

# Klimaren seinale hidrologikoak EAEko arroetako ur-emarien joeretan. Gerora begirako proiektzio hidrologikoak

*Ane Zabaleta, Iñaki Antigüedad*

Hidrogeologia eta Ingurumena Ikertaldea. Geodinamika Saila  
Zientzia eta Teknologia Fakultatea (UPV/EHU)

**Laburpena:** Nolakoa izango gure inguruko ibaien ur-emarien bihar-etziko bilakaera? Goranzkoa, beheranzkoa ala joera argirik gabekoa? Eta urtaro bakoitzean bilakaera bera izango ote? Galdera hauei erantzuna ematea ez da batere erraza, hamaika zalantzazko baitira. Ausartu behar, hala ere, ur-emarion bilakaeraren noranzkoa behintzat argitzen, bihar-etzi gure lurraldean izan daitezkeen egoera hidrologikoetarako hurbilketa bat egiten. Helburu hori izanda ere, abiapuntua iraganera begiratzea izan da. Azken hamarkadetako emari serieak aztertu ditugu, estatistikoki, horietan joerarik ote den jakite aldera. Horrela, ondorioztatu dugu azken urteetan gero eta lurralde-homogenizazio handiagoa dagoela emari tarte guztien bilakaeran (batez bestekoenean eta muturrekoenean); beheko emari aldia udan eta udazkenean luzatuz doa, eta goiko emari aldia, ordea, neguan eta udaberrian luzatzen ari da. Beste modu batera esanda, urtean zehar hidrograma zabalduz doa muturretan. Ibai-arroen zonalde mailako portaera hau klimaren aldaketa baten seinale hidrologikotzat har daiteke. Orain arteko bilakaera honek datozen urteetako baldintzatuko du. Bestalde, modelo hidrologikoak erabiltzen hasi gara hainbat arrotan, XXI. mendean zehar izan litezkeen bilakaerak simulatzeko. Horretarako eskura dauden hainbat klima-proiektzio eta hainbat igorpen-egoera hartu ditugu oinarri, zalantzak zalantza. Ondorioak bat ez etorri arren, batez besteko ur-emarien gutxitze progresiboa igartzen da gehienetan, udan gehiago beste urtaroetan baino; udaberria suertatzen da definitzen zailena. Hortaz, 2060rako adibidez, % 7-22 arteko gutxitzea aurreikusten da Aixola arroburuko urteko ur-ekarpenetan. Arretaz irakurtzeko datuak dira, inondik ere, oraindik asko baita ikerketan sakontzekoa. Edonola ere, bihar-etziko ur-emarien bilakaera kliman izan daitezkeen gorabeherek ez ezik lurren erabileran izan daitezkeen aldaketek ere baldintzatuko dute, eta azken hauek gehiago epe motz-ertainean. Honetaz ere hainbat datu eta gogoeta bildu ditugu lanaren azkeneko partean.

**Abstract:** What kind of evolution can be expected in the forthcoming years in the water discharge of the rivers around us? Will upwards, downwards or no clear trend be noticed? Answering these questions is not an easy task if the many uncertainties underlying them are considered. In any case, it is necessary to clarify, at least, the direction of the evolution of streamflow, to make an approach to the possible future hydrologic scenarios of our region. With that aim the starting point has been looking to the

past. Discharge series from the last decades have been analysed to determine if there is any significant trend on them. The conclusion has been that in the last years there is an increasing regional homogenization in the evolution of discharge (average or extreme); low flow period is becoming longer during summer and autumn as well as happens with the high flow period during winter and spring. This involves a longer time for extreme discharges to remain into the annual hydrograph, which can be understood as a reinforcement of the amplitude of the hydrograph. These regional observations have to be taken into account as hydrological signs of the climate change. Future evolution depends on the past one. Besides, hydrological modeling has been applied in several catchments in order to simulate evolution of discharge during the 21<sup>st</sup> century. With that objective, available climatic projections and emission scenarios have been used, with all uncertainties associated to them. Even if not all the results come along, it seems that average discharge will progressively decrease, more in summer than in other seasons, being spring the one with the most variable results. With this approach a decrease of 7-22% can be expected in the annual water discharge of the Aixola head-water catchment. These data have to be considered cautiously as much research is yet to be done in this sense. In any case, the forthcoming evolution of water discharge depends not only on changes in climate but also on changes in landuse; the latter will have a higher influence in the short-coming period. Several data and reflections about the influence of landuse in water resources have been included at the end of this paper.

