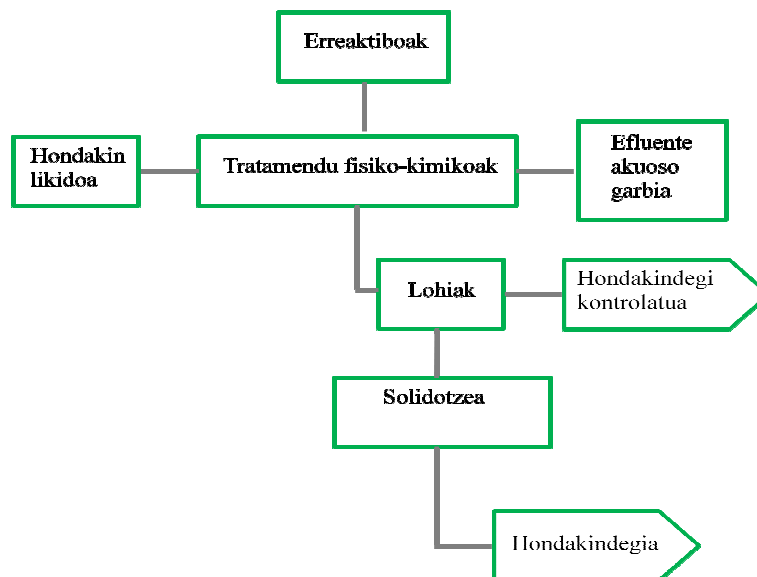
Kudeaketa-prozesu egokiena aukeratzeko hurrengo faktoreak hartu behar dira kontutan:

- Hondakin-mota (ezaugarriak, konposizioa eta kontzentrazioa)
- Hondakinen bolumena
- Materialak edo energia berreskuratzeko dauden aukerak
- Tratamendu ondoren sortzen diren hondakin berrien sorkuntza
- Prozesuen kostu osoa

Hiru metodo erabiltzen dira hondakin toxikoen tratamenduan: tratamendu fisiko-kimikoak, tratamendu termikoak eta hondakin arriskutsuen hondakindegia.

5.1- Tratamendu fisiko-kimikoak

Tratamendu hauetan erreaktiboak gehituz hondakin likido batetik kutsatzaileak kentzea lortzen da. Kutsatzaileak fase solido batean kontzentratuko dira (lohiak) gero era egokian tratatu behar dena. Ondoren fase solido hau egonkortu edo solidotu egin daiteke toxikotasuna murrizteko, hondakindegia kontrolatua utzi aurretik.



Irudia 1. Tratamendu fisiko-kimikoen eskema.

a) Disoluzio azido edo basikoen neutralizazioa

Prozesu honetan gertatzen den erreakzioa: Azido+Basea → Gatza+Ura

Prozesua era egokian egiteko honako faktoreak hartu behar dira kontutan:

- Gatzen solubilitatea ezagutu behar da sortzen diren hauspeatuak biltzeko erabiliko diren prozedurak prestatzeko.
- Gas toxikoak sor daitezke.

Neutralizazio egiteko prozedura desberdinak daude:

i) *Hondakin solido azido eta basikoak nahastea*: prozedura errezena eta merkeena da, baina nahasten diren hondakinak ondo ezagutu behar dira produktu toxikoak sor ez daitezen.

ii) *Erreaktiboak erabiltzea neutralizazioa lortzeko*: hondakin basikoekin azido sulfuriko edo klorhidrikoa erabiltzen da. Hondakin azidoak direnean sodio hidroxidoa eta karbonato sodikoa erabiltzen da.

b) Metal astunak berreskuratzeko metodoak

Hauspeaketa-metodoa metal astunak kentzeko erabiltzen da. Hondakin likido batek metal astunak baditu baldintzak aldatuz metala hauspeatzea lor daiteke. Erabili daitezkeen metodoak;

- i) *Hauspeaketa alkalinoa*: metalen hidroxidoak sortzen dira sodio hidroxido edo kaltzio hidroxidoa gehituz. Ondoren iragazketa edo dekantazioa erabiltzen da hauspeatu den konposatua kentzeko. Hidroxidoen dentsitatea baxua denez konposatu hauek iragaztea edo dekantatzea zaila izan daiteke.
- ii) *Hauspeaketa karbonatoen bidez*: karbonato sodikoa gehituz karbonato metalikoa lortzen da. Karbonato metalikoak hidroxidoak baino dentsitate handiago dute eta iragaztea edo dekantatzea errazagoa da.

c) Hondakinen toxikotasuna murrizteko metodoak

Bi taldetan sailkatzen dira metodo hauek:

c.1) Oxidazioa

Oxidazioaren bidez konposatu organiko toxikoak karbono dioxido eta uran bihurtzen dira (fenolak, konposatu kloratuak...).

Oxidatzaile bezala erabiltzen diren konposatuak: kloro, hidrogeno peroxidoa, ozonoa...

Oxidazio osoa lortzea garestia da eta erreazio-denbora altuak behar dira. Oxidazio partziala bada konposatu toxikoak sor daitezke.

c.2) Erredukzioa

Konposatu inorganikoak tratatzeko erabiltzen da. Adibidez: Cr^{6+} bisulfito sodikoarekin (Na_2SO_3), Cr^{3+} -an bihurtzen da eta hau hidroxido bezala hauspeatuz kendu egin daiteke.

5.2- *Tratamendu termikoak*

5.2.1- Sarrera

Tratamendu termikoetan hondakinak deskonposatu egiten dira tenperatura altuetan. Horrela hondakinen bolumena murriztu egiten da eta sortzen den beroa elektrizitatean bihurtzen da. Tratamendu honetan kutsatzaileak sortzen direnez kontrol-sistemak erabili behar dira konposatu hauen eragin kaltegarriak murrizteko.

Tratamendu desberdinak erabili daitezke: pirolisia, gasifikazioa eta errausketa. *Pirolisia* oxigenorik gabeko ingurune batean egiten den materia organikoaren deskonposizioa da. *Gasifikazioan*, erregai solidoak edo likidoak gas-erregai bihurtzen dira; hau da, solido edo likido-egoeran dagoen erregai bat gas bihurtzen da.

Gehien erabiltzen den tratamendua *errausketa* da: hemen hondakinak tenperatura altuetan erabat oxidatzen dira.

