

# Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) eta haien eragina hirietako isurketa-uren kalitatean (Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) and their influence on urban runoff quality)

Ainhoa Lekuona Orkaizagirre<sup>1\*</sup>, Maite Meaurio Arrate<sup>1</sup>,  
Ainara Gredilla Altonaga<sup>2</sup>, Eneko Madrazo Uribeetxebarria<sup>3</sup>,  
Maddi Garmendia Antin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kimika Aplikatua Saila, Kimika Fakultatea, UPV/EHU

<sup>2</sup> Kimika Analitikoa Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, UPV/EHU

<sup>3</sup> Ingeniaritza Energetikoa Saila, Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, UPV/EHU

**LABURPENA:** Azken aldiko ikerketetan Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) hirietako isurketa-uren bolumena murrizteko eta beren kalitatea hobetzeko tresnatzat aurkezten dira. Funtzioaren arabera, lau multzo bereizten dira: jatorria kontrolatzen dutenak, abiadura moteltzen dutenak, biltegitratze-sistemak eta infiltrazio-sistemak. Artikulu honen helburua izan da HDSJ-ek isurketa-uren kalitatean izan dezaketen eragina ebaluatzen duten ikerketen gainbegiratu bibliografikoa egitea, eta, horrekin batera, EAeko egoera aztertu da. Isurketa-uretako kutsatzaile nagusien artean metal astunak, ongarririk eta konposatu organikok daude. Konposatu horiek uretan disolbatuta edo partikuletan adsorbatuta egon daitezke, eta bi formak murrizteko metodoek dekantazio-etapa eta iragazketa-etapa izaten dituzte: lehenak partikuletan adsorbatuta daudenak murrizten ditu eta bigarrenak bi formatuak. Bi etapa horiek integratuta dituzten HDSJ-ek emaitza onak eman dituzte. Sistema ohikoenei dagokienez, zoladura iragazkorrek eraginkortasuna erakutsi dute metal astunak eta fosfatoak murrizteko, eta bioerretentzio-sistemak ere tresna interesgarriak izan daitezke, landaredia-geruzak isurketa-urak xurgatzen eta eraldatzen lagundu baitezake. Jasangarritasunaren aldeko proiektuen bidez, hainbat HDSJ ezarri dira Gipuzkoan; esaterako, Legazpiko zein Donostiako Udalek zoladura iragazkorak ipini dituzte zenbait aparkalekutan eta sistema horien eraginkortasuna ebaluatzeko aukera ematen dute, HDSJ-ak zeharkatu aurreko eta ondorengo ur-laginen kalitatea alderatuz.

**HITZ GAKOAK:** HDSJ, isurketa-urak, uraren kalitatea, zoladura iragazkorak, bioerretentzio sistemak.

**ABSTRACT:** Latest research has presented Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) as a useful tool in order to reduce runoff volumes and improve their quality. There are four types depending on their purpose: source control, runoff deceleration, runoff storage and infiltration systems. The objective of this article has been to review the bibliography about the influence of SUDS on the quality of urban runoff and the situation of EAE has been analysed. The main pollutants in urban runoff include heavy metals, nutrients and organic compounds. Those pollutants can be found dissolved or adsorbed to particulates and methods intended to remove both forms include a decantation step and a filtration step, the first for the removal of particulates and the latter for the reduction of both. SUDS which include both steps have shown good results. In regard to the most common systems, permeable pavements have been proved to be efficient removing heavy metals and phosphates and bio-retention systems might also be interesting tools, since runoff can be absorbed and transformed by the vegetation layer. Due to sustainability projects, some SUDS have been placed in Gipuzkoa; for instance, permeable pavements have been built in Donostia and Legazpi which can provide the option of evaluating the efficiency of SUDS, comparing the quality of water samples before and after passing through the SUDS.

**KEYWORDS:** SUDS, urban runoff, water quality, permeable pavements, bio-retention systems.

\* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Ainhoa Lekuona Orkaizagirre. Kimika Fakultatea UPV/EHU, Manuel Lardizabal pasealekua, 3 (Donostia-Gipuzkoa). – ainhoa.lekuona@ehu.eus – https://orcid.org/0009-0004-9757-5747

**Nola aipatu / How to cite:** Lekuona Orkaizagirre, Ainhoa; Meaurio Arrate, Maite; Gredilla Altonaga, Ainara; Madrazo Uribeetxebarria, Eneko; Garmendia Antin, Maddi (2024). «Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) eta beren eragina hirietako isurketa-uren kalitatean». *Ekaia*, 45, 2024, 171-190. (https://doi.org/10.1387/ekaia.24784).

Jasotze-data: 2023, apirilak 21; Onartze-data: 2023, uztailak 03.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2024 UPV/EHU



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

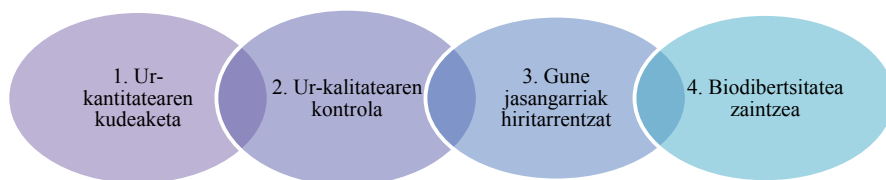
## 1. SARRERA

Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak, HDSJ (ingelesez SUDS, *Sustainable Urban Drainage Systems*), gainazaleko uren kudeaketaren bidez eskuratu daitezkeen aukerak eta onurak maximizatzeko diseinatutako sistemak dira, eta haien helburua da uraren ziklo naturala antzeratzea [1]. Ziklo hidrológico edo uraren zikloa urak naturan likido-, solido- edo gas-egoeran egiten duen zirkulazio-bide itxia da, non lurrunketaren, prezipitazioaren eta infiltrazioaren bidez uraren zirkulazioaren oreka mantentzen baita. Uraren lurruntze-prozesua itsasotik, aintziretatik edo ibaietatik gerta daiteke zuzenean, eta baita izaki bizidunetatik ere, transpirazioaren bidez. Ondoren, lurrunketaren bidez sortutako hodeiaren kondentsaziotik ura lurrazalera itzultzen da prezipitazioaren bidez, euri, elur edo txingor gisa. Horrela, ura lur gainean (itsasoan, ibaietan, aintziretan, elurtegietan eta glaziarretan) nahiz lurpean metatzen da [2].