Uraren dinamika ezagutzea funtsezkoa gertatzen zaigu ikerlari modura, ibai-arroan izan, akuiferoan izan, hezegunean izan ... Azken aldian, baina, «klima-aldaketa» ageri da, dinamika horren bihar-etziko baldintzatzaile dudazkoa. Sarri hitz egiten da hedabideetan klima-aldaketaz, eta ez beti zuzen. Ez dugu kontu hori hemen sakonki jorratuko. Kontzeptuak argitze aldera, ordea, esan dezakegu gauza bat dela klimak berez duen aldakortasun naturala, eta beste gauza bat dela giza jardueren ondorioz kliman eragiten ari garen aldaketa; azken honi esaten diogu egun «klima-aldaketa». Artikuluan klimaren aldaketaz ari garenean ez dugu normalean jorratzen aldaketaren eragilea, eta «klima-aldaketaz» propio hitz egiten dugunean, esan egiten dugu. Edozein kasutan, aldaketaren eragilea bata edo bestea izanda, eragina izan dezake ibaietako emarien bilakaeran. Eta hauxe da, hain justu izan ere, artikulu honetan jorratu nahi duguna. Hortaz, Euskal Autonomia Erkidegoko ibai-arroak hartu ditugu ikerketarako oinarri.

Lana zati bitan banatu dugu, helburuak diferenteak direla. Lehenik eta behin, atzera begiratu dugu, iraganera, eta azken urteetako eguneko emari serieak estatistikoki aztertuta, nondik ote gatoz? galdera erantzun nahi izan dugu, datozen lehenengo hamarkadetan, behintzat, gure arroetan izango diren emari bilakaerak iragan hurbileko bilakaerek beraiek baldintzatuko baitituzte gehien, kliman aldaketa izan edo ez. Hortaz, emari serieen jorak aztertuko ditugu, urteko zein urtaroko eskaletan, eta indarra arroen jokamolde komunenean jarri ere, lekuan lekuko jokamolde ezohikoak oraingoan bazter utzita. Beraz, klimaren joera baten ondorio izan daitezkeen

zonalde mailako seinale hidrologikoak ateratzea izan da helburua, gure Erkidegoaren eskalan beti ere. Honaino lehenengo zatia: emari serieen joerak.

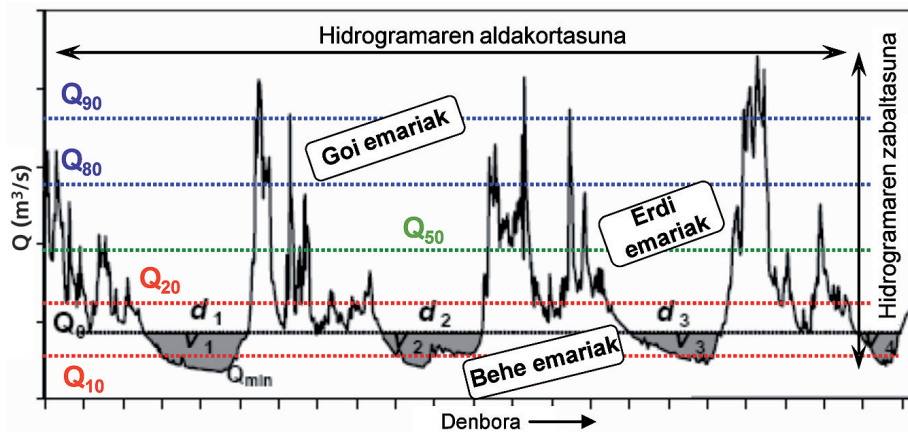
Bigarren zatian, ordea, gerora begira jarri gara, XXI. mendean zehar gure lurraldean izan daitezkeen egoera desberdinetan ur-emarien bilakae-rak aurreikuste aldera. Bide honetan beharrezkoa dugu modelo hidrologi-koak erabiltzea. Eta horixe egin dugu Aixola arroburuan (Deba arroan), eta hortik ateratako emaitzak eman eta aztertu ditugu. Hala ere, gaiaren kon-plexua argitzeko asmoz, eta dibulgazioaren izenean, gerora begirako aurrei-kuspenez izaten dituzten zalantzazkoak aurkeztu ditugu lehenago, gerokoa-ren argigarri. Gogoeta egin dugu egoerei buruz ere, azken batean klimaren aldaketek ez ezik, lur-erabilpenaren aldaketek ere baldintzatuko baitituzte. Hortaz, klima eta lurralde esparruetan gertatuko da biharko emarien bila-kaera, eta horrek merezi izan du bigarren zati honetan luzatzea, bibliografia eta gure errealitatea uztartuz. Beti ere, eman beharreko beste urratsen abia-puntu izango dugu hau.

