

# Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

*María Jesús Irabien*

Euskal Herriko Unibertsitatea/Zientzi Fakultatea  
644 P.K. 48080 BILBO

**Laburpena:** Industria-iraultza hasi zenetik metal astunen ingurugirorako jarioa hein handi batean areagotu egin da. Ekarpen antropogeniko honen proportzio handia sedimentu urtarretan «harrapaturik» gera daiteke, ingurune naturalean poluzio-arazoak sortuz. Lan honetan metal astunen jatorriak eta sedimentuetan finkatzeko mekanismoak azalduko dira. Elementu hauen metatzeak ondorio ekologiko eta ekonomiko larriak ekar ditzakeenez, kutsaturiko sedimentuen karakterizaziorako eta kudeaketarako ekimenak ere aztergai ditugu. Azkenik, Euskal Herriko estuario eta ibaien egoeraz arituko gara, metal astunek eragindako kutsadurari dagokionez.

## SARRERA

Sedimentuen analisi geokimikoa oso tresna erabiligarria da Geologiaren arlo askotan, mineral-hobi berrien prospekziarako bereziki garrantzitsua izanik. Hirurogeiko hamarkadan ikertzaile batzuek meatzaritzan erabilutako teknika batzuk ingurune urtarraren poluzioaren azterketarako aplikatzea proposatu zuten [1, 2]. Itsaso, estuario, ibai eta lakuen kutsadura munduko hainbat herrialdetan oso arazo larria denez, mende honetako industrializazio trinkoa eta biztanleriaren handiagotzea direla kausa, gaur egun sedimentuen ikerketa geokimikoa ohiko prozedura bihurtu da toki hauen ingurune-kalitatea finkatzeko. Allan-ek (1974) [3] iradoki zuenez: «...Mineral-hobien aurkikuntzan lan egiten dutenek eta ingurune-gaiez aritzen direnek metalez aberasturiko aldeak bilatu nahi dituzte... baina, jakina, arrazoi zeharo desberdinengatik».

Sedimentuak ingurune urtarraren funtsezko osagaiak dira, eta haren ezaugarri fisiko, kimiko eta biologikoak islatzen dituzte: inguruko arroken osaera kimikoa eta mineralogikoa, mineralizazioen agerpena, faktore

geomorfologikoak eta hidrodinamikoak, eskualdeko klima-baldintzak, lurzorua eta landarearen banaketa, bizidunen jardura, gizakien ekintzak, e.a. Elementu hauetan eragina duen edozein aldaketa, jatorri naturala zein antropogenikoa duena, sedimentuetan erregistraturik gera daiteke. Uholdeak, urtaroen segida, paduren bilakaera historikoa, antzinako mineral-ustiapenaren aztarnak ... eta hamaika gertaera identifikatu dituzte isotopo erradiaktiboen bitartez dataturiko sedimentuzko zutabeetan. Bestalde, ingurune-ikuspuntutik trinkotu gabeko material hauen ikerketak abantaila handia dauka uretako analisiaren alde: denbora luzea isurki poluitzaileak jasaten eman dezaketenez, kutsaduraren kontrolerako epe luzera egokiagoak izaten dira.

Gaur egun hiri eta industriaren ekintzek miloi bat substantzia kutsagarri sartzen dute uretan (metal astunak, pestizidak, hidrokarbuo polizikliko aromatikoak eta partikula erradiaktiboak, besteak beste). Poluitzaile guztien artean azpimarratzekoa da metal astunen garrantzia: batzuk (Zn, Cu, Fe, Mn eta Co) biziaren garapenerako kantitate jakin batzuetan beharrezkoak badira ere, baieztatu da neurritz gaineko kontzentrazioetan bizidunentzako toxikoak direla. Bestalde, zenbait konposatu organiko mekanismo naturalen bidez epe laburrera degradatzen diren bitartean, metal astunak sedimentuetan meta daitezke denboran zehar beraien ezauzgarriak aldatu barik. Ikertzaileek kalkulatu dute hamar mila urte baino gehiago behar direla konposatu sintetiko batzuk (PCB-ak eta DDT) eta Zn eta Cu lurzoru hareatsu batetik mekanismo naturalen bitartez birmobilizatzeko [4]. Beraz, sedimentu urtarretan metatzen diren metal astunak ikuspuntu ekologikotik arriskutsuak izateaz gain, etorkizunerako kutsadura-arazo berrien sortzaile potentzialak ditugu.