Giza jarduerak eta garapen sozio-ekonomikoak, ordea, eragina dute uraren ziklo naturalean. Alde batetik, urbanizatzeko-prozesuek paisaia naturala itxuraldatzen dute, iragazkorra den lurzorua iragazgaitzak diren gainazalekin (errepideak, kaleetako asfaltoa...) ordezkatzeko da, eta horrela, uraren lurzoruranzko bidea oztopatzen da. Bestetik, hirien garapenak askotan naturako landaredia ezabatzen du, eta horrek uraren lurrunketan eta infiltrazioan eragin dezake; izan ere, landarediak bi prozesu horiek ahalbidetzen ditu. Beraz, urbanizatzeko-prozesuek lurzorura infiltra daitezkeen ur bolumena murrizten dute, eta horrek gainazalean zehar lerratzen den uraren kantitatea zein abiadura areagotu dezake. Horrela, hiriguneetan uholdeak sortzeko arriskua areagotzen da eta gainazaleko ur-isurketen emaria handitzen, gainazalaren higadura bizkortuz [1]. Hidrologian duen eraginaz gain, kontuan izan behar da giza jardueraren eraginez kaleetako sedimentuetan era askotako kutsatzaileak metatzen direla eta isurketa-urek kutsatzaile horiek garraiatzen dituztela. Sedimentu horien jatorria izaten da, besteak beste, trafikoa, zoladuraren higadura, lurzorua eta haizeak garraiatutako harea, eta kutsatzaile ohikoenak metal astunak, Hidrokarburo Aromatikoko Poliziklikoak (PAH, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) eta ongarriak izan ohi dira [3].

Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak hirietako gainazal-uretan eragiteko diseinatzen dira, eta sistema horien bidez lortutako onurak lau multzo handitan banatu daitezke: 1. Ur kantitatearen kudeaketa, uraren zikloa mantentzeko eta uholdeen arriskua murrizteko; 2. Uraren kalitatearen kontrola, kutsatzaileak eta kutsadura murrizteko; 3. Hiritarrentzat gune jasangarriak eskaintzea, eta 4. Biodibertsitatea zaintzea (ikus 1. irudia) [1].

Artikulu honen helburua da HDSJ-ek isurketa-uren kalitatean izan dezaketen eragina ebaluatzen duten ikerketen berrikuspen bibliografikoa egitea; horrekin batera, Euskal Autonomia Erkidegoan egin diren aurrerapean aztertu dira, Donostiako zein Legazpiko HDSJ-ak batez ere.



**1. irudia.** HDSJ-en onurak biltzen dituen diagrama.

## **2. HDSJ MOTA NAGUSIAK**

Espainiako Trantsizio Ekologikorako Ministerioak 2019an HDSJ-ei buruz argitaratutako gida kontuan izanik [4], HDSJ-ak lau multzotan sailkatu daitezke, beren funtzioaren arabera:

1. Jatorria kontrolatzeko sistemak, isurketa-urak urbanizatutako gainazalean (eraikinetan, zoladuran edota hiri-elementuetan) geldiarazteko.
2. Isurketa-uren abiadura moteltzeko eta horiek bideratzeko sistemak, isurketa-uren jatorritik ibilbidearen amaierarainoko bidea ahalik eta motelena izateko.
3. Ura biltegitatzeko sistemak, isurketa-urak gunen batean pilatu eta uholdeak eragozteko edota hurrengo berrerabilerarako gordetzeko.
4. Infiltrazioan oinarritutako sistemak, ura modu kontrolatu batean sartzeko lurrazalera, handik akuiferora pasa eta ziklo naturalera itzultzeko.

1. taulan HDSJ batzuk biltzen dira, bakoitzari dagokion deskribapenarekin eta sistema-motaren arabera multzokatuta.

**1. taula.** HDSJ mota aipagarrienak.

Sistema-mota	HDSJ	Deskribapena	Irudia
Jatorria kontrolatzeko sistemak	Teilatu berdeak	Eraikin baten teilatuan lurzoruzko geruza bat eraikitzen da, eta landaredia gehitzen zaio. Landarediak euri-ura xurgatzen du, eta ur hori lurzoruan gordetzen da. Biltegi bat gehituta, bildutako ura ureztaketarako, egun beroetan teilatuko tenperatura jaisteko edo aisialdiko jardueratan erabil daiteke, besteak beste.	
	Zoladura iragazkorak	Zoladura mota hauek isurketa-urak zoladura zeharkatzeko diseinatzen dira. Batzuek zoladura-blokeen artean hutsuneak izaten dituzte, eta beste batzuetan zoladurako materiala porotsua izaten da. Hutsuneak urak zoladura zeharkatzea ahalbidetzen dute eta poroetan ura iragaztea lortzen da.	
Isurketa-uren abiadura moteltzeko sistemak	Arekak	Landarez betetako ubidea erabiltzen da isurketa-urak garraiatu eta tratatzeko, iragazketaren bidez. Hezeak izan daitezke, arekaren oinarrian beti ura daramatenak, edo lehorrak, ura euriteetan bakarrik daramatenak.	
Ura biltegiratzeko sistemak	Urmaelak eta hezeguneak	Urmaelak eta hezeguneak urez estalitako putzu iraunkorrak dira, isurketa-uren bilketa eta tratamendua ahalbidetzen dutenak. Uretako landaredia izan dezakete, zeinek tratamendu-prozesuak hobetu eta biodibertsitatean onura sortzen duten.	

Sistema-mota	HDSJ	Deskribapena	Irudia
Infiltrazioan oinarritutako sistemak	Iragazketarako zelaia	Belarrez estalitako edo landatutako eremuak dira, gainazaleko urak infiltratu eta iragaztea ahalbidetzen dutenak.	
	Zuhaitzak	Zuhaitzen sustraiek ura xurgatzen dute lurzorutik, eta ondoren, hostoen poroetatik lurruntzan da ura. Zuhaitzen sustraien hazkuntza areagotu ahala, lurzoruaren infiltrazio-gaitasuna handitu egiten da.	
	Bioerretentzio-sistemak	Landaredian eta lurzoruan oinarritutako inpaktu baxuko tratamendu- eta infiltrazio-sistemak dira. Gainazalean daukaten landaredia-geruzaren bidez isurketa-urak xurgatu eta iragaztea lortzen da.	

### 3. ISURKETA-UREN KUTSADURA

#### 3.1. Isurketa-uren kutsatzaile nagusiak

Sarreran aipatutako moduan, isurketa-uretan agertzen diren kutsatzaile nagusien artean metal astunak, hidrokarbuo aromatiko poliziklikoak (PAH) eta ongarriak aipa daitezke, besteak beste. Oro har, kutsatzaileak uretan disolbatuta edota suspentsioan dauden partikulei lotuta aurkitu daitezke isurketa-uretan eta forma horren arabera da bakoitzaren mugikortasuna eta ingurumenean sor dezakeen eragina [5].

##### 3.1.1. *Metal astunak isurketa-uretan*

Metal astunak 63,5 eta 200,6 balioen arteko masa atomikoa duten elementuak dira. Ongarrien, baterien, paperaren, pestiziden, metalaren edo beste hainbat industriaren garapena dela eta, hondakin industrialetan metal

astunak egon ohi dira, eta garrantzitsua da tratamendu egokien bidez murriztea, ingurumena kaltetu ez dadin. Izan ere, hondakin organikoak ez bezala, metal astunak ez dira biodegradagarriak, eta organismoetan pilatzen dira, eta kontuan izan behar da metal astun batzuk toxikoak edo kartzinogenoak izan daitezkeela [6]. Hirietako isurketa-urek garraiatzen dituzten metal astunen artean, kadmioa (Cd), kromoa (Cr), kobrea (Cu), nikela (Ni), beruna (Pb) eta zinka (Zn) dira nagusiak [7][8] eta haien iturri nagusiak dira trafikoari lotutako jarduerak, errepedeko mantentze-lanak, isurketa atmosferikoa, sabaietako isurketa, industria-jarduerak eta errepedetako zein lurzoruetako partikulen birsuspentsioa [9].