## 1. EMARI SERIEEN JOERAK

### *Oinarrizko ikuspegia*

Euskal Autonomia Erkidegoan (EAE) emarien kontrol aldi luzea duten ibai-arroen eguneko emari serieak aztertu ditugu, serieotako denboran zehar-reko joerak atzemate aldera. Bide honetan, antzeko azterketetan ohikoa den Mann-Kendall test ezparametrikoa erabili da, joeraren izaera goranzkoa edo beheranzkoa ote den finkatzeko, eta joera gertatzeko probabilitatea (signifi-kantzia) bera ere argitzeko. Joeren azterketa estatistiko hau urteko eta urte sa-soiko eskaletan egin da ibai-arro bakoitzean, emari serieak pertzentil desber-dinetan banatu ondoren (Q50, batez besteko emariak; Q90, Q80, Q20, Q10, muturreko emariak). Lan honetarako IPCC-k (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, [1]) lehenesten dituen irizpideak hartu ditugu kontuan.

Emari serieak pertzentiletan zatitzea dugu funtsezko abiapuntua az-terketa honetan. Izan ere, urte tarte luzeko emari serie batean urteko batez besteko emariaren denboran zeharreko joera ezagutzea oso garrantzitsua bada ere, gerora egin beharreko proiektzioei begira, kasurako, hori bezain garrantzitsua da muturreko emarien joerak berak ere ezagutzea, hau da, goiko eta beheko emariena ezagutzea. Azken batean, emarien bilakaerak desberdinak izan daitezke, emaria batez bestekoa izan, gehienezkoa izan edo gutxienezkoa izan. Izan ere, emari tarte bakoitzarenak bere eraginak ditu: ur-baliabideetan batez besteko emaria da gakoa, ur-goraldietan goiko emariak, ur-agortean eta ur-masen kalitatean beheko emariak... Hortaz, hidrograma (1. irudia) osatzen duten emari tarte guztien denboran zehar-reko joera ahalik eta ondoen ezagutzea nahitaezkoa da datozen hamarka-detan gerta litekeena ulertzera hurbilduko bagara.



**1. irudia.** Hidrogramaren emari tarteak eta tarteon joerak aztertzeko erabili diren pertzentilak. Behe emarien iraunaldia (egun,  $d$ ) eta larritasuna (bolumen-defizita,  $v$ ) ageri da.