## **METAL ASTUNEN JATORRIA**

Ur-korronte naturalek metal astunak garraiatu dituzte ura Lurrean agertu zenetik. Hala ere, Industria-iraultzatik aurrera elementu hauen inguruogirorako jariora neurri handiz areagotu da. Ziklo hidrologikoan parte hartzen duten metal astunen jatorriak hurrengo hauek dira [5]:

—*Arroken higadura*: metal astunak arroken berezko osagaiak izan arren, azken urteotan jatorri natural honek bolumen osoaren portzentaia txikia osatzen du, batez ere herrialde industrializatuetan. Adibidez, behe-Rhin ibaian metal astunen kantitate osoaren %90ak baino gehiago jatorri antropogenikoa duela kalkulatu dute [5]. Edonola ere, metalez aberastutako aldeak identifikatzeko lehenengo urratsa kontzentrazio natural hauek finkatzea da. Finlandian eginiko ikerketa batek desberdintasun nabarmenak aurkitu zituen, sedimentuen osiera kimikoari dagokionez herrialde

### Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

deko toki desberdinen artean [6]. Kasu batzuetan ez da posible baliogarritasun orokorreko maila aurreindustrialak ezartzea, batez ere aztertutako aldean hainbat motatako arroak azaleratzen direnean.

—*Meatzaritza*: metalen erauzketa Brontze Aroan hasi zenetik, mineral-hobien ustiapenak hondakin ugari ekoiztu du, inguruko lurzoru, sedimentu eta uretan anomalia geokimiko nabarmenak sortaraziz. Meatzaritza onduko ezagunenetakoa bat ur naturalen azidotzea da, sulfuro metalikoen oxidazioak eragindakoa. Erromatar garaiko meatoki inguruetan metalez aberasturiko geruzak aurki daitezke sedimentuetan, antzinako lanen aztarnen lekukoak [7]. Baliobide naturalen ustiapenerako aurrerakuntza teknologikoa izugarria izan arren, urte anitz geroago meatze-lanen kutsatze-ahalmena berriro ere izan dugu ikusgai Doñana aldea poluitu zuen gertaera larrian.

—*Iturri industrialak*: metal astunen erabilera oso hedatua da industria-arlo askotan. Kasu gehienetan (burdingintzan, petrolio-errefinaketan, ongarri-ekoizpenean, e.a...) metal bat baino gehiago behar dira prozesu industrialak aurrera eramateko. Beste kasu batzuetan, berriz, berariazko metal bat erabiltzen da (kromoa larru-ontzerako, merkurioa papergintzan). Metal astun gehienek industria desberdinetan erabiltzen dira, eta honek iturria (eta noizbait kutsadura-arazo larrien eragilea) zein den zehazki jakitea oztopatzen du. Ipar hemisferioan metal astunen ekarpen antropogeniko handiena 1960-1970 hamarkadan sartu zen ziklo hidrologikoan, hidrokarburo polizikliko aromatikoaren gehieneko ekarpenarekin batera [8]. Poluitzaile bi hauek iturri komuna dute: ikatz eta lignitoaren errekuntza. Petroliotik eratorritako produktuek erregai hauek proportzio handian ordezkatu zituztenetik, baieztatu egin da jario kutsagarri hau jaitziz joan dela. Dena dela, azkenengo hamarkadetan berunaren ingurune-rako iturririk garrantzitsuenetakoa bat gasolinaren erabilera izan da. Poluitzailea ingurune naturalean bide airearen bitartez sartzen denean (galdategietan, zentral termikoetan, e.a.), aberastutako materialak iturritik halako distantzia batera aurki daitezke, klima- baldintzen arabera.

—*Hiriko isurkiak*: partikula fekalak ez ezik, metal astunak ere ohiko osagaiak dituzte, Zn, Pb eta Cu batez ere. Sarritan elementu hauek estolda-sailaren korrosiotik datoz. Egiaztatu egin da hiri industrializatueta elementu hauen kontzentrazioak handiagotu egiten direla lurzoru eta sedimentuetan euri-jasa gogorak bota ondoren, eraikinak estaltzen dituzten eta airean esekiduran dauden partikula kutsagarrien garbiketa dela eta [9]. Bestalde, hirietan ekoiztutako isurkiek materia organiko ugari izaten dute. Materia organikoa garrantzi handiko osagaia da sedimentuetan, metal astunak hartzeko gaitasuna baitu. Gainera, konposatu organiko hauek mekanismo naturalen bitartez degradatzen direnean, aurrez harrituriko elementuak uretara buelta ditzakete.