Erre egin behar diren hondakinak analizatu egin behar dira erraustegiaren funtzioamendua balditzen dutelako:

- Egoera fisikoa: honen arabera labe-mota desberdinak erabiltzen dira.
- Konposizio kimikoa: erabili behar den tenperatura baldintzatzen du. Adibidez, osagai leherkorak eta erradiaktiboak ezin dira erre.
- Bero-ahalmena: erraustegi batean lortzen den energia hondakin bero-ahalmenaren menpe dago. Hau material bat erretzen denean lortzen den beroa da eta materialen karbono-edukinarekin aldatzen da.

Prozesu honetan etekina altuena lortzeko hondakinak materia organiko asko izan behar du eta ur eta konposatu ez-organiko gutxi.

Prozesuaren parametro nagusiak: erreketaren-temperatura, egoitza-denbora eta aire eta hondakinen arteko nahasketa-maila dira.

5.2.2- Erraustegi baten guneak

- a) Harrera-tokia: hondakinak pisatzeko balantza dago eta hondakinak analizatzeko laborategia.
- b) Hondakinen biltegia: hondakin-kantitatearen fluxua erregulatzeko.
- c) Errausketa-labea: garabien bidez hondakinak sartu eta airearekin nahasten dira.
- d) Errausketa-gasa arazteko instalazioa.
- e) Errausketaren hondakin solidoak tratatzeko sistema.
- f) Hondakin-urak tratatzeko sistema

5.2.3- Labe-motak

Hondakin-mota eta jasan duen aurreprozesuaren arabera labe desberdinak erabili daitezke:

- a) Parrilla duten errauskailuak: hiru atal dituzte (parrilla, erreketaren nagusiko ganbera eta bigarren erreketaren ganbera). Hondakinak parrillan jartzen dira eta parrillan zehar, azpitik gora erreketaren behar dituen airea eta gainerako erregaia sartzen dira.
- b) Labe birakaria: hauek hondakin-kantitate txikiak erretzeko erabiltzen dira. Labe birakaria zati zilindriko batez osaturik dago, orokorrean bi trono-koniko dauzka ertzetan. Hondakin solidoak berotzen dira labearen ertz batean (konoan) kokaturik dagoen erregailu baten bitartez. Irteerako gasak kontrako aldetik irteten dira labetik.
- c) Ohantze fluidizatua: aire eta hondakin arteko nahasketa hobea da baino erretzeko beroa askoz handiagoa izan behar du. Horregatik parrilla dutenak gehiago erabiltzen dira.

Labea materiale geldo batekin betetzen da (hondarra, alumina,...). Labearen behekaldean dagoen plaka distribuitzaile baten bidez airea sartu egiten da ohantzea fluidizatzeko.

Parrilla duten errauskailuetan errekontza nagusiko ganberan erretzen dira hondakinak. Ura daramaten hodi batzuk, labearekin kontaktuan jartzen dira, errekontzaren beroaz ur-lurrina sortzeko. Gero, lurrin hori turbina bat birarazteko erabiltzen da horrela elektrizitatea sortzeko. Errekontza-gasak bigarren errekontzako ganberara igarotzen dira, eta han berriro erretzen dira.

5.2.4- Errausketa-gasa arazteko instalazioa

Errauste-prozesuan gas eta partikula esekiak isurtzen dira airera:

Gas azidoak (NO_x, hidrogeno sulfuroa, azido klorhidrikoa)

Lurrundutako metal astunak: merkurioa, artsenikoa,...

Konposatu organikoak: dioxinak, furanoak, konposatu organiko poliziklikoak.

Errausketaren ingurumen-arazo nagusia dioxina eta furanoak sortzea da. Hauek kloroa duten konposatu aromatiko biziklikoak dira. Konposatu hauek kantzerigenoak, mutagenikoak eta teratogenikoak direla zehaztu da. Gainera, ingurumenean iraunkortasun handia dute, koipetan disolbatzen dira eta biometatze-ahalmena handia dute. Biodegradazioarekiko erresistentzia kloro-edukinarekin handitu egiten da.

Kloro duten hondakin solidoak erre egiten direnean dioxinak eta furanoak sor daitezke.

Hondakinen kloro-proporzioa % 1 baino handiagoa bada bigarren errekontzako ganberan tenperaturak gutxienez 1.200 °C-koa izan beharko du prozesu horretan dioxina eta furanoen sorrera galarazteko. Gasek gutxienez bi segundoz egon beharko dute errekontza-ganberan.

Gas eta partikula hauek kontrolatzeko hurrengo teknologiak erabil daitezke:

- Iragazketa. Mahuka-iragazkia
- Elektroiragazkiak
- Adsortzioa

- Prozesu kimikoak (desulfurazioa, nitrogeno oxidoak kontrolatzeko erreakzioak)

5.2.5- Errausketaren hondakin solidoak tratatzeko sistema

Errausketan sortzen diren hondakin solidoak:

- a) Erraus finkoak edo zepa: errauste-prozesuan bertan sortzen dira. Bere osagaiak gatzak eta metal astunak dira.
- b) Erraus hegalaria: isurketa-gasen partikulak atxikitze sistematan sortzen dira eta bere kudeaketa arazo gehiago sortzen ditu. Porotsuak direnez dioxinak eta metal astunak adsorbitzen dituzte.
- c) Kutsatzaile gaseosen tratamenduetan sortutako lohiak: karea erabiltzen denez kaltzio sulfato, karbonatoz... osatuta daude.

Errauste eta zepak hondakindegira eramaten dira baino gaur egun beste erabilerak ere badituzte (adibidez, beste materialekin nahasiz errepideak egiteko erabili daitezke).

5.2.6- Hondakin-uren tratamendua

Gasak tratatzeko sistematan sortzen diren hondakin-urak isuri aurretik araztu egin behar dira. Tratamendu fisiko-kimikoak erabiltzen dira.

5.2.7- Errausketaren ingurumen-inpaktua

Teknika honek hurrengo abantailak eta eragozpenak dauzka:

Abantailak: Hondakinen pisua eta bolumena asko murrizten da, energia sortzen da, hondakin-mota desberdinak erre daitezke. Toki gutxi okupatzen du.

Eragozpenak: material guztiak ezin dira erre, konposatu toxikoak sortzen dira, tratamendu garestia da

5.3- *Hondakin arriskutsuen hondakindegia*

Hondakindegia hondakinak biltzeko lursail berezia da. Kudeaketa-mota honetan osasun-kontrola duten lur seguruetan kokaturiko hondakindegietan uzten dira hondakinak.

Hondakindegia bat hiru modutan antola daiteke:

- i) Gainazal-metodoa: hondakinak geruzatan ipini eta trinkotu egiten dira. Ondoren, lurrez estaltzen da.
- ii) Zanga-metodoa: egunero zangak egiten dira eguneko hondakinak jasotzeko eta hondeaketan ateratako lurzoruz betetzen da.