Metal astunen parte bat suspentsioan dauden partikulei lotuta egoten da, eta bestea, ordea, ur-disoluzioan disolbatuta, ioi aske moduan. Azken horiek ahalmen handiagoa dute lurpeko urei eragiteko eta ur-organismoetan epe labur zein luzeko toxikotasuna eragiteko. Uretan disolbatuta edo partikulei lotuta egotea zenbait faktoreren menpe dago: isurketa-uren emaria, pH-a, errebox baldintzak eta tenperatura, besteak beste [10]. Isurketa-uretan zinka eta beruna partikuletan adsorbatuta egon ohi dira nagusiki; kromoa, kobrea, kadmioa eta nikela, ordea, disolbatuta agertzen dira batez ere [9].

### 3.1.2. Hidrokarbuero Aromatiko Poliziklikoak (PAH) isurketa-uretan

Hidrokarbuero Aromatiko Poliziklikoak (PAH, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) bi bentzeno-eraztun edo gehiago dituzten eta 128 Dalton eta 278 Dalton bitarteko masa molekularra duten konposatu organikoak dira [11]. Iturriari dagokionez, alde batetik, basoetako, larreetako edota nekazaritza-lurretako suteek PAH kopuru handia igortzen dute atmosferara, eta hortik lurzorura zein uretara erortzen dira gero. Horrekin batera, erregai fosiletan ere aurkitu daitezke modu naturalean: ikatzean zein petrolio gordinean. Halere, baldintza naturaletan PAH bolumen txikia igortzen dute erregai fosilek; izan ere, horien biltegiak lurzoruetan oso sakon egon ohi dira. Azken batean, zaborraren amaitu gabeko errekontza izan ohi da iturri antropogeniko nagusia, eta baita trafikoa ere, eta isurketa-gasak, pneumatikoen higadura, olio lubrifikatzaileak eta errepedeko gainazalaren urradura dira kutsatzaile nagusiak [12]. Ingurumenean ehundaka PAH mota aurkitu badaitezke ere, honako hauek dira Estatu Batuetako Ingurumen Babeserako Agentziak (USEPA, *United States Environmental Protection Agency*) lehen mailako kutsatzaile izendatu dituen hamasei PAH konposatuak: naftalenoa, azenaftilenoa, azenaftenoa, fluorenoa, fenantrenoa, antrazenoa, fluorantenoa, pirenoa, benzo[a]antrazenoa, krisenoa, benzo[b]fluorantenoa, benzo[k]fluorantenoa, benzo[a]pirenoa, benzo[g,h,i]perilenoa, indeno[1,2,3-c,d]pirenoa eta dibenz[a,h]antrazenoa.

Beren izaera hidrofobikoa dela eta, ur-ingurunean sartzen diren PAH konposatuek afinitate handia erakusten dute suspentsioan dauden partiku-

lekiko. Beraz, partikula horietan adsorbatzen dira eta sedimentuetan metatzen dira. Horrekin batera, karbono organikoan metatzeko duten erraztasuna dela eta, oso erraz sar daitezke elikadura-sarean [13].

### 3.1.3. Ongarriak isurketa-uretan

Fosforoa (P) izaten da ur naturalen sistema gehienetan algen ongarri mugatzailea; itsasoko uretan, ordea, kezka-iturri nagusia nitrogenoa (N) izaten da. Ongarrien gehiegizko pilaketarekin eutrofizazioa eragiten da ur-ekosistemetan, eta honako ondorio hauek sortzen dira: materia organikoaren kantitatea handitzea (fitoplanktonak, zooplanktonak, bakterioak eta onddoak, besteak beste); nahi ez diren algen populazioa indartzea (eutrofizazioa); desiragarri ez diren ezaugarriak dituzten disolbatutako substantzia organikoen kantitatea handitzea; pHaren aldaketak, eta abar [14]. Ongarrien iturri naturalen artean isurketa atmosferikoa aipa daiteke, eta baita erabili gabeko landetan, mendietan edota basoetan higatutako materiala ere; iturri antropogenikoen artean, ongarri kimikoak, animalien hazkuntza intentsiboko lanen hondakinak eta estolda-sistemetak isurketak daude [15].

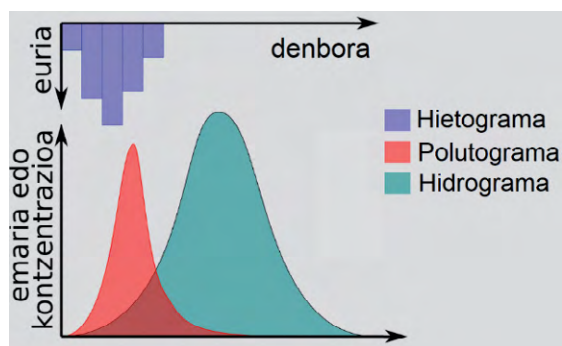
Isurketa-uretako fosfata uretan disolbatuta edo suspentsioan dauden partikulen gainazalean adsorbatuta aurkitzen da; bigarrena da joera nagusia [16]. Nitrogenoa ere partikuletan adsorbatuta edo uretan disolbatuta aurkitu daiteke eta disolbatuta dagoena amoniako ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) eta nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) gisa egon ohi da. Azken horiek izan ohi dute inpaktu handiena ur-inguruneetan; izan ere, organismo sinpleek oso erraz absorbatzen dituzte [17].

Oro har, nitrogenoaren forma disolbatuak gailentzen dira isurketa-uretan, eguraldi heze zein lehorretan. Beren bioeskuragarritasun altua dela eta, inpaktu ekologiko positiboa lortzeko disolbatutako nitrogeno horren kontzentrazioa murriztu beharko litzateke. Horretarako, nitrifikazio- eta desnitrifikazio-prozesuak konbinatuz  $\text{NO}_x$  konposatuak murrizteko sistemak gomendatzen dituzte zenbait ikerketak [17]. Nitrifikazio-prozesuekin amoniakoa eta nitrogeno organikoa  $\text{NO}_x$  bilakatzen da eta desnitrifikazio-prozesuetan  $\text{NO}_x$  konposatuak  $\text{N}_2$  gaseoso bilakatzen dira.

## 3.2. Isurketa-uren kutsadura-maila

Kutsatzaile gehienak sedimentu edo hauts gisa pilatzen dira denboraldi lehorretan eta euriteetan isurketa-urek sedimentu horiek garraiatzen dituzte. Denboraldi lehorra zenbat eta luzeagoa, orduan eta handiagoa izango da hautsaren eta, ondorioz, kutsatzaileen metaketa sedimentuetan. Ikerketa batzuetan ADP (*Antecedent Dry Period*) izena duen aldagaia kontuan hartzen da isurketa-uren kalitatea aztertzeko laginketa egiterakoan [18].