—*Nekazaritza*: abeltzaintzak ekoiztutako hondakinek eta nekazaritza erabiltzen diren hainbat produktuk (pestizidak, ongarriak, herbizidak, e.a.) metal astunak (Cd, Zn, e.a.) dituzte kantitate desberdinetan. Iturri zuzen honetaz gain, kontuan hartzekoa da leku askotan nekazaritza lurzorua higiduraren erantzule nagusia dela. Kasu honetan, eragin handia izan dezakete ekintza antropogenikoen mila urtetan zehar garatu diren sedimentuak ekoizteko dinamika naturaletan, material hauen ezau-garriak eraldatuz.

## METAL ASTUNEN FINKAPENA

Aurreko atalean aipatu den moduan, sedimentuetan aurkitzen diren metal astunen kopuru bat «herentzia» geologikoari dagokio, hau da, arroren higiduraren bidez sortu dira. Beraz, elementu bakoitzaren proportzioa aldakorra izango da inguruko material geologikoen osaera kimikoaren arabera. Kasu honetan metal astunak mineralen kristal-egiturei hertsiki lotuta daude eta ingurune-ikuspuntutik ez dira garrantzi handikoak, bizidunentzako eskuraezinak izaten baitira. Ziklo hidrologikoan sartzen diren gainontzeko kantitateak ondoko mekanismo hauen bidez finka daitezke sedimentuetan [5]:

—*Prezipitazioa*: uretan dauden metal astunen kontzentrazioek disolbagarritasun-produktua gainditzen dutenean, prezipitatu eta konposatu desberdinen osagai bihurtzen dira (hidroxido, karbonato, sulfuroetan, e.a.).

—*Ioien trukea eta adsortzioa*: sedimentuak osatzen dituzten azalera handiko partikulak (buztin-mineralak, Mn/Fe-hidroxido eratuberriak, materia organikoa eta azido siliziko amorfoak batez ere) uretako metal astunak harrapatzeko gai dira eta katioien kopuru bera askatzen dute. Konposatu hauen talde anionikoen ( $\text{SiOH}^-$ ,  $\text{AlOH}_2^-$  eta  $\text{AlOH}^-$  buztin mineraletan,  $\text{FeOH}^-$  taldeak Mn/Fe-hidroxidoetan eta talde karboxiloak eta  $\text{OH}^-$  fenolikoak materia organikoan) ioi trukearen prozesuak ahalbidetzen dituzte. Karga negatiboen neutralizazio-prozesua selektiboa da, hots, elementu kimiko batzuk beste batzuk baino errazago «erants» daitezke. Honetaz gain, aipatutako konposatuak gai dira metal astunak erakartzeko eta molekulen arteko indarren bitartez azalean finkatzeko.

—*Adsortzioa buztin-mineraletan*: filosilikatoen armazioan katioi ugariena  $\text{Si}^{4+}$  izan arren, elementu honen ordean  $\text{Al}^{3+}$ -a sar daiteke proportzio desberdinetan. Ingurune kutsatuetan, aldaketa honek eragindako karga-ekasua metal astunen finkatzearen bitartez konpon daiteke. Prozesu honetan kontrol-faktorarik garrantzitsuen pH-a da,  $\text{H}^+$  protoiek metal astunekin lehia baitezakete katioietarako lekuak betetzeko.

## Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

—*Adsortsioa eta koprezipitazioa Fe/Mn-hidroxido eta Fe-sulfuroekin*: sedimentuetan kasu askotan kantitate urritan egon arren, baldintza oxidatzaileen pean uretan prezipitatzeko diren kristalinitate baxuko Fe/Mn-hidroxidoak (mineral detritikoak estaltzen edota partikula finak osatzen) metal astunak finkatzeko substantzia eraginkorrenetakoen artean sailka daitezke. Inguruko baldintza erreduzitzaileak direnean, al-diz, konposatu mineral egonkorak sulfuroak ditugu. Sulfuroen prezipitazioa oso mekanismo garrantzitsua izan daiteke metal astunen metatzerako Bilboko itsasadarra bezalako ingurune oso kutsatuetan, non poluitzaileen kontzentrazioak oso altuak eta oxigeno-maila oso baxuak izaten diren [10].