Kudeaketa-mota honek hesi anitzak erabiltzean oinarritzen da:

1. *hesia*: hondakinak aurreprozesatu egiten dira, tratamendu fisiko-kimiko eta material-bereizketaren bidez egonkorragoak izateko.
2. *hesia*: ingurunea hesi geologiko, hidrologiko eta geografiko naturala bezala erabiltzen da.
3. *hesia*: hondakindegia okupatzen duen lursail osoa da. Han gertatzen diren prozesu fisiko, kimiko eta biologikoak ezagutzen dira eta honekin etorkizunean izango duen egonkortasuna aurreikus daiteke.
4. *hesia*: hesi artifiziala eraikitzen da: lurzorura lixibatuak iritsi ez daitezten.
5. *hesia*: hondakindegia bere inguruntik bereizteko goitik estaltzen da. Horrela euri-uraren iragaztea oztopatzen da.
6. *hesia*: Erabilera egokia, mantenimendua eta denbora luzerako monitorizazioa osatzen dute hesi hau.

a) Kokapena

Gune egokia aukeratu behar da funtzionamendua ona izateko eta arriskuak murrizteko. Kokapena aukeratzeko azterketa geologiko eta hidrogeologikoak egin behar dira hurrengo puntuak kontutan hartuz:

- Gunea ez da lurpeko uren gainean kokatu behar
- Hondakinak ukitzeagatik kutsatutako euri-ura iragaztea oztopatzeko lurzoria iragaizgaitza izan behar du.
- Metereologiaren aldetik euri gutxi egin behar du eta haizeen norabide nagusiak kontrolatu behar dira usainak eta hautsak hiriguneetara ez iristeko.
- Ikusmenarekiko eraso ahalik eta txikiena izan behar du.
- Hirigune nagusietatik urrun egon behar du.

- Garraoi-bideak egokiak izan behar dira eta hondakinak sortzen dituzten industriatik gertu.
- Uholdeak eta lurrikarak sortzen ez diren gunek aukeratu behar dira.

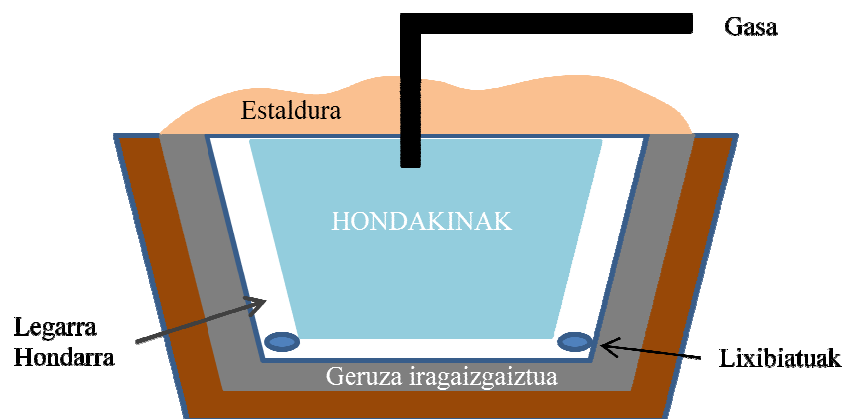
b) Hondakindegiaren egitura

Hondakindegia hurrengo geruzaz osatuta egon behar dira.

- *Hesi geologiko naturala*: hondakindegia iragazkortasun txikia duen lurzoruaren gainean kokatu egin behar da. Gehienetan buztina duten lurzoruak erabiltzen dira.
- *Hesi geologiko artifiziala*: hondakindegia kokatu behar den lurzoruaren ezaugarriak egokiak ez direnean iragazgaitu egin behar da. Horretarako erresistentzia mekaniko altua duen xafla iragazgaitza erabiltzen da lixibatuen iragazketa eragozteko. Xafla hauek egiteko erabiltzen den materiala geosintetikoak deitzen da (dentsitate handiko polipropileno edo poliester zuntzaz osatuta dago).

Bi hesi hauen gainean legar geruza bat eta drainatzeko beste geruza artifiziala jarri behar dira lixibiatuak kontrolatzeko.

Hondakinak lodiera txikiko geruzatan zabaltzen dira eta egunero lurrezko geruza batekin estali egiten dira. Horrela, ingurunearenganako kutsadura-arriskua txikiagotu egiten da eta gai hartzigarrien eraldaketa biologikoari laguntzen zaio. Aurretik hondakinak trinkotu egiten badira metatutako bolumenak txikiagoak izango dira eta hondakindegia bizi luzeagoa izango da. Trinkotzeko makina bat erabiltzen da.



Irudia 2. Hondakindegia eskema.

c) Hondakindegiko barne-erreakzioak

Hondakinean dauden konposatu organikoak oxidazio biologikoa jasaten dute hurrengo etapak emanez:

- i) Hasierako fase aerobioa: goitik sartzen den oxigenoarengatik gertatzen da.
- ii) Hasierako fase azidoa: sartzen den oxigenoaren kantitatea baxua denez kontsumitzen denean etapa anaerobioa hasten da. Etapa honetan gas eta konposatu lurrunkor azido asko sortzen dira.
- iii) Fase metanogenikoa: aurreko etapan sortutako konposatuak karbono dioxido eta metanoan bihurtzen dira mikroorganismo metanogenikoen bidez.
- iv) Fase post-metanogenikoa: gelditzen den materia organikoa ez da degradatzen eta oxigeno gehiago sartzen dela nabaritzen da.

d) Lixibatuak

Hondakindegietako lixibatuen konposizioa hurrengo faktoreekin aldatzen da:

- i) Hondakinen ezaugarriak.
- ii) Hondakindegiaaren adina: oxidazio biologikoaren etapak hartu behar dira kontutan.
- iii) Hondakindegiaaren teknologia: hondakinen trinkoketa areagotzen den neurrian, lixibaketa txikiagotuz doan fenomeno fisikoa da (iragazte-tasa txikiagoa bait da).
- iv) Beste faktoreak: klima, urtaroa, hondakinen aurretratamendua....