Metaketa hori dela eta, euritearen hasieran izaten da kutsatzailearen kontzentrazio handiena, eta fenomeno hori lehen deskarga (*first flush*) izenez ezagutzen da [7]. Zaila izaten da sarri fenomeno horren presentzia modu kuantitatiboan definitzea. 1998an Bertrand-Krajewski eta haren kideek proposatutako definizioari jarraiki, isurketa-uraren %30ek kutsatzailearen masaren %80 eramaten duenean kontsidera daiteke lehen deskarga fenomenoa [19]. Ikerketa askok egiten diote aipamena fenomeno horri, eta hori ikusteko, polutograma izeneko grafikoetan kutsatzailearen kontzentrazioa denboraren funtzioan adierazten da. Kasu gehienetan polutogramaren grafiko berean gehitzen da hidrograma, uraren emaria adierazten duena, eta hietograma, euriaren intentsitatea adierazten duena, guztia denboraren funtzioan, 2. irudian ikusten den moduan [20].



**2. irudia.** Hietograma, polutograma eta hidrograma. Hietogramak euriaren intentsitatea (oro har mm-tan); polutogramak kutsatzailearen kontzentrazioa adierazten du (adibidez, mg · kg<sup>-1</sup> unitateetan); hidrogramak emaria (m<sup>3</sup> · s<sup>-1</sup> unitateetan) eta hietogramak euriaren intentsitatea (oro har mm-tan); guztia, denboraren funtzioan ([21]-tik moldatuta).

Egun lehorrez gain, baldintza meteorologikoez ere eragin handia dute kutsatzaileen kontzentrazioan. Ikerketa gehienetan agertzen diren aldagai nagusiak euri-jasaren iraupena, euri-jasaren intentsitatea eta isurketa-uren emaria dira [22]. Hortaz, ez dute eragin bera izango intentsitate handiko euri-jasa laburrek edo intentsitate baxuagoko euri-jasa luzeek [23].

#### 4. HDSJ-en ERAGINA ISURKETA-UREN KALITATEAN

Gaur egun, hirietako isurketa-uren kudeaketa egokirako tresna berri-tzaileen artean daude HDSJ-ak. Aurretik aipatutako moduan, sistema horien bidez, alde batetik, gainazaleko ur-bolumenaren murrizketa jartzen da

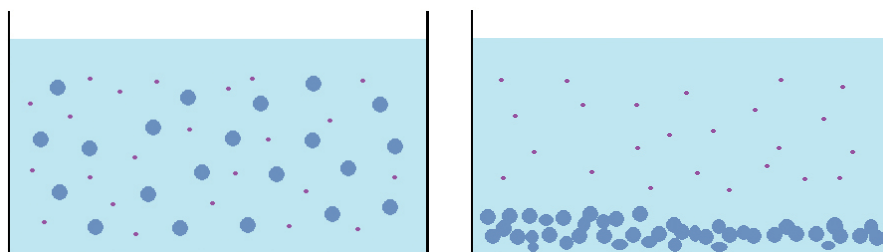


jomugan; uholdeen arriskua minimizatu nahi da, isurketa-urak lurzorura infiltratzea ahalbidetuz edo ura sisteman bertan gordez. Beste aldetik, uraren kalitatea hobetzen ere laguntzen dute, prozesu kimiko, fisiko edo biologikoen bidez [7].

#### 4.1. HDSJ-en mekanismo nagusiak kutsatzaileak murrizteko

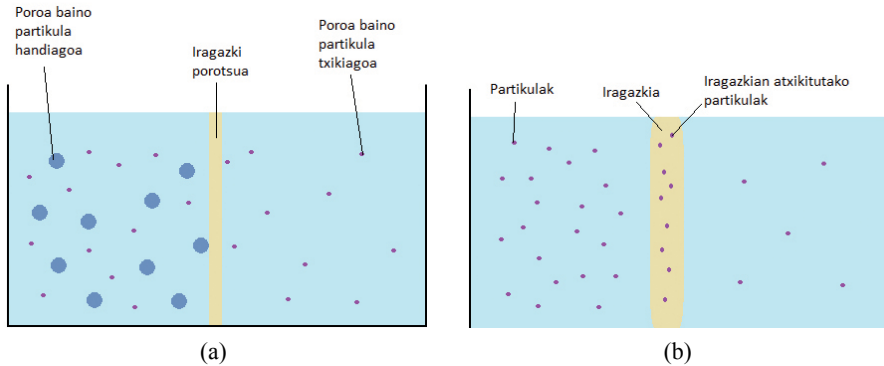
Kontuan izanik kutsatzaileak isurketa-uretan disolbatuta edo partikuletan adsorbatuta ager daitezkeela, garrantzitsua da fase batekoak zein beste-koak murrizteko metodoak erabiltzea. Horregatik, euri-uren kalitatea hobetzeko tresnak bi prozesutan oinarritzen dira: alde batetik, dekantazio-etapa izaten dute, partikuletan adsorbatutako kutsatzaileak ezabatzeke, eta bestetik, iragazketa-etapa, disolbatutako zein partikuletako kutsatzaileak ezabatzeke. Horren haritik, Hego Koreako ikerketa batean, dekantazioa eta iragazketa txertatuta dituen infiltrazio-sistema baten eraginkortasuna frogatu dute, berunaren eta zinkaren %90 murriztea lortu baitu [24].

Dekantazio-prozesuan isurketa-uretan esekita dauden partikulak grabitatearen eraginez hondoratu eta hondoon metatzen dira (ikus 3. irudia).



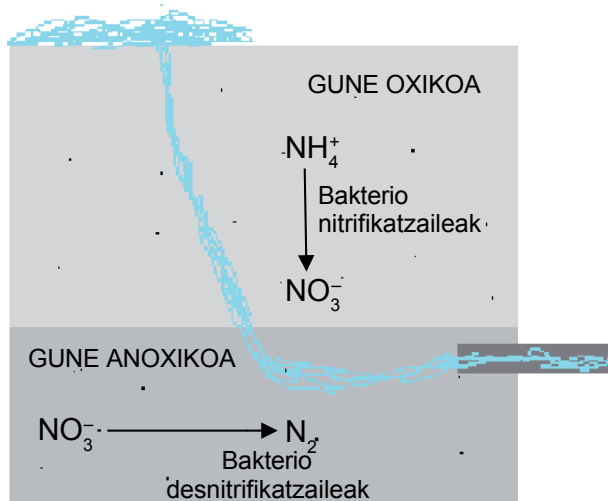
**3. irudia.** Dekantazio-prozesuaren eskema.

Bestalde, iragazketan bi azpiprosesu bereiz daitezke: bata partikula-tamainaren arabera da, eta bestea atxikipen-mekanismoan oinarritzen da. Batetik, iragazketa-materialaren poroa baino tamaina handiagoa duten partikulek ez dute materiala zeharkatuko; poroa baino partikula txikiagoek, ordea, bai (ikus 4a. irudia). Bestetik, kutsatzaile jakin batzuek murrizteko diseinatutako sistemetan, isurketa-ura iragazki jakin batzuetatik pasarazten da, eta, iragazketa-materialaren eta kutsatzailearen arteko elkarreketa dela eta, isurketa-uretan disolbatutako substantziak iragazkietan atxikiak gertzen dira (4b. irudia). Iragazkiaren eta kutsatzailearen arteko elkarrekintzak partikulen izaeraren arabera izango dira: partikula hidrofobikoaren artean elkarrekintza hidrofobikoak gerta daitezke, beste zenbait partikula erakarpen elektrostatikoen bidez elkartu daitezke edota ioien arteko trukaketa gerta daitezke [8].