—*Adsortsioa eta konplexu-eraketa substantzia organikoekin*: isurkin antropogenikoek jatorri biologikoa duen materia organikoaren eta substantzia organiko sintetikoaren kantitate handiak izaten dituzte. Metal astunak lotugai organikoekin erreakziona dezakete, zuzenean prezipitatu diren edota partikula sedimentarioetan «eranstean» diren konposatu organiko-metalikoak sortuz [11]. Beste kasu batzuetan metal astunak modu zeharka meta daitezke, ekintza biologikoaren ondorioz. Organismo batzuk elementu hauek hartzen dituzte beraien jarduera fisiologikoetan. Hildakoan, metal astunak aberastutako hondarrak partikula inorganikoekin batera metatuko dira sedimentuetan.

—*Adsortsioa karbonato eta fosfatoetan*: konposatu hauetan metal astunen kontzentrazioak baxuak izaten dira. Hala ere, egiaztatu egin da karbonatoak gai direla beruna eta kadmioa harrapatzeko inguruko baldintza geokimikoak horretarako egokiak direnean [12]. Fosfato metalduak, berriz, ohiko osagaiak dira nekazaritzarako zenbait produktutan.

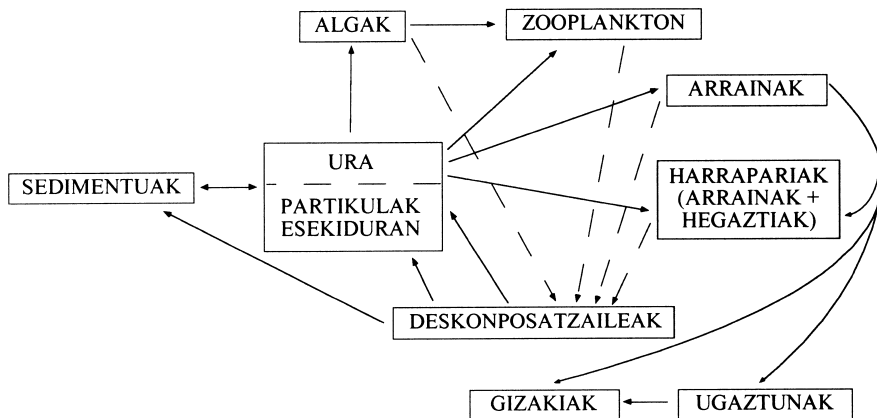
Banan-banan azaldu badira ere, kontuan hartu behar da aipatutako fase geokimiko hauek guztiak estuki lotuta daudela. Adibidez, buztin-mineralak eta karbonatozko puska detritikoak oso gune egokiak dira Fe/Mn-hidroxidozko eta materia organikoazko bildukiak prezipitatu daitezkeen. Aitzitik, materia organiko erreaktiboaren agerpenak Fe/Mn hidroxidoen metalak harrapatzeko gaitasuna murriztu egiten du neurri handian. Beraz, mekanismo bakoitzaren eraginkortasuna inguruko baldintza geokimikoen arabera alda daiteke.

## **INGURUNE-ONDORIOAK**

Ikusi dugun moduan, ingurune urtarrean sartzen diren metal astunen portzentzia handia sedimentuetan harrapatu gera daiteke, zenbait mekanismoren bitartez. Beraz, trinkotu gabeko material hauek metalen «gordailutzat» har ditzakegu. Edonola finkatze-prozesuak itzulgarriak

izaten dira, eta inguruko baldintzetako aldaketek (ur-azidotzea, oxidazio-erredukzio prozesuak, gazitasunaren handitzea, mikrobioen jardura, e.a.) aipaturiko erreakzioen zentzuak alderantzitu eta lehen finkaturiko poluitzaileak uretara berriro aska ditzakete. Hau dela eta, etorkizunean sedimentuak poluitzaile-iturri bihurtu daitezke, gizakiek ekoiztutako isurkin kutsagarriak duela denbora luze bukatuta egon arren. Birmobilizazio honen lehenengo ondorio zuzena uraren kalitatearen murriztea da eta kasu askotan gizakion erabilerarako ezegoki ere bihurtu daitezke. Bestalde, askaturiko poluitzaileak kate trofiko urtarrean sartu eta ezusteko arazo ekologiko larriak ekar ditzakete: bizidunen kopuruaren murriztea, espezie batzuen lekualdaketa edota desagertzea, ekosistemen egituren aldaketak, pozoidurak, e.a...