Oro har, zabortegiko degradazio biologikoaren arabera, lixibatuan partikula eseki gehienak hegazkorrak dira, OEK-aren zatirik handiena azido hegazkorrek osatzen dute, nitrogeno gehiena amoniakala da eta fosfato-maila txikia izaten da.

e) Biogasa

Hondakindegian konposatu organiko biodegradagarriak deskonposatzerakoan karbono dioxido eta metanoa sortzen dute. Biogas honen formazioa hurrengo etapak jarraitzen ditu:

- Hasierako egokitze-fasea: baldintza aerobikoetan konposatu organikoak biodegradatzen hasten dira. Nitrogenoaren kontzentrazioa handitu egiten da eta oxigenoa txikiagotu egiten da. Karbono dioxidoa fase honetan sortzen hasten da.
- Transiziozko fasea: Oxigenoaren kontzentrazioa asko txikiagotzen denez deskonposizio anaerobioa hasten da. Karbono dioxido asko sortzen da, nitrogenoa jeisten da eta hidrogenoa ere sortzen da.
- Fase azidoa: konposatu azidoak sortzen dira (adibidez, azido azetikoak) eta fase honetan gasaren osagai nagusia karbono dioxidoa da eta metano sortzen hasten da.
- Hartzidura metanikoaren fasea: aurreko fasean sortzen den azido azetikoak metano eta karbono dioxidoan deskonposatzen da.
- Heldutasuneko fasea: gasearen sortze-abiadura jeitsi egiten da gelditzen diren konposatuak degradazio-abiadura motela dutelako. Gasak karbono dioxido eta metano dauka baino hasierako oxigeno eta nitrogeno kontzentrazioak berreskuratzen hasten da.

f) Hondakindegien kontrol-neurriak

f.1) Lixibatuak biltzeko drainatze sistema:

Lixibatuak hondakinak deskonposatu eta euri-ura hondakinekin kontaktuan jartzen denean sortzen diren likidoak dira.

Bilketa hondakindegia behelaldean kokatzen diren hodi-sare batez osatuta dago. Horrela, lixibatuak grabitatearen bidez biltzen dira eta iragazgaiztu lixibiatu-zanga batetara eramaten dira gero arazteko.

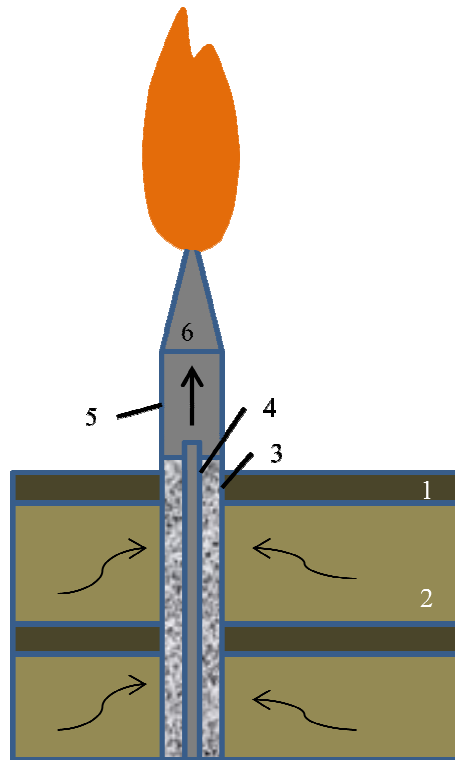
f.2) Gasen bilketa-sistema:

Biodegradagarri diren hondakinen degradazio anaerobikoan biogasa sortzen da.

- Batez ere, metano, karbono dioxidoa, hidrogeno sulfuroa eta nitrogenoa sortzen dira.
- Sortzen diren gasak kontrolatzen dituzten faktoreak materia organikoa, adina, hezetasuna eta hondakinen pH-a da.

Gasen igorpena eta metatzea kontrolatzeko neurri egokiak hartu behar dira hondakindegian. Gasak bildu eta tximinietara eramaten dira gasak. Horrela sukoiak diren gasen metaketa eragozten da eta baita ere eztanda arriskua.

Biogasa jaso eta suntsitzeko, erregailu aproposa erantsita duten burdinazko zuziak erabiltzen dira.



Irudia 3. Biogasa erakarri eta suntsitzeko zuzia. 1. Eguneroko estalketa; 2. Trinkotutako hondakinak; 3. Material iragazkorra (harriak); 4. Polietileno zulozko zulozko zatia; 5. Burdinazko tximinia; 6. Biogasa.

f) Itxieraren ezaugarriak

Hondakindegia bete egiten denean itxi egin behar da eta horretarako geruza desberdinez osatuta dagoen hesi fisiko batekin estali egin behar da eta gainean landaretza ezarri. Honen helburuak hurrengoak dira:

- Euri-uraren iragaztearen aurka isolatzea
- Ikusmenerako inpaktua murriztea
- Instalazioa ingurunearekin integratzea eta etorkizunerako erabilera egokia zihurtatzea

Zigilatu ondoren neurketak eta kontrolak egin behar dira:

- Lurzaleko eta lurpeko urak
- Gas eta lixibiatuen sorkuntza

Metodo honen *abantailak* dira instalazioa, kostu txikiak eta ingurumenaren aldetik eragin txikiagoa izatea modu egokian kontrolatzen eta kudeatzen bada.

Eragozpenen artean honako hauek daude: lur-eremu handiak behar izatea hiriguneetatik urrun eta lixibatuak sortzea.

6- LURZORUAREN KUTSADURA

Lurzoru kutsatuak bere ezaugarri fisiko, kimiko eta biologiakoak eraldatuta dituzte jatorri antropogeniko duten sustantzia arriskutsuen presentziagatik. Gainera, sustantzia hauen kontzentrazioa ingurumenerako edo gizakien osasunerako arriskutsua denean lurzorua kutsatuta dagoela esaten da.

6.1- Lurzoruaren konposizioa

Lurzorua kontinenteen gainazala osatzen duen geruza da. Urarekin eta airearekin Lurrean gertatzen diren bizitzarekin erlazionatutako fenomeno guztien euskarria da.

Lurzoruaren konposizioak lau zati dauzka:

- materia minerala edo inorganikoa harri amaren eraldaketatik eratorria,
- izaki bizidunen deskonposaketatik eratorritako materia organikoa
- ur-disoluzioa
- airea

Lurzoru-motaren arabera zati hauek aldakorrak dira baina lurzoru orekatu batean ondokoak dira proportzioak: %50 aire eta ura, %45 materia minerala eta %5 materia organikoa.

a) Ur-disoluzioa

Landaretza behar dituen elikagaiak ur-disoluzioan daude: (nitratoak, fosfatoak, sulfatoak, Ca^{2+} , K^+ , Fe^{3+} ...). Ioiak lurzorutik landareen sustraietako zeluletara igarotzen dira eta handik hostoen zeluletara. Elikagaien iturriak hurrengoak dira: euria, materia organikoaren deskonposizioa, materia mineralaren meteorizazioa, lurzoruko ur-disoluzio eta partikula koloidalaren arteko ioi-trukatze prozesuak. Aurki daitezken ioi mota eta bere kontzentrazioa lurzoru eta urtaroan menpe daude.