**4. irudia.** Iragazketa. (a) Partikula-tamainaren araberako iragazketa eta (b) atxikipen-mekanismoan oinarritutako iragazketa.

Iragazketarako materiala organikoa edo ez-organikoa izan daiteke; organikoen artean egur-ikatzeta edo karbono aktibatua dira ohikoenak, eta ez-organikoen artean karbonatodun harea, zeolita, burdin oxido/hidroxidoak edo manganeso oxidoz estalitako harea. Azkenaldian, gero eta entzunagoak dira agregatu arinak (LWA, *Lightweight Aggregates*), beren eroankortasun hidraulikoa eta kutsatzaileak murrizteko duten gaitasuna dela eta [10].



**5. irudia.** Gune anoxikoa duen bioerretentzio-sistema baten diagrama, [26]-tik moldatuta.

Bestalde, ongarrien kontzentrazioa murrizteko, ondo legoke prozesu fisiko-kimikoez gain nitrifikazio- eta desnitrifikazio-prozesuak ahalbidetzea.

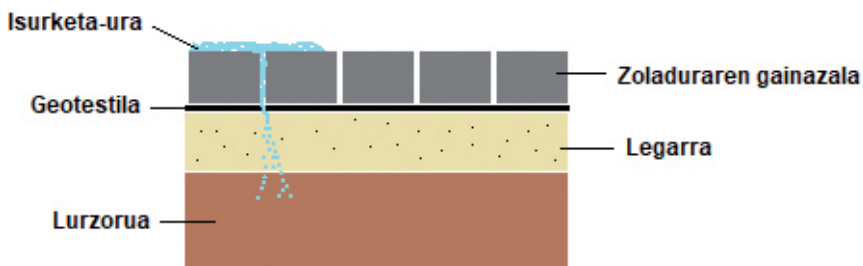
Infiltratutako uraren kalitatea aztertzeaz arduratzen diren ikerketek erakutsi dute zoladuraren barruko baldintza aerobikoak eta pH balioak egokiak direla bakterio nitrifikatzaileen hazkuntzarako [25]. Halere, kontuan izanda isurketa-uretako nitrogenoaren gehiengoa  $\text{NO}_x$  moduan aurkitzen dela, desnitrifikazioa elementu erabakigarria da nitrogenoa ezabatzeko. HDSJ-en artean, urmaelek edo bioerretentzio-sistemek paper hori bete dezakete, gune anaerobiko bat izan dezaketelako. Urmaletan desnitrifikazio hori sedimentu-ur interfasean gertatzen da,  $\text{NO}_x$ -ak dakartzan ur aerobikoa sedimentu anaerobikoarekin kontaktuan jartzean [17]. Bioerretentzio-sistemetan, ordea, gune anoxiko bat eranstea proposatzen dute desnitrifikazio hori ahalbidetzeko [26] (ikus 5. irudia).

#### 4.2. Zoladura iragazkorren eragina isurketa-uren kalitatean

Zoladura iragazkorren sistemak (PPS, *Permeable Pavement Systems*) beren material-matrizearen edota hutsuneen bidez isurketa-uren infiltrazioa ahalbidetzen duten zoladura motak dira. 1. atalean aipatu bezala, funtzioaren araberrako sailkapenean jatorrian eragiten duten HDSJ-en artean kokatzen dira, beren helburua isurketa-uren jatorrian eragitea baita, ur-bolumena txikituz eta uraren kalitatea hobetuz. Literaturan «*permeable*», «*porous*» eta «*pervious*» terminoak erabiltzen dira zoladura iragazkorrei erreferentzia egiteko. Oro har, hiru zoladura mota dira erabilienak: elkarri lotutako hormigoizko zoladura iragazkorak (PICPs, *Permeable Interlocking Concrete Pavers*), hormigoizko iragazkorra (PC, *Pervious Concrete*) eta asfalto iragazkorra (PA, *Pervious Asphalt*). PICP zoladurak unitate modularrez osatuta daude, eta unitateen arteko junturak zenbait agregatuz beteta egon daitezke. PC eta PA hormigoiarene eta asfaltoaren eratorri iragazkorak dira [27]. Gainazaleko geruza horien azpian, porositate handia duten materialak erabiltzen dira, legar garbiak batez ere, eta horrekin batera geotestila ere erabiltzen da, materialen nahasketa eragozteko [21]. 6. irudian zoladura iragazkorraren adibide bat ikus daiteke, eskema moduan adierazita. Eskeman elkarri lotutako hormigoizko zoladura iragazkor bat agertzen da, eta ikus daiteke nola gainazaleko isurketa-urak unitate modularren arteko tartetean zehar pasatzen diren, gero legarra zeharkatu eta azkenik lurzorura iritsiz. Zoladura iragazkorraren diseinua eta kokapena aukeratzeko, garrantzitsua da gune horretako klima, hango lurzorua, hidrologia eta lurzoruaeren erabilera aztertzea. Izan ere, lurzoruranzko infiltrazioa ez da beti posible izaten, lurzoruaeren iragazkortasun naturala aldakorra baita gune batetik bestera.

Emaitza hidrologikoei dagokienez, baldintza klimatikoek, baldintza geologikoeke eta zoladuraren diseinuak zoladura iragazkorren eraginkortasunean eragin dezaketen arren, isurketa-uren bolumena eta emari maximoa txikitzen dituztela ikusi da oro har. Era berean, zoladura iragazkorak erabiltzea estrategia interesgarria izan daiteke isurketa-urek garraiatzen dituz-

ten kutsatzaileak kontrolatzeko. Zoladura iragazkorren purifikatze-efektua aztertu duten ikerketa gehienek arabera, PPS-ek metal astunak murrizteko eraginkortasun handia erakutsi dute, baita amoniakoa ( $\text{NH}_3$ ), fosforo totala (TP), oxigeno-eskaera biokimikoa (BOD) eta oxigeno-eskaera kimikoa (COD) murrizteko ere. Kloruroen eta nitrogeno totalaren (TN) kontzentrazioa murrizteko, ordea, eraginkortasun txikiagoa erakutsi dute [28]. Beste datu zehatzago batzuei erreparatuta, Melbourne Water gobernu-agentziak dio ondo diseinatutako eta behar bezala mantendutako zoladura iragazkorrek kutsatzaileen ehuneko hauek atxiki ditzaketela: sedimentuen %80, fosforoaren %60, nitrogenoaren %80, metal astunen %70 eta olio eta koipeen %98 [29].