1. irudiak merkurioak ingurune urtarrean duen jokabidea adierazten du [13]. Ikus dezakegunez, elika-kate itsastarren azkenengo maila gizakia da. Berrogeita hamarreko hamarkadan Minamatan (Japon) gertatutako katastrofea poluitzaileen birmobilizazioaren herri-osasunerako arriskuaren lekukoa dugu. Kostaldeko hiri honetan bizi ziren zenbait arrantza eta beraien senideak larriki gaixotu ziren eta ez-ohiko sintomak erakutsi zituzten: giharren ahultzea, ikusmenaren galera, paralisia eta kasu batzuetan koma eta ondorengo heriotza. Gizakiak ez ezik, etxeko katuak eta bertako txoriak ere gaixotu ziren. Faktore asko aztertu ondoren, zientzialariek egiaztatu zuten gaixotasun berri hau metil-merkurioz kutsatutako arrainen kontsumoari zuzenean lotuta zegoela. Zoritxarrez, Minamatako gertaera ez da kasu bakarra, eta berunak, kadmioak eta kromoak eragindako kutsadurak larritasun txikiagoko osasun-arazoak eragin ditu hainbat lekutan [5].



1. irudia. Merkurioaren jokabidea ingurune urtarrean.

### Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

Oro har, elementu kimikoak hurrengo talde hauetan sailka daitezke toxikotasunari dagokionez [14]:

- *Ez-kritikoak*: Na, K, Mg, Ca, H, O, N, C, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Si.
- *Toxikoak, baina disolbaezinak edo oso arrarok*: Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba.
- *Oso toxikoak eta bizidunentzako eskuragarri samarrak*: Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Cd, As, Pb, Ag, Be, Sn, Se, Te, Pd, Pt, Au, Hg, Tl, Sb, Bi.

Dena dela, kasu askotan metal jakin baten toxikotasuna finkatzeko garrantzitsuagoa da elementu horren forma kimikoa (espezia), kantitate osoa baino [15]. Adibidez, 6 balentziako kromoa ehun aldiz toxikagoa da 3 balentziakoa baino. Edozein konposaturen ingurune-jokabidea aurreateko hurrengo galdera hauek erantzun beharra dago [16]: «Aztertutako substantzia mugikor bihur al daiteke ingurune urtarrean garatzen diren prozesu geokimikoen bitartez, bere hegazkortasuna edota disolbagarritasuna dela eta? Eta aldaketa geokimiko hauen eraginez ingurugiroan hedatzeko gai al da?»

Ondorio ekologikoak ekarri ez ezik, metal astunek eragindako kutsadura oso kezagarria da ekonomiaren eta gizartearen ikuspuntutik ere. Lehendabizi, baliabide naturalak mugatuak direlako. Hau dela eta, azkenengo urteotan birziklapena eta aurrezte-teknologiak neurri handiz aurreratu egin dira, pasa den hamarkaden xahupena ordezkatzeko asmoz. Gainera, kutsatutako tokiak lehenera etor daitezen, isurki poluitzaileen ezabapena lehenengo urratsa dugu. Beste alde batetik, kontutan hartu behar da sedimentu kutsatuen tratamenduak (dragatzea, biltegitratzea, garbiketa-prozesuak, e.a.) oso garestia izaten direla. Gainera, kasu gehienetan oso zaila da arazoaren erantzule zuzenari eginiko kaltea ordainaraztea, eta normalean erakunde publikoak (hau da, hiritarrok) izaten dira gastu hauen ardura hartzen dutenak.

### **SEDIMENTUEN KARAKTERIZAZIOA ETA KUDEAKETA**

Sedimentuen kutsaduraren ondorioz nabarmena inpaktu ekologikoa denez, material hauek karakterizatzeko erabiltzen diren zenbait prozedura substantzia kutsagarriek bizidunen gainean duten eraginean oinarritzen dira [17, 18, 19]. Saiakuntza ekotoxikologikoen espezia desberdinen jokabidea azter dezakete eta funtsezko bi helburu dute [20, 21, 22]. Lehenengo da komunitate biologikoetan ondorio txarrik eragiten ez duten kontzentrazioak finkatzea, hau da, kutsadurarik gabeko mailak definitzea. Bigarren helburua da gehiegizko kantitateek bizidunen gainean eragiten dituzten efektuak balioztatzea, garrantzi desberdineko mailak ezarri. Prozedura hauetaz aparte, sedimentuen ingurune-kalitatea aztertzeko, ana-

lisi kimiko zuzena erabil daiteke [23], eta sedimentuak zenbait poluitzaileren kontzentrazioen arabera sailkatzen dira. Oinarrizko irizpidea «ez-biologikoa» izan arren, mugen ezarpena saiakuntza eko-toxikologikoetan oinarritzen da askotan [24]. Azkenik, ikertzaile batzuek informazio eko-toxikologikoa (aukeraturiko organismoen gaineko saiakuntzak) eta geokimikoa (analisiak) elkartzea proposatu dute ingurune naturala ahalik eta modu sakonean ezagutzeko [25].