Horregatik, elkarren ondoan jarri ditugu azterketa honek batez besteko emarian duen interesa eta muturreko emarietan duena; hidrograma bere zabaltasun osoan ulertzeko asmoz egin dugu hori. Hala ere, arretaz aztertu behar dira emarien denboran zeharreko joerak. Izan ere, batez besteko emarien joera argi bat klima-aldakortasunari edota lur-erabilpeneko aldaketa bati lot dakioko, eragile-ondorio erlazioan. Baina goiko eta beheko muturreneko emarien kasuan kontuan hartu behar da datuak zalantzarazkoak izan daitezkeela, unean uneko gertaerek txartu egin baitezakete emari datua; goraldi handien puntako emariak zalantzarazkoak dira batzuetan urak aforo-estazioa gainezkatu egiten duelako, eta agorte larriko emari datuak zalantzarazkoak dira batzuetan giza jarduerak (ibaitiko ponpaketa, ibairako isurketa) eraginda egon daitezkeelako. Hortaz, muturreko emarien azterketan muturreneko datuekin baino askoz egokiagoa da pertzentilekin lan egitea. Autore batzuek [2] diotenez «*Less attention is given to extremes, especially droughts. Amongst the reason are that extremes are especially prone to man-made environmental changes and also more vulnerable to measurement errors. Detected trends are therefore more difficult to relate to changes in climate*».

Edozein kasutan, modu orokorrean esan dezakegu goiko emarien bila-kaeran eragin handiagoa ohi dutela klimaren gorabeherak lur-erabilpeneko aldaketek baino; beheko emarienean, ordea, eragin handiago ohi dute azkeneko aldaketa hauek. Gogora dezagun honen harira Eusko Jaurlaritzaren Ur Zuzendaritzak [3] zioena: «*Ese es, quizá, el principal reto futuro: alcanzar una ordenación del territorio en la que el agua, sus ecosistemas y el respeto a su dinámica constituyan un elemento tutelar fundamental y*

*un factor imprescindible para su definición».* Hori horrela, etorkizuneko erronka nagusia ura (ekosistemak eta dinamika) lurralde-antolaketaren oinarritzko eta ezinbesteko osagaia hartzea bada, emari-joeraz ari garenean eragile biak hartu behar ditugu kontuan, bakoitza bere esparruan: klima eta lur-erabilpena.

Berez, erantzun hidrologikoaren (hidrograma) denboran zeharreko aldakortasuna ez ezik emarien zabaltasuna ere (muturreko emarien artekoa) hartu behar da kontuan, zalantzasak zalantzaszko (horretara doa signifikantzia). Izan ere, egindako ikerketek erakutsi dute modelo hidrologikoek ematen dituzten emari datuak muturreko emarien kasuan batez bestekoen kasuan baino urutiago daudela behatutako datuetatik. «*Results highlight limitations in the common use of mean river discharge as a measure of the response of hydrological systems to climate change and freshwater availability. The catchment-scale studies show that reporting hydrological change in terms of mean river discharge, as is commonplace, can mask considerably greater changes in intra-annual (seasonal) low and high flows which are of fundamental importance to water management and our understanding of freshwater availability*» [4]. Emaitzek agerian uzten dute sistema hidrologikoek klima-aldaketari ematen dioten erantzuna ikertzerako orduan urteko batez besteko emariaren erabilera oso mugatua dela, ezkutuan gera daitezkeelako uraren kudeaketan hain garrantzitsuak diren urtearen baitako (urte sasoiak) goi eta behe emarrietan gerta daitezkeen aldaketak.