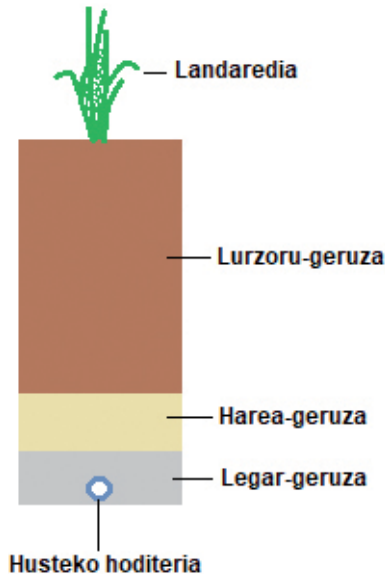
6. irudia. Zoladura iragazkorren eskema.

#### 4.3. Bioerretentzio-sistemen eragina isurketa-uren kalitatean

Bioerretentzio-sistemak landareetan eta lurzoruan oinarritutako infiltrazio-sistemak dira, eta inpaktu-baxuko garapen-metodoen taldean (LID, *Low Impact Development methods*) kokatzen dira. 7. irudian bioerretentzio-sistemen egitura posible bat adierazten duen marrazkia ikus daiteke, honako osagai hauek dituen: landaredia, geruza iragazgaitza, lurzoru-geruza, harea-geruza, legar-geruza eta husteko hodia. Landareek isurketa-urak eta horrekin batera ongarriak xurgatzen dituzte, eta horrela isurketa-uren bolumena zein ongarriak murriztea lortzen da. Oro har, kutsadurarekiko eta urarekiko tolerantak diren zuhaitzak edo espezie belarkarak landatzen dira. Lurzoru-geruzarekin lortzen da landareek bizirautea, nitrifikazioa ahalbidetzea eta isurketa-urak gordetzea. Hareazko eta legarrezko geruzen bidez lortzen da isurketa-ur horiek iragaztea, eta, azkenik, bukaerako hodiaren bidez infiltratutako eta iragazitako isurketa-urak estolda-sistemetara bideratzen dira. Hortaz, bioerretentzio-sistemetan prozesu fisikoek, kimikoek eta biologikoek hartzen dute parte: iragazketa, sedimentazioa, adsortzioa eta landareen xurgapena [30].

Kalitateari begira, ikerketen arabera bioerretentzio-sistemak eraginkorrak izan daitezke isurketa-uretako sedimentuak eta ongarriak murrizteko [31]. Esaterako, Koreako ikerketa batean bioerretentzio-sistemen bi-

dez isurketa-uretako fosforo totala (TP) %85-86 murriztea lortu zen, eta nitrogeno totala (TN) %49-55 bitartean [32].



7. irudia. Bioerretentzio-sistemaren marrazkia.

## 5. HDSJ-en LEGEDIA ETA ERABILERA

2019an Europar Batasunak Itun Berde Europarra (*Green Deal*) aurkeztu zuen, zeinetan ekonomia garbi eta zirkular baterako trantsizioa sustatzeko ekintza-plana prestatu baitzen, biodibertsitatea berreskuratzeko eta kutsadura murrizteko helburuarekin. Hori dela eta, naturan oinarritutako soluzioak (NbS, *Nature based Solutions*) gero eta gehiago ari dira nabarmentzen. NbS-en helburua urbanizazio jasangarria lortzea, kaltetutako ekosistemak berreskuratzea eta klima-aldaketari aurre egitea da. Hortaz, HDSJ-ak NbS taldearen barruan sartzen dira, uraren kudeaketa jasangarria baitute helburu [33]. Halaber, aipatzekoa da Nazio Batuen Erakundeak 2030 Agendaren barruan definitutako Garapen Jasangarrirako 11. helburuarekin (Hiri eta Komunitate Jasangarriak) eta seigarrenarekin (Ur Garbia eta Saneamendua) aurrerapausoak emateko balio dutela HDSJ-ek [34]. Izan ere, sistema horiek kaleetako uraren bolumenaren eta kalitatearen kudeaketan lagundu dezakete.

Oro har, ezberdintasun nabarmena dago Europako herrialdeen artean HDSJ-en ezarpenari dagokionez. Erresuma Batua, eta batez ere Eskozia, izan zen HDSJ-en aitzindari nagusia [1]. Espainiari dagokionez, nahiz eta

ikerketa berriek dioten HDSJ-ak berrikuntza gisa edo uraren kudeaketa jasangarriago baterako trantsizio-tresna moduan har daitezkeela [35], oraindik ez dira HDSJ asko ezarri. 2019an «*Guías de Adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible*» argitaratu zuen Trantsizio Ekologikorako Ministerioak, eta han uholdeak saihesteko tresna gisa aurkeztu ziren HDSJ-ak, betiere gomendio gisa. Euskal Autonomia Erki-degoan (EAE), «Hirigintza-planteamenduak iraunkortasun-irizpidez erai-kitzeko eskuliburu» idatzi zuen EUDELeK. Euskadiko Udalen Elkar-teak [36]. Eskuliburu horretan, HDSJ-ei erreferentzia legalik egiten ez bazaie ere, hirigintza jasangarri baterako irizpideak eskaintzen dira.

Beren ezarpenari erreparatuz gero, 2003an, Madriliko Gomeznarro Parkean ezarri zen lehenengo HDSJ sistema. Hango lur iragazgaitz guz-tia zoladura iragazkorrarekin ordezkatu zen, isurketa-urak kontrolatu eta ur hori ureztatze-sistemetan erabiltzeko. Bartzelonan, 2005ean eraiki zen lehenengo HDSJ sistema, Torre Baró auzoan [37]. EAERI begirata, 2007an ezarri zen lehen infiltrazio-sistema, Donostiako Kristina Enea par-kean, eta aurrerago, 2014an, Gasteizko Gasteiz Hiribidean zoladura ira-gazkorra ipini zen. Bi hamarkada geroago, HDSJ-ak gero eta ezagunagoak dira hirietako politikarientzat [38].

EAEko herri batzuetan ere saiatu dira HDSJ-en aldeko apustua egiten. Amurrio, Balmaseda eta Legazpi herriek LIFE Good Local Adapt izeneko proiektu batean hartu zuten parte, 2017 eta 2021 artean. Beste zenbait ekin-tzarekin batera, Legazpiko San Ignazio auzoko aparkaleku batean zoladura iragazkorra ipini zuten eta iragazitako ura jasotzeko ur-biltegi bat eraiki zuten. Bestalde, Martuteneko Txominenea urbanizazioan zoladura iragaz-korra ipini zuen Donostiako Udalak eta Euskal Herriko Unibertsitateak (UPV/EHU) ikerketa-eremu gisa erabiltzen du.