Ikusi dugun moduan, sedimentuen ingurune-kalitatea definitzeko prozedura asko proposatu dituzte, baina zoritxarrez oraindik ez da balio-tasun orokorreko, hots, leku eta egoera guztietan erabiltzeko egokia den mekanismorik aukeratu. Ikerketa-metodoen sakabanatze honek toki desberdinen arteko erkaketa eragozten du.

**1. taula.** Metal astunen kontzentrazio maximoak Euskal Herriko estuarioetan (mg/kg).

	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Cd
<sup>32</sup> Nerbioi	5.260	1.800	1.990	924	61	73,00
<sup>33</sup> Nerbioi	4.000	1.200	880	410	440	50,00
<sup>26</sup> Nerbioi	2.400	4.920	948	445	163	24,50
<sup>10</sup> Nerbioi	1.877	712	527	468	36	23,90
<sup>28</sup> Oiartzun	980	180	120	740	810	1,65
<sup>33</sup> Oka	360	107	153	184	79	—
<sup>26</sup> Oka	260	1.500	144	275	117	5,50
<sup>33</sup> Butroi	360	90	170	70	68	—
<sup>26</sup> Butroi	300	1.080	70	280	45	5,00
<sup>28</sup> Urumea	350	730	360	700	810	4,23
<sup>28</sup> Oria	310	120	220	960	6.100	1,61
<sup>28</sup> Bidasoa	260	210	240	1.800	1.200	1,97
<sup>28</sup> Deba	200	140	670	9.000	5.300	0,77
<sup>28</sup> Urola	210	210	350	13.000	7.300	2,41

Euskal Herrian ere kontrolik gabeko industriaren eta hirien garapenaren ondorioak ikusgai izan ditugu leku askotan (lurzoru kutsatuak, industria-hondarrak, legez kontrako zabortegiak, e.a...). Ingurune urtarraren egoaren berri izateko [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35], 1. taulan estuarioetako sedimentuetan aurkitutako metal astunen kontzentrazioarik altuenak laburbildu dira. Zincari, berunari eta kobreaki dagokienez kantitate handienak Bilboko itsasadarrean detektatu dira. Nikela eta kromoa, berriz, ugariagoak dira Gipuzkoako estuarioetan. Meatze-lanek oso eragin garrantzitsua izan duten Urumea ibaian ez ezik, beste estuarioetan metal astunen iturririk nabarmena industria-jarduera izan da (burdingintza, galvanizazio-prozesuak, e.a...).



## Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

**2. taula.** Portuetan dragaturiko sedimentuak sailkatzeko CEDEX-ek proposatutako ekintza-mailak (mg/kg).

	Zn	Pb	Cu	Cr	Ni	Cd	As	Hg
1. Ekintza-maila	500	120	100	200	100	1	80	0,6
2. Ekintza-maila	3.000	600	400	1.000	400	5	200	3,0
Muga-kontzen.	12.000	2.400	1.600	—	—	20	800	12,0

Baina, zer egin dezakegu kutsatutako sedimentuekin? Gaur egun indarrean dauden ingurugiroari buruzko legeek ez dute arazo honetaz ezer aipatzen. Material hauen sailkapenerako eta kudeaketarako erakunde-ekimen bakarra CEDEX-ek argitaraturiko gomendioak ditugu [34]. Dokumentu honen arabera, sedimentuak hiru kategoriatan sailka daitezke poluitzaile batzuen kontzentrazioak kontuan hartuz (metal astunak, PCB-ak, PAH-ak, karbono organikoa, olioak eta koipeak). 2. taulan metal astunen mugak ageri dira. CEDEX-ek proposaturiko kategoriak hurrengo hauek dira:

*1. kategoria:* kontzentrazioak 1. ekintza-mailakoak baino baxuagoak direnean. Material hauek ez dute eragin antzemangarririk biotan. Beraz, dragaturiko sedimentuak libreki bota daitezke itsasora, murrizte bakarra ondorio mekanikoak izanik (uhertasunaren handiagotzea eta antzeko fenomenoak).