Aire eta uraren proportzioak klimarekin aldatu egiten dira. Prezipitazioa porotik iragazten denean airearen bolumena murriztu egiten da. Drainatze edo lurrunketarengatik lurzorua lehortzen denean poroetan dagoen aire-kantitatea handitu egiten da.

b) Fase solidoa

b.1) Frakzio inorganikoa: tamainu desberdineko partikulaz osatuta dago:

- legarrak (> 2 mm)
- hondarrak (0,05-2 mm)
- Limoak (0,002-0,05 mm)
- buztinak (partikula koloidalak) (< 0,002 mm) (hauek orri—egitura dute eta silikato aluminioko hidratatuaz osatuta daude).

Partikula koloidal oso garrantzitsuak dira lurzoruan, ura xurgatu eta ioiak lotzen dituztelako.

Mineral hauek harri amak jasaten dituen eraldaketa prozesuetan sortzen dira. Eraldaketa prozesuak zartadurak (meteorizazio fisikoaren ondorioz) eta mineralen aldaketa kimikoak (meteorizazio kimikoaren ondorioz) dira.

Mineralak primarioak eta sekundarioak izan daitezke. Primarioak eraldatu gabe mantentzen direnak dira (kuartzoa...). Sekundarioak mineral primarioak aire eta urarekin erreakzionatzen dutenean sortzen direnak dira (oxido, hidroxidoak, buztinak).

b.2- Frakzio organikoa

Nahiz eta portzentai txikian agertu lurzoruaren emankortasuna baldintzatzen du: mikroorganismoentzako elikagaiak diren konposatuen iturria da, lurzoruan gertatzen diren prozesu kimikoetan parte hartzen du eta bere propietate fisikoetan eragina dauka.

Landar- eta animalia-hondakinen deskonposaketan sortzen da materia organikoa.

Landare-hondakinen deskonposizioan pisu molekular altuko sustantzia organikoak sortzen dira: azido humikoak.

Materia organikoak lurzoruan eragiten dituen efektuak:

- Landareak hazten laguntzen du elikagaiak dauzkalako (N, P eta S).

- Katioi metalikoen erabilgarritasuna kontrolatzen du konplexuak osatuz (kelatoak). Katioi hauek mikroelikagaiak edo konposatu toxikoak izan daitezke, bere proportzioaren arabera.
- Lurzoruaren pH-a konstantea mantentzen du.
- Uraren hezetasuna erregulatzen du ura atxikitze gaitasuna dutelako.
- Uraren iragazkortasuna eta aireztapena errazten du.

6.2- Lurzoruaren ezaugarri fisiko-kimikoak

a) Ehundura

Lurzoruan tamaina desberdinetako partikulak daude eta horien arteko proportzioari ehundura deitzen zaio. Ehundurak lurzoruak ura xurgatzeko duen gaitasuna eta bere iragazkortasuna baldintzatzen du.

Buztin asko duen lurzoruari buztintsua deitzen zaio, limo ugari duenari lurzoru limotsua eta batez ere harea duen lurzoruari hareatsua.

Lurzoru orekatuak edo tamaina guztietako partikulak dituztenak (limoak, buztinak eta hareak) dira onenak.

b) Egitura

Lurzoruko partikulen agregazioen forma eta tamainua da (pikorretan, partikuletan). Egiturak lurzoruaren aireztapena, iragazkortasuna eta higaduraren erresistentzia baldintzatzen ditu.

c) Porositatea

Porositatea hutsunearen bolumena da lurzoruaren bolumen osoarekiko. Poroen tamainua eta forma lurzoruaren iragazkortasuna baldintzatzen dute.

d) Iragazkortasuna

Iragazkortasuna fluido batek porodun material bat zeharkatzerakoan duen abiadura da. Faktore hauek lurzoru batek ura atxikitze, aireztatze eta lantze duen gaitasuna definitzen dute. Porositatearen menpe dago.

Lurzorua isurketa eta hondakin-metatzea gertatzen denean hesi bat izan daiteke edo sustantzia kutsatzaileen garraiatzailea. Hau, bere porositatea eta iragazkortasunaren arabera gertatuko da.

6.3- Lurzoruaren faktore eratzzaileak

a) Klima

Tenperatura eta prezipitazioak dira klimaren ezaugarri eta faktore nagusiak.

- *Prezipitazioa*: euriak lurzoruaren hezetasuna eta aire-edukina erregulatzen dute eta berez lixibazio-maila (lixibazioa: sustantziak lurzorian zehar garraiatzea). Prezipitazioak ugariak direnean lurzoria elikagaiak galtzen ditu eta azidotu egiten da. Prezipitazioak urriak badira lurzoria alkalinizatu egiten da.
- *Tenperatura*: tenperatura altuak erreakzio kimikoen abiadura eta aktibitate mikrobiologikoa handitu egiten dituzte humusaren deskonposaketa arinduz. Kasu honetan lurzoria pobretu egiten da. Tenperatura baxuetan lur-zoruak izoztu egiten dira (permafrost lurzoruak) eta izaki bizidunek ezin dute lurzoru horietako ura erabili.

b) Topografia

Maldak ur-atxikipena eta drainatzea baldintzatzen dute eta lurzoruaren formazioa-abiaduran eragina dute. Malda handia denean lurzoruaren lodiera txikiagoa izaten da.

c) Landaretza

Ur-atxikipena handitzen du lixibazioa oztopatuz.

d) Jarduera biologikoa

Landareak sustraien bidez harriamaren apurketa bizkortzen dute.

Lurzorian bizi diren animaliak luraren partikulak nahasi egiten dituzte eta horrela aireztatu egiten da. Mikroorganismoak materia organikoa deskonposatu egiten dute.

e) Harri ama

Harri amaren mineralen konposizio kimikoa lurzoruaren konposizio kimikoa baldintzatzen dute eta horren ondorioz landaretza mota ere.

6.4- Lurzoruaren profila

Ur-zirkulazioa eta aktibitate organikoa dela eta lurzoruak egitura bertikala (profila) azaltzen dute. Sakonerarekin propietate fisiko eta kimiko desberdinak dituzten horizonte edo geruzak ikus daitezke.