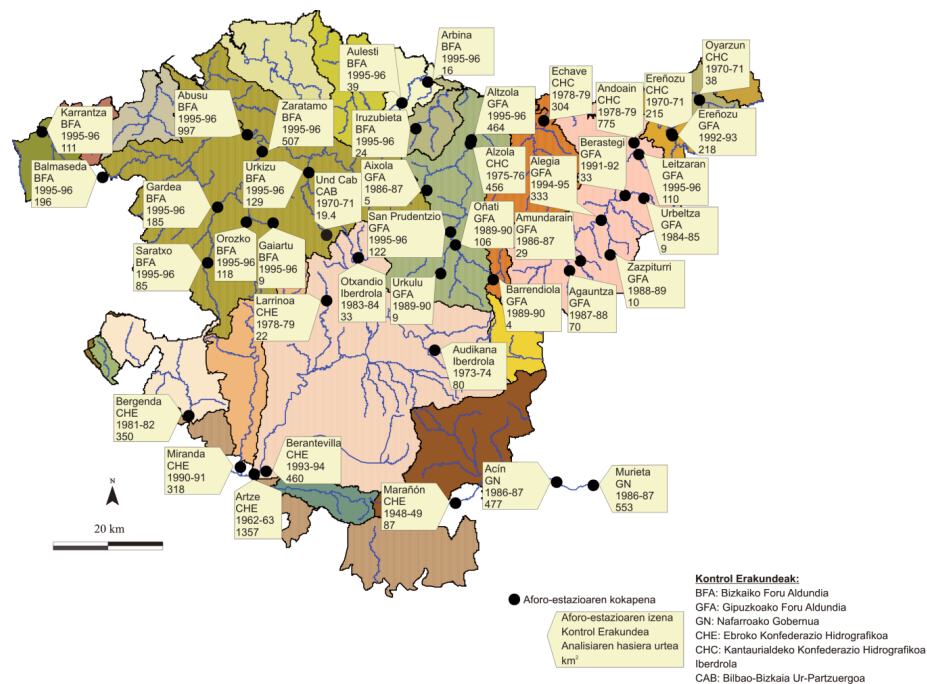
Esan bezala, eguneko emarien serieak hartu dira azterketarako oinarri, eta horietan izan daitezkeen joerak azterketaren helburu. Hartutako eguneko eskala hori egokia da halako azterketa baterako. Izan ere, eskala zabalagoa hartu izan balitz, hilekoa kasuko, sinplistegia suertatuko zatekeen ondorioa, eta eskala estuagoarekin, konplexuegia, ordukoa kasuko. Kontuan hartu behar da ezen eskuragarri izan ditugun emari serieak eguneko datuak izan direla. Bestalde, urteko eta urte sasoiak eskaletan diren joerak atzema-tea dugu helburu, jakinda ere joeron eragile bakarra ez dela zertan klimaren aldakortasuna izan, lur-erabilpenean emandako aldaketek beraiek ere eragin baitezakete joera bat emarrietan. Eragile bat edo bestea izanda ere, emari tarteetan joerak izateak berebiziko garrantzia dauka ibai-arroen kudeaketan. «*From the water management and flood control perspective any persisting trend in streamflow are important, especially those affecting extreme events*» [5]. Egile hauek esan bezala, mantentzen diren joera oro interesatzen zaizkigu, baina goiko emari tarteetan ez ezik, uholdeak areagotzeko posibilitateari begira, beheko emari tarteetan bertan ere. Izan ere, agorte garaian gertatzen da ibai-uren kalitateak txarrera egiteko posibilitate handiena, eta ezin ahaztu uraren eta ibai-ekosistema osoaren kalitatea lehengoratzeko delako Europako Uren Zuzentarau Markoaren [6] helburu nagusienetariko bat.

Edonola ere, azterketaren lehen fase honetan klima-aldakortasunaren seinale izan daitezkeen emarien joerak interesatzen zaizkigu gehien, eta

horrexegatik erreparatu diogu nagusiki EAEko lurraldeetako ibai-arroetan ohikoena eta zabalduena den emari-jokamoldeari; izan ere, lur-okupazioek (baso-soiltzea, basotzea, pinu-landatzea, belardi-zabaltzea...) badute eragirik emarietan, gure lurraldean berrikitan egindako ikerketak argitzera eman duen bezala [7]; hala ere, okupaziook eredu komuna ez dutenez arro guztietan ez da espero horien eragina norabide berekoa izatea gure lurraldean zabal, arro batzuen jokamoldean kontuan hartzeko eragina balitz ere. Hor-taz, lurraldean zehar orokorra den horretara goaz, klimaren aldakortasunaren seinale hidrológico bila.

### Aztertutako emari serieak

Ikerketa honetan, erakundeaz erakunde bildu ditugun eguneko emari serieak landu ditugu. Guztira 42 aforo-estazio izan dira, gehien-gehienak Euskal Autonomia Erkidegoan, baina gutxi batzuk Nafarroako Foru Komunitatean ere; 1. taulara bildu dira estazioon ezaugarriak, eta 2 irudira haien kokapena. Estazioak urte-luzera desberdineko taldetan bildu dira, eskuan izandako datuen kalitatearen arabera (3. irudia): 12 urte (1995-2007), 42 estazio, EAE osoa hartzen dutenak; 20 urte (1987-2007), 18 estazio; 34 urte (1973-2007), 6 estazio.