*2. kategoria:* kontzentrazioak 1. eta 2. ekintza-mailakoen artean daudenean. Kasu honetan sedimentuak itsasoan bota daitezke modu kontrolatu batez, alegia, erakundeei baimen berezia eskatuz gero.

*3. kategoria:* kontzentrazioak 2. mailakoak baino altuagoak direnean. Material hauen kudeaketarako bi aukera dago: itsasoko uretatik isolatu, hots, zabortegi kontrolatu batean biltegitatu, edo poluitzaileen kontzentrazioak jaisteko tratamenduak egin.

Euskal Herrian ingurune urtarraren kutsadurari aurre egiteko lehenengo saia Bilboko itsasadarrean egiten ari da gaur egun. Ibilgua estaltzen duten sedimentuek metal astunen eta konposatu organikoen oso kontzentrazio altuak dituztenez [10, 26, 32, 33], estimatu da estuario hau bere onera ekartzeko lehenengo urratsa hondoko materialak dragatzea dela. Kutsaturiko bolumenta oso handia denez, lehenetsun-estrategia bideratzeko CEDEX-ek laugarren kategoria bat ezarri du sedimentuak sailkatzeko [35]: muga-kontzentrazioetatik gora (2. taula) ingurune itsastarraren babeserako garbiketa-dragatzeak egin beharrekoak dira. Ekintza hauen arrakasta hemendik urte batzuetara balioztatu beharko da, zenbait parametro biologiko eta geokimikoren eboluzioa kontrolatuz.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] McCRONE, A. eta KOCH, R. 1966. *Some geochemical properties of Hudson River sediments, Kingston to Manhattan*. Hudson River Ecol. Symp. Hudson River Valley Community, N.Y., 41-59.
- [2] GROOT DE, A.J. 1966. *Mobility of trace metals in deltas*. Com. Int. Soil Sci. Aberdeen, 267-279.
- [3] ALLAN, R.J. 1974. «Metal contents of lake sediment cores from established mining areas: An interface of exploration and environmental geochemistry». *Geol. Surv. Can.*, **74-1/B**, 43-49.
- [4] SALOMONS, W. 1995. *Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments*. Springer.
- [5] FÖRSTNER, U. eta WITTMAN, G.T.W. 1981. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag.
- [6] SALMINEN, R. eta TARVAINEN, T. 1997. «The problem of defining geochemical baselines: A case study of selected elements and geological materials in Finland». *Jour. Geochem. Explor.*, **60**, 91-98.
- [7] SCHETTLER, G. eta ROMER, R. 1998. «Anthropogenic influences on Pb/Al and lead isotope signature in annually layered Holocene Maar lake sediments». *App. Geochem.*, **13-6**, 787-797.
- [8] FÖRSTNER, U. 1989. *Contaminated sediments*. Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag.
- [9] BRADFORD, W.L. 1977. «Urban stormwater pollutant loadings: a statistical summary through 1977». *J.W.P.C.F.*, **49**, 613-622.
- [10] SAIZ SALINAS, J.I., FRANCÉS, G. eta IMAZ, X. 1996. *Uso de Bioindicadores en la Evaluación de la Contaminación de la Ría de Bilbao*. Servicio Editorial UPV/EHU.
- [11] HIRNER, A.V., KRITSOTAKIS, K. eta TOBSCHALL, H.J. 1990. «Metal-organic associations in sediments I. Comparison of unpolluted recent sediments and sediments affected by anthropogenic pollution». *Appl. Geochem.*, **5**, 491-505.
- [12] DEURER, R., FÖRSTNER, U. eta SCHMOLL, G. 1978. «Selective chemical extraction of carbonate-associated trace metals in recent lacustrine sediments». *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**, 425-427.
- [13] HARTUNG, R. 1972. *Environmental mercury contamination*. Ann. Arbor Science Pub. Inc.
- [14] WOOD, J.M. 1974. «Biological cycles for toxic elements in the environment». *Science*, **183**, 1.049-1.052.
- [15] SIBLEY, T.H. eta MORGAN, J.J. 1972. *Equilibrium speciation of trace metals in fresh water: sea water mixtures*. Int. Conf. Heavy Metal Environ., Toronto, 319-338.
- [16] NRIAGU, J.O. 1984. *Changing metal cycles and human health*. Springer-Verlag, Berlin.
- [17] CALAMARI, D., GALIANI, S. eta DE GASSO, R. 1979. «A system of tests for the assessment of toxic effects on aquatic life: an experimental preliminary approach». *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **3**, 75-89.
- [18] KRUIJF, H.A.M., ZWART, D., VISWANATHAN, P.N. eta RAY, P.K. 1988. *Manual on aquatic ecotoxicology*. Allied Publishers Private Limited.