- i) A horizontea: Gainazalekoena. Geruza hau osatzen duten konposatu asko lixibiatu egiten dira. Partikula mineralez (batez ere, silizedun materialak) eta deskonposatutako materia organikoaz (humus) osatuta dago.
- ii) B horizontea: A horizontearen azpian dago eta bertan urak goitik ekarritako materialak biltzen dira. Geruza honetan materia organikoaren oxidazioa gertatzen da eta burdin (III) oxidoak eta orri-egitura duten silikatoak aurkitzen dira.
- iii) C horizontea: geruza sakonena da. Ez da ia lixibiaziorik gertatzen eta harri aman bukatzen da.

6.5- Lurzoruko prozesu fisiko-kimiko nagusiak

Kutsatzaileek lurzoruaren poro tartetik igarotzean prozesu desberdinak jasan ditzakete. Prozesu hauek kutsadura oztopatu edo erraztu egin dezakete:

- a) Iragazpen mekanikoa: partikula esekiak kentzen ditu (hondarrak, buztinak, organismoak,...). Poroak txikiak badira eta tamainu-banaketa uniformeak dutenean efektu hau garrantzitsuagoa izango da.
- b) Adsortzioa: material finak molekula konplexuak dituzten kutsatzaileak atxikitu egiten dituzte (pestizidak, organokloratuak, ..).
- c) Oxidazio-erredukzio: oxidazioak materia organikoa CO_2 -n bihurtzen du eta nitrogeno duten konposatuak NO_3^- -an. Oxigenorik ez dagoenean erredukzioa gertatzen da (CH_4 , H_2S , Fe^{2+} , ... sortuz.).
- d) Prozesu biokimikoak: ingurune erredutzailea denean bakterio desnitrifikatzaileak NO_3^- , NO_2^- , N_2 eta NH_4 -n bihurtzen dute. Ingurunea oxidatzailea denean bakterioak burdina hidroxido bezala hauspeatzen dute.

- e) Hauspeatze-prozesuak: Burdina eta manganesoa hidroxido bezala hauspeatu daitezke. Prozesu hau baldintzatzen duten faktoreak pH, materia organikoa eta disolbatutako oxigenoaren kontzentrazioa dira.
- f) Ioi-trukatze: lurzoruaren partikula koloidalak karga negatiboa dute eta bere gainazalean katioiak atxikitzen dituzte (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} ,...). Katioi hauek beste katioekin trukatu daitezke. Prozesu hau oso garrantzitsua da landareen elikagai-kontsumoa kontrolatzen duelako. Gainera, prozesu honen bidez lurzoria autoarazi egiten da katioi toxikoak atxikituta gelditu daitezkelako.
- g) Diluzio-prozesuak: kutsadura kontzentratua denean prozesu hauek eraginkorrak dira.

6.6- Lurzoruaren kutsadura

Lurzoria ingurumeneko elementu ahula da bere osatze- eta erregenerazio-abiadura oso motelak direlako eta bere degradazioa eragiten dutenak, berriz, oso azkarrak dira.

i) Kutsadura-mota:

- Kutsatzailearen mugikortasunaren arabera *sakabanatua* edo *puntuala* izan daiteke. Kutsadura *sakabanatua* ingurune handi batean dauka eragina. *Puntuala* berriz, hedapena mugatua eta lokalizatua dauka, lurzoruko azalera txikietan gertatzen da, eta kutsatzaileen kontzentrazioa handia izaten da.
- Jatorriaren arabera:
 - Jarduera industrialak eta hondakinen kudeaketa. Kutsadura zuzenean gerta daiteke (isuriketa) edo zeharkakoki izan daiteke (euri azidoa).
 - Nekazal-jarduerak: ongarririk eta pestizidak lurzoria kutsatzen dute.

6.7- Lurzoria jasaten dituen kutsadura-prozesuak

a) *Toxikotasunaren handitzea*

Sustantzia kutsatzaile desberdinak eragiten dute efektu hau.

a.1- Metal astunak

Bere iturri nagusia isuriketa industrialak, meategiak, hondakinak eta pestizidak dira. Batzuk (Fe, Mn, Zn ...) beharrezkoak dira landareentzako, eta bakarrik kontzentrazio handitan daudenean toxikoak dira. Cd, Pb eta Hg, berriz, edozein kontzentrazioan toxikoak dira. Bere jatorria errete-prozesuetan sortzen diren errauts eta zepak, meategiak, pintura-ekoizpenak, disolbatzaileak,....

Lurzoria duen metal-kontzentrazioa adsortzio eta ioi-trukatze, pH eta gerta daitezken erreakzioen menpe dago. Lurzoria metalak atxikitzeko hiru bide dauzka:

- Koloide mineral edo organikoetan adsortzio-prozesuak gertatzea.

- Lurzoruan dauden sustantzia humikoekin erreakzionatzea konplexuak sortuz.
- Gatz disolbaezinak ematea hauspeatzerakoan.

Kutsatzaileak lurzorura iristen direnean partikuletan adsorbituta geldi daitezke edo euriak barruagoan dauden geruzetara arrasta ditzake. Katio metaliko batzuek (Hg, Pb, As eta Cr) metilo taldearekin erreakzionatu dezakete (adibidez CH_3Hg^+) koipetan disolbatzen diren eta kate trofikoan sartzen diren sustantziak sortuz. Fenomeno honi biometalizazioa deitzen zaio.

a.2- Kutsatzaile organikoak

Nagusiena petrolioaren deribatuak sortzen dutena da. Kutsatzaile hauen mugikortasunean lurzoru-mota (materia organikoaren edukina, ioi-trukatze ahalmena) eta konposatuaren konposizioa eta ezaugarriak (solubilitatea uretan, lurrin-presioa,...) hartu behar dira kontutan.

Gainera, konposatu hauek lurrundu eta kimikoki eta biologikoki degradatu daitezke.

a.3- Ongarriak

Bere konposizioan nitratoak sartzen dira eta lurzoruak atxikitzen ez dituenek lixibiatu egiten dira akuiferoak kutsatuz. Nitratoak toxikotasun eta eutrofizazio arazoak ematen dituzte.

Fosforoa duten konposatu disolbagaitzak sortzen ditu Fe^{3+} , Al^{3+} eta Ca^{2+} ioekin.