### **5.1. Legazpiko HDSJ**

Legazpiko San Ignazio auzoan HDSJ konbinatu bat ezarri zen 2020an, zoladura iragazkorra, eta bioerretentzio-gunea eta ur-biltegia hartzen ditu barnean (ikus 8. irudia). Zoladura iragazkorra hormigo porotsuz osatua da, eta euri-uren jatorria kontrolatzeko sistema gisa jotzen du, uholde-ara-zoak murriztuz eta infiltratzen den uraren kalitatea hobetuz (8. irudia, a eta b). Zoladuratik infiltratzen den ura azpian dagoen ur-biltegi bideratzen da eta han metatzen da (8. irudia, c eta d). Biltegi hori polipropileno indar-tuzko mintz iragazgaitz batez osatuta dago. Nahiz eta gaur egun ez den ho-rretarako erabiltzen, biltegi ura berrerabiltzeko aukera egongo litzateke, adibidez Legazpiko gune berdeak ureztatzeko. Gaur egun, zoladura iragaz-korrak eta biltegiak uholdeak kontrolatzen laguntzen dute. Azkenik, bio-erretentzio-guneak zoladuran zehar tartekatu ziren lurzoru-eremu karratuak dira, zeinetan zuhaitzak landatu baitziren eta infiltrazio-sistema gisa joka-

tzen baitute. 8. irudiko a. atalean lana amaitu berritan gunea nola geratu zen ikus daiteke, eta b. atalean handik bi urtera bioerretentzio-eremuetan zuhaitzak ikus daitezke [39].



(a)



(b)



(c)



(d)

**8. irudia.** Legazpiko HDSJ gunea: (a) zoladura iragazkorra eta bioerretentzio-guneak, ipini berritan; (b) aparkalekuaren gaur egungo argazkia; (c) ur-biltegiaren gaineko parkea; eta (d) ur-biltegia. (a. eta d. [39]-tik hartua).

## 5.2. Donostiako Txomineneako HDSJ

Donostiako Txominenea auzoan zoladura iragazkorrez osatutako aparkalekua eraiki zen 2018an, Donostiako Udalaren eta Euskal Herriko Unibertsitatearen (UPV/EHU) arteko lankidetzan (ikus 9. irudiko a atala). Han hiru eremu daude: lehenengo eremuan ez dago zoladura iragazkorrik eta kontrol-gune gisa erabiltzen da, zoladura iragazgaitzaren datuak lortzeko. Beste bi eremuetan zoladura iragazkorra dago, eta azpian geotestila eta legar-geruza ditu. Bi eremuak antzekoak dira, baina bien arteko ezberdintasuna da batean plastikozko gelaxka batzuk ipini direla beste geruzen azpian, ura biltzeko gaitasunean duen eragina aztertzeko asmoarekin [21].

9. irudiko b atalean zoladuraren azpiko arketa ikus daiteke, non hiru gune ezberdintzen baitira, eta bakoitzak jatorri ezberdineko isurketa-ura jasotzen du. Ezkerrekoak gainazaleko isurketa-ura jasotzen du, eta erdikoak nahiz eskuinekoak HDSJ-tik pasatako isurketa-ura jasotzen dute. Eskuineko bi ubideek ur gardenagoa daramatela dirudien arren, garrantzitsua li-

tzateke kalitatearen konparaketa hori kuantifikatzea gunearen monitorizatu izateko gaitasuna baliatuz.



(a)



(b)

**9. irudia.** (a) Donostiako Txomineneako zoladura iragazkorraren kanpoko itxura. (b) Zoladuraren azpian isurketa-ura jasotzen duten ubideak ([21]-tik hartutako argazkia).

## 6. ONDORIOAK

Ikerketen arabera, Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak tresna interesgarriak izan daitezke isurketa-urekin sortutako arazoak murrizteko; izan ere, batetik gainazaleko ur-bolumena eta abiadura murrizteko egokiak izan daitezke, eta bestetik, kutsatzaileen kontzentrazioa murrizten lagundu dezakete. Kutsatzaileak murrizteko, kontuan izan behar da kutsatzaile horiek partikuletan adsorbatuta edo uretan disolbatuta egon daitezkeela, eta horregatik garrantzitsua da bi formak murrizteko metodoak prestatzea. Ikerketa batzuek dekantazio-etapa eta iragazketa-etapa proposatzen dituzte, lehena partikulak ezabatzeke eta bigarrena disolbatutako nahiz partikuletan adsorbatutako kutsatzaileak murrizteko. Horrekin batera, ikerketetan aipatzen da ondo legokeela metodo fisiko eta kimikoei desnitrifikazio-prozesuak ahalbidetzeko guneak gehitzea, nitratoak murrizteko. Bioerretentzio-sistemek horretarako aukera eman dezakete, eta horrenbestez, pentsa daiteke zoladura iragazkorra eta bioerretentzio-sistemak konbinatzen dituen sistema bat ezartzea eraginkorra izan daitekeela isurketa-uretako kutsatzaileak murrizteko.

Orain arteko ikerketa gehienetan, HDSJ-ek, eta batez ere zoladura iragazkorrek, isurketa-uren bolumenean sor dezaketen abantaila ebaluatu izan da nagusiki, eta ikerketa gutxiago daude uraren kalitateari erreparatzen diotenak. Gainera, ikerketa gehienak laborategiko saiakuntzetan oinarritzen dira, eta jakina da laborategiko simulazioetatik neurketa errealetera aldaketak egon daitezkeela, eskala-aldaketan zein logistikoki sor daitezkeen ara-



zoak direla eta. Donostiako Txomineneako ikerketagunea aukera ona izan daiteke HDSJ-ek kalitatearen ikuspegitik izan dezaketen eraginkortasuna ondorioztatzeko, zeren eta sistema horiek zeharkatu aurreko eta ondorengo isurketa-uren kalitatea aztertzea ahalbidetzen baitu, tokiko neurketa esperimentalen bidez. Legazpiko HDSJ guneak ere sistemaren eraginkortasuna ebaluatzeko aukera eman dezake, gainazaleko isurketa-uraren eta ur-biltegi-uraren kalitatea konparatuz.

## ESKER ONAK

Lan honek UPV/EHUko Campus Bizia Lab Programaren diru-laguntza jaso du, EHUsuds izeneko proiektuaren bidez; Ainhoa Lekuonak, berriz, UPV/EHUK emandako doktorego aurreko beka eskertu nahi du. Bestalde, ikertzaileek Donostiako eta Legazpiko Udalari ere eskerrak eman nahi dizkiote zoladura iragazkorren ikerketan emandako laguntza guztiagatik.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CIRIA. 2015. «The SuDS Manual C753».
- [2] MADEREY RASCÓN, L. 2005. «Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico». *Instituto de Geografía*.
- [3] ARYAL, R., VIGNESWARAN, S., KANDASAMY, J., NAIDU, R. 2010. «Urban stormwater quality and treatment». *Korean Journal of Chemical Engineering*, **27**, 1343-1359.
- [4] ESPAINIAKO TRANTSIZIO EKOLOGIKORAKO MINISTERIOA. 2019. *Guías de Adaptación Al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*.
- [5] ERIKSSON, E., BAUN, A., SCHOLE, L., LEDIN, A., AHLMAN, S., REVITT, M., NOUTSOPOULOS, C., MIKKELSEN, P. S. 2007. «Selected stormwater priority pollutants - a European perspective». *Science of the Total Environment*, **383**, 41-51.
- [6] FU, F., WANG, Q. 2011. «Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review». *Journal of Environmental Management*, **92**, 407-418.
- [7] HUMPHREY, J., ROWETT, C., TYERS, J., GREGSON, M., COMBER, S. 2021. «Are sustainable drainage systems (SuDS) effective at retaining dissolved trace elements?». *Environmental Technology (United Kingdom)*, **44**, 1450-1463.
- [8] ROMMEL, S. H., STINSHOFF, P., HELMREICH, B. 2021. «Sequential extraction of heavy metals from sorptive filter media and sediments trapped in stormwater quality improvement devices for road runoff». *Science of The Total Environment*, **782**, 146875.
- [9] MANQUIZ-REDILLAS, M. C., KIM, L. H. 2016. «Evaluation of the capability of low-impact development practices for the removal of heavy metal from urban stormwater runoff». *Environmental technology*, **37**, 2265-2272.