Sedimentuak eta metal astunek eragindako poluzioa: ingurune-ondorioak

- [19] HOFFMAN, D.J., RATTNER, B.A., BURTON, G.A. eta CAIRNS, J.Jr. 1995. *Handbook of ecotoxicology*. Lewis Publishers.
- [20] BORGMANN, U., NORWOOD, W.P. eta BABIDAR, I.M. «Relationship between chronic toxicity and bioaccumulation of cadmium in *Hyalella Azteca*». *Can. Jour. Fisher. Aquat. Sci.*, **48**, 1.055-1.060.
- [21] REYNOLDSON, T.B. 1994. «A field test of a sediment bioessay with the oligochaete worm *Tubifex tubifex* (Müller, 1774)». *Hydrobiology*, **278**, 223-230.
- [22] MARTÍNEZ, M. 1997. *Bioensayos de ecotoxicidad con *Daphnia magna* y *Tubifex tubifex* para la caracterización de sedimentos fluviales*. Doktore-tesia. UPV/EHU.
- [23] MÜLLER, G. 1979. «Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins- Veränderungen seit 1971». *Umschau*, **79**, 778-783.
- [24] HAKANSON, L. 1980. «An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach». *Water Res.*, **14**, 975-1.001.
- [25] CHAPMAN, P.M. 1986. «Sediment quality criteria from the sediment quality triad. An example». *Environ. Toxicol. Chem.*, **5**, 957-964.
- [26] SEEBOLD, J.I. 1981. *Distribución y comportamiento de los metales pesados en los sedimentos de las rías de Vizcaya (Bilbao, Guernica y Plencia)*. Lizentziatura-tesia. UPV/EHU.
- [27] DORRONSORO, C., ALONSO, B., RAMOS, A., GARCÍA, R., CANTÓN, L. eta LEGORBURU, I. 1988. «Análisis geoquímico y mineralógico de los estuarios exteriores de los ríos Deba y Bidasoa (España)». *Geociencias*, **3**, 153-163.
- [28] RAMOS, A., LEGORBURU, I. eta MILLÁN, E. 1990. «Impacto ambiental por metales pesados en sedimentos superficiales de los estuarios exteriores de Guipuzcoa». *Lurralde*, **13**, 157-164.
- [29] RUIZ, E. 1990. *Identificación, origen y factores físicoquímicos que condicionan la contaminación por elementos metálicos de sedimentos de ríos*. Doktore-tesia. UPV/EHU.
- [30] SOLÁ, M.J., CANTÓN L. eta MILLÁN, E. 1990. «Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de los ríos de Guipuzcoa». *Lurralde*, **13**, 165-172.
- [31] LEGORBURU, I. 1991. *Acumulación de metales pesados en sedimentos, plantas y peces del río Urola*. Doktore-tesia. UPV/EHU.
- [32] SWINDLEHURST, R.J. eta JOHNSTON, P.A. 1991. *Severe heavy metal and path contamination in Bilbao, Northern Spain*. School of Biological Sciences, Queen Mary and Westfield College, University of London, London.
- [33] IRABIEN, M.J., 1993. *Mineralogía y geoquímica de los sedimentos actuales de los ríos Nervión-Ibaizabal, Oka, Butrón y Nive*. Índices de Gestión Ambiental. Doktore-tesia. UPV/EHU.
- [34] CEARRETA, A., IRABIEN, M.J., LEORRI, E., YUSTA, I., CROUDACE I.W. eta CUNDY, A.B. 2000. «Record of anthropogenic impacts on the Bilbao Estuary, N. Spain: geochemical and microfaunal evidence». *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, **50**, 571-592.
- [35] CEDEX. 1994. *Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles*.
- [36] CEDEX. 2000. *Asistencia técnica a la autoridad portuaria de Bilbao en relación con el estudio de la regeneración del cauce principal de la ría de Bilbao*.