Ongarri organikoen erabilera gazitze arazoak sor ditzake.

a.4- Pestizidak

Toxikoak, iraunkorrak direnez eta biometatzea ematen dutenez lurzorurako oso arriskutsuak dira. Bere izaera kimikoa, lurzoru-konposizioa eta mikroorganismoen kontzentrazioaren arabera erreakzioak jasan ditzakete, lurzoruko partikuletan atxikita geldi daitezke edo akuiferoetara lixibiatu egin daitezke.

b) Azidotzea

Isuri industrialak, landare-hondakinak metatzea, euri azidoak, ongarri azidotzaileak lurraren pH azidoago bihurtzea eragin dezakete. Honek sor ditzakeen arazoak koposatu disolbagaitzen disoluzioa eta metal toxikoen askapena (ioi-trukatzearengatik) dira.

c) Gazitzea

Disolbagarriak diren gatzak lurzoruan metatzen direnean gertatzen da (kloruroak, sulfatoak, karbonatoak...).

Toki lehorretan gertatzen dira prozesu hauek, lur azpiko urak gatz horiek kontzentrazio altuetan dituztelako eta lurrunketa handia delako. Gatz hauek dituen ura lurzorura iristen da eta gainazalean lurrundu egiten da gatzak han geldituz.

Jarduera antropogenikoak ere gazitzea eragin dezakete (hondakin-uren isurketa, ongarrien erabilera, gatz-edukin handia duten urak erabiltzea ureztatzeke,...).

Gazitzeak fosforo, burdina, potasio eta mikroelikagaien erabilgarritasuna murrizten du gatz disolbaezinak sortzen dituztelako eta horrela lurzoruaren emankortasuan txikiagoa izaten da. Gainera zarakarrak sortzen ditu poroak itxiz eta lurzoruaren iragazkortasuna murriztuz.

6.8- Lurzoru kutsatuak tratatzeko teknikak

Lurzoru kutsatu baten kutsadura mota karakterizatu ondoren berreskuratu egin behar da. Erabili daitezken teknikak bi taldetan sailkazen dira aplikazio-tokiaren arabera:

- a) In-situ teknikak: lurzorua bertan tratatzen da beste toki batera eraman gabe.
- b) Ex-situ teknikak: lurzorua bere tokitik kendu egiten da eta tratatzen den gunera garraiatzen da.

Tratatzeke teknikaren helburuaren arabera beste sailkapena egin daiteke:

- a) Euste-teknikak: kutsatzailea lurzorian hesi fisikoak jarriz isolatzen da baino tratatu gabe.
- b) Konfinamendu-teknikak: kutsatzaileen lurzorian duen mugikortasuna murriztu egiten da kutsatzaileen baldintza fisiko-kimikoak aldatuz.
- c) Deskontaminazio-teknikak: teknika hauen helburua lurzorian dauden kutsatzaileen kontzentrazioa murriztea da.

6.8.1- Euste-teknikak

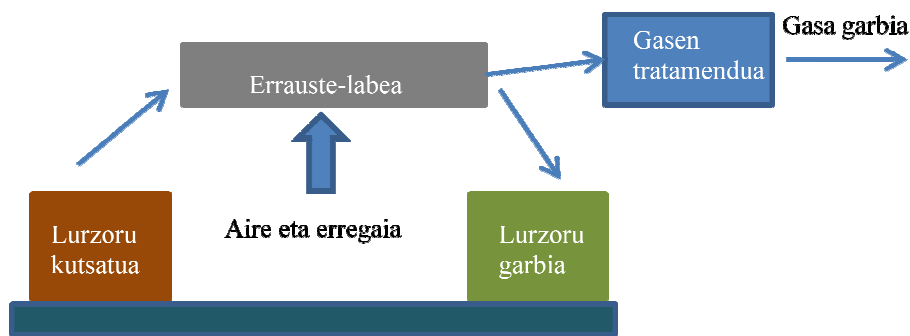
- a) *Euste-pantailak*: In-situ aplikatzen den teknika honekin, lur azpiko ur kutsatuaren mototsa batek edo produktu askeak aurrera egin dezan saihesten daiteke. Zementu edo bentonitazko (buztina duen harria eta horregatik iragaizkortasun txikia duena) pantailak erabiltzen dira. Pantaila osatzen duten materialak nahasteko, dosifikatzeko eta dagokion tokiraino bultzatzeko makina pisuak erabili behar dira.
- b) *Hesi hidraulikoak*: kutsadura-mototsak aurrera egin dezaten saihesteko aukera ematen du teknika honek. Horretarako, putzu-bateria bat (edo oso iragazkorrek ez

diren zanga drainatzaileak) ipini behar da. Teknika honek ez du fokua tratatzen, babestu nahi diren eremuetarantz mugi ez dadin saihestu besterik ez du egiten. Teknika honen arazo nagusia ur-bolumen handia kudeatu behar dela da.

6.8.2 Teknologia termikoak

Teknologia hauek ex-situ dira eta tenperatura handiak erabiliz kutsatzaileak suntsitu egiten dira. Gehien erabiltzen direnak hurrengoak dira:

a) *Errausketa*: labe birakariak erabiltzen dira. Tenperatura altuak (870-1200 °C) eta oxigeno sobera erabiliz lurzoria era kontrolatuan erre egiten da. Horrela kutsatzaileak erretzean kaltea eragiten ez duten produktu lurrunkorrak ematen dituzte. Kutsatzaile organiko (olioak, petrolioa, disolbatzaileak, plagizidak...) eta inorganikoei aplikatzen zaie tratamendu hau. Tenperatura altuak lurzoriak duen materia organiko naturala suntsitzen dutenez lurzoria biologikoki geldoa bihurtzen da.



Irudia 4. Lurzoruen dauden kutsatzaileen errausketa.

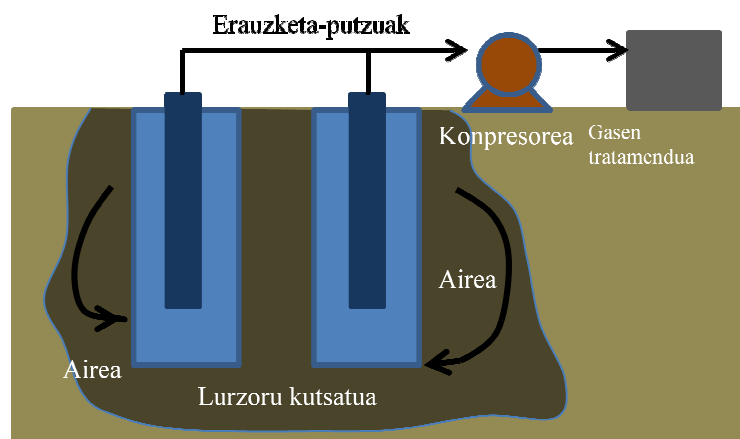
b) *Desortzio termikoa*: erraustearen antzekoa da baino tenperatura baxuagoetan (150-600 °C) erabiltzen da. Baldintza hauetan kutsatzailea ez da erretzen eta aire bero fluxu baten bidez lurzortik desorbitu egiten da. Sortzen diren gasak oxidazio termikoaren bidez tratatzen dira. Kutsaile organiko lurrunkorrak kentzeko erabiltzen da baino ezin dira kutsatzaile inorganikoak kendu.

c) *Tratamendu termikoa izpi infragorriak erabiliz*: labe birakarian egiten da eta berotzeko erradiazio infragorria sortzen duen unitate bat erabiltzen da.