- [10] PLA, C., BENAVENTE, D., VALDES-ABELLAN, J., JODAR-ABELLAN, A. 2021. «Recovery of polluted urban stormwater containing heavy metals: Laboratory-based experiments with arlita and filtralite». *Water (Switzerland)*, **13**, 780.
- [11] BHUP, KUMAR, E., VERMA, V., GAUR, R., KUMAR, S., SHARMA, C., AKOLKAR, A. B. 2014. «Validation of HPLC method for determination of priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in waste water and sediments». *Advances in Applied Science Research*, **5**, 201-209.
- [12] BECHTER, I. n.d. «MASTER'S THESIS Polycyclic aromatic hydrocarbons in stormwater ponds Assessment of removal efficiency and monitoring methods».
- [13] PRABHUKUMAR, G. K., PAGILLA, P. E. 2010. «Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Runoff-Sources, Sinks and Treatment: A Review».
- [14] WALLER, D. H., HART, W. C. 1986. «Solids, Nutrients, and Chlorides in Urban Runoff».
- [15] YANG, Y. Y., LUSK, M. G. 2018. «Nutrients in Urban Stormwater Runoff: Current State of the Science and Potential Mitigation Options». *Current Pollution Reports*, **4**, 112-127.
- [16] SAMPLE, D. J., GRIZZARD, T. J., SANSALONE, J., DAVIS, A. P., ROSEEN, R. M., WALKER, J. 2012. «Assessing performance of manufactured treatment devices for the removal of phosphorus from urban stormwater». *Journal of Environmental Management*, **113**, 279-291.
- [17] TAYLOR, G. D., FLETCHER, T. D., WONG, T. H. F., BREEN, P. F., DUNCAN, H. P. 2005. «Nitrogen composition in urban runoff—implications for stormwater management». *Water Research*, **39**, 1982-1989.
- [18] ZHANG, J., HUA, P., KREBS, P. 2017. «Influences of land use and antecedent dry-weather period on pollution level and ecological risk of heavy metals in road-deposited sediment». *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, **228**, 158-168.
- [19] BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L., CHEBBO, G., SAGET, A. 1998. «Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon». *Water Research*, **32**, 2341-2356.
- [20] KAYHANIAN, M., FRUCHTMAN, B. D., GULLIVER, J. S., MONTANARO, C., RANIERI, E., WUERTZ, S. 2012. «Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications». *Water Research*, **46**, 6609-6624.
- [21] MADRAZO URIBEETXEBARRIA, E., GARMENDIA ANTÍN, M., MEAURIO ARRATE, M. 2022. «Zoladura iragazkorak hirietako drainatze sarean txertaturiko elementu gisa». *EKAIA EHUko Zientzia eta Teknologia aldizkaria*.
- [22] MANQUIZ, M. C., LEE, S., KIM, L. H. 2010. «Multiple linear regression models of urban runoff pollutant load and event mean concentration considering rainfall variables». *Journal of Environmental Sciences*, **22**, 946-952.
- [23] DELPLA, I., BAURÈS, E., JUNG, A. V., THOMAS, O. 2011. «Impacts of rainfall events on runoff water quality in an agricultural environment in temperate areas». *The Science of the total environment*, **409**, 1683-1688.

- [24] MANQUIZ, M. C., LEE, S. Y., KIM, L. H. 2010. «Long-term monitoring of infiltration trench for nonpoint source pollution control». *Water, Air, and Soil Pollution*, **212**, 13-26.
- [25] HERNÁNDEZ-CRESPO, C., FERNÁNDEZ-GONZALVO, M., MARTÍN, M., ANDRÉS-DOMÉNECH, I. 2019. «Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements». *The Science of the total environment*, **684**, 303-313.
- [26] KIM, H., SEAGREN, E. A., DAVIS, A. P. 2003. «Engineered bioretention for removal of nitrate from stormwater runoff». *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*, **75**, 355-367.
- [27] DRAKE, J. A. P., BRADFORD, A., MARSALEK, J. 2013. «Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge». *Water Quality Research Journal of Canada*, **48**.
- [28] SAMBITO, M., SEVERINO, A., FRENI, G., NEDUZHA, L. 2021. «A Systematic Review of the Hydrological, Environmental and Durability Performance of Permeable Pavement Systems». *Sustainability*, **13**, 4509.
- [29] KURUPPU, U., RAHMAN, A., RAHMAN, M. A. 2019. «Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion». *Environmental Earth Sciences*, **78**, 1-20.
- [30] SIDEK, L. M., MOHIYADEN, H. A., HARIS, H., ALI, W., TAKAIJUDIN, H., YUSOF, K. W. 2021. «The Role of Bioretention Plant on Nutrient Removal of Stormwater Runoff». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **721**, 012015.
- [31] SIDEK, L. M., MOHIYADEN, H. A., HARIS, H., VENKATA, P., REDDY, K., KUMAR, P., JOHN, S., STUDENTS, M. 2021. «Development of a bio-retention system for urban storm water management». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **889**, 012075.
- [32] GERONIMO, F. K. F., MANQUIZ-REDILLAS, M. C., KIM, L. H. 2015. «Fate and removal of nutrients in bioretention systems». *Desalination and Water Treatment*, **53**, 3072-3079.
- [33] HATTUM, T., BLAUW, M., BERGEN JENSEN, M., DE BRUIN, K. 2016. «Towards Water Smart Cities : climate adaptation is a huge opportunity to improve the quality of life in cities». *Uniwersytet śląski*, **7**, 343-354.
- [34] UNITED NATIONS. 2015. «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development».
- [35] PERALES-MOMPARLER, S., ANDRÉS-DOMÉNECH, I., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., VALLÉS-MORÁN, F., MARTÍN, M., ESCUDER-BUENO, I., ANDREU, J. 2017. «The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain». *Journal of Cleaner Production*, **163**, S113-S124.
- [36] EUSKO JAURLARITZA. 2005. *Hirigintza-Planeamenduak Iraunkortasun-Irizpidez Idazteko Eskuliburua*.

- [37] CASTRO-FRESNO, D., ANDRÉS-VALERI, V. C., SAÑUDO-FONTANEDA, L. A., RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J. 2013. «Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements». *Water*, **5**, 67-93.
- [38] ANDRÉS-DOMÉNECH, I., ANTA, J., PERALES-MOMPARLER, S., RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J. 2021. «Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis». *Sustainability*, **13**, 2791.
- [39] C-lab |, <https://goodlocaladapt.com/> (2023ko martxoan eskuratuta).