6.8.3 Teknologia fisiko-kimikoak

a) *Erauzketa fisiko-kimikoa*: kutsatzaileak oso toxikoak direnean edo kontzentrazioa oso altua denean eta berreskuratutako hondakinak berziklatu daitezkeenean erabiltzen da. Metodo nagusiak hurrengoak dira:

- i) Erauzketa kimikoa: disolbatzaile organiko bat erabiltzen da lurzorua garbitzeko. Kontzentrazio handietan dauden konposatu organikoak kentzeko erabiltzen da (olioak, petrolioa, disolbatzaileak, plagizidak...). Konposatuak pisu molekularra altua badute eta oso hidrofiliakoak badira teknika hau ez da eraginkorra.
- ii) Hutsaren bidezko erauzketa: ponpa baten bidez huts handia sortzen da lurzoruaren eta kutsatzaile organiko lurrunkorrek erauzketa-putzuetara desplazatu egiten dira. Aldi berean lurzoruaren gainazaletik aire gabia sartzen da. Konposatu organiko lurrunkorrek kentzeko erabiltzen den gasolindegietan erabiltzen da teknika hau. Lurzorua iragazkortasun baxua badu teknika hau ez da eraginkorra eta kutsadura atmosferikoa sor dezake.
- iii) Aire-erauzketa: Aire garbia konpresoreak erabiliz sar daiteke eta kutsatutako airea erauzketa-putzuetan biltzen da eta ikatz-aktiboko iragazkien bidez arazten da.



Irudia 5. Aire-erauzketa.

b) Lurzoruaren garbiketa: likido bat erabiliz (azidoak, baseak,...) kutsatzaileak lurzurutik kentzen dira. Likidoa injektatzen denentzat kutsatzaileen solubilitatea handitu egiten da eta erauzketa-putzuen bidez kendu egiten dira. Teknika honekin kutsatzaile

organiko eta inorganikoak kendu egin daitezke. Lurzoruaren buztina-edukina altua denean ez da eraginkorra lurzoru hauek iragazkortasun baxua dutelako.

c) *Solidotzea/egonkortzea*: in-situ eta ex-situ izan daiteke. Finkatze-materiale bat aplikatzen da lurzuruan dauden kutsatzaileen mugikortasuna murrizteko. Horrela hondakinak errezago erabili daiteken egonkortutako masa batean bihurtzen dira. Zementua, silikatoak, polimeroak injektatzen dira eta kutsatzaileak matrize iragazgaitz eta egonkor baten barruan gelditzen dira (kapsulatuta). Teknika hau erabiliz kendu daitezken kutsatzaileak olioak, konposatu organiko ez-egonkorak, metal astunen errautsak,....dira.

d) *Beiratzapena*: Kutsatuta dagoen lurzoruaren tenperatura altuetan berotu egiten da beira antzeko materiale egonkor batean bihurtuz. Teknika honetan kutsatzaileen mugikortasuna murriztu egiten da eta gainera tenperatura altuan kutsatzaile organikoak suntsitu egiten dira. Lurzoruak oso hezeak badira edo kutsatzaileen kontzentrazioa oso altua bada teknika hau ez da eraginkorra.

Ex-situ teknika erabiltzen denean lurzoruaren labe batean sartu eta berotu egiten da. In-situ teknikan grafitozko elektrodoak erabiltzen dira lurzoruaren berotzeko. Teknika honen kostua oso handia da.

e) *Elektrozinetika*: lurzoruaren eremu elektriko bat aplikatzen zaio eta honek ura, ioi eta karga duten partikula txikien mugimendua eragiten du. Anioiak elektrodo positibora joaten dira eta katioiak negatibora. Lurzoruko metal astunak kentzeko erabiltzen den teknika da. Bere abantailak energi gutxi kontsumitzen duela eta kutsatzaileak elektrodoetan metatzen direla dira.

6.8.4 Teknologia biologikoak

Kutsatzaileak (pestizidak, gasolina, olioak,...) biodegradatzeko mikroorganismoak erabiltzen dira. Erabiltzen diren teknikak hurrengoak dira.

a) *Landfarming*: kutsatutako lurzoruaren bere tokitik atera egiten da eta partzela iragazgaiztu handietan zabaldu egiten da. Han mikroorganismoen jardura bultzatzeko tratatua egiten da: hondeatuz, elikagaiak gehituz, hezetasuna emanez. Lixibatuak sortzen badira era egokian kudeatu behar dira. Sor daitezkeen lixibatuak jasotzeko eta

gero tratatzeko (bereiztea, kudeatzea, etab.) azpiegiturak behar dira. Toki asko eta makina egokiak behar dira.

b) *Konpostajea*: lurzoru kutsatua oso biodegradagarri den materialarekin nahasi egiten da (lastoa, egur birrinduak) baldintza aerobiko kontrolatuetan biologikoki degradatzen dira kutsatzaileak. Kontrolatu beharreko faktoreak pH-a, temperatura, hezetasuna, elikagai-edukia eta bakterio-populazioa dira. Teknika hau egiteko hiru bide daude: hondeapen-pilak (oinarria iragazgaiztu baten gainean jartzen dira), aireztapen-sistema mekanikoa duten pilak eta erreaktorean. Lixibatuak atxikitze zangak eraiki behar dira.

c) *Bioerremediazioa*: kutsatzaileak indargabetzen duten lurpean gertatzen diren prozesu naturalak azkartu egiten dira. Teknika honen bidez lurzorian dauden kutsatzaile organikoen in-situ biodegradazioa azkartu egiten da. Hau lortzeko elikagaiak (nitrogeno eta fosforo) injektatzen dira eta oxigenoa sartzen da. Oxigenoaren aplikazioa aireztapen bitartez edo erreaktibo kimikoak sartuz lortzen da (hidrogeno peroxidoa).