### 2. irudia. Kontuan hartu diren aforo-estazioen kokapena.



*Klimaren seinale hidrologikoak EAeko arroetako ur-emarien joeretan.  
Gerora begirako proiektzio hidrologikoak*

**1. taula.** Emari serieen jatorri diren aforo-estazioak: kodea, izena, kontrol-erakundea, drainatutako azalera, X eta Y koordinatuak, eta emari seriearen hasierako urte hidrologikoa.

Kodea	Izena	Erakundea	Azalera	X	Y	Urtea
C2Z1	Agauntza	GFA	69.64	567111	4763165	1987-88
A2Z1	Aixola	GFA	5.03	540642	4778125	1986-87
C5Z1	Alegia	GFA	333.34	573047	4772479	1994-95
A3Z1	Altzola	GFA	464.25	548980	4787513	1995-96
C3Z1	Amundarain	GFA	28.82	569269	4764882	1986-87
B1T1	Barrendiola	GFA	3.80	552943	4761455	1989-90
C7Z1	Berastegi	GFA	33.34	577553	4777108	1991-92
D2W1	Ereñozu	GFA	218.42	586314	4788243	1992-93
C8Z1	Leitzaran	GFA	110.01	580084	4784631	1995-96
A1Z2	Oñati	GFA	105.78	545877	4767884	1989-90
A1Z1	San Prudentzio	GFA	121.78	545076	4770205	1995-96
C7S1	Urbeltza	GFA	9.00	580900	4776535	1984-85
A1Z3	Urkulu	GFA	9.00	543083	4762461	1989-90
C5X1	Zazpiturri	GFA	9.83	574639	4766121	1988-89
NB05	Abusu	BFA	996.65	507125	4788280	1995-96
LE11	Arbina	BFA	16.07	540829	4798152	1995-96
LE01	Aulesti	BFA	38.88	535910	4794275	1995-96
KD01	Balmaseda	BFA	195.81	480305	4780500	1995-96
NB12	Gaiartu	BFA	9.25	511940	4771995	1995-96
NB02	Gardea	BFA	185.44	501699	4774940	1995-96
AR01	Iruzubieta	BFA	24.09	538590	4789520	1995-96
KR01	Karrantza	BFA	110.72	468980	4788860	1995-96
NB01	Saratxo	BFA	85.34	499825	4764620	1995-96
IB32	Urkizu	BFA	129.48	518620	4781370	1995-96
NB04	Zaratamo	BFA	506.57	509960	4785255	1995-96
NB11	Orozko	BFA	117.87	506971	4772047	1995-96
1103	Altzola	CHC	456.00	548747	4786678	1975-76
1080	Andoain	CHC	775.00	579197	4786842	1978-79
1109	Echave	CHC	304.00	562308	4790996	1978-79
1105	Ereñozu	CHC	215.00	586067	4788626	1970-71
1107	Oyarzun	CHC	38.00	591271	4794762	1970-71
9074	Artze	CHE	1357.00	508565	4725201	1962-63
9075	Berantevilla	CHE	460.00	510730	4725754	1993-94
9188	Bergenda	CHE	350.00	496368	4736158	1981-82
9221	Larrinoa	CHE	22.00	521977	4757535	1978-79
9006	Marañon	CHE	87.00	545858	4719917	1948-49
9165	Miranda	CHE	318.00	506002	4726492	1990-91
AN313	Acin	GN	477.40	564751	4723797	1986-87
AN314	Murieta	GN	553.10	571594	4723185	1986-87
H152	Audikana	Iberdrola	80.00	542140	4748300	1973-74
H153	Otxandio	Iberdrola	33.00	527925	4765525	1983-84
UNDC	Undurraga arrobura	CAB	19.40	521423	4770110	1970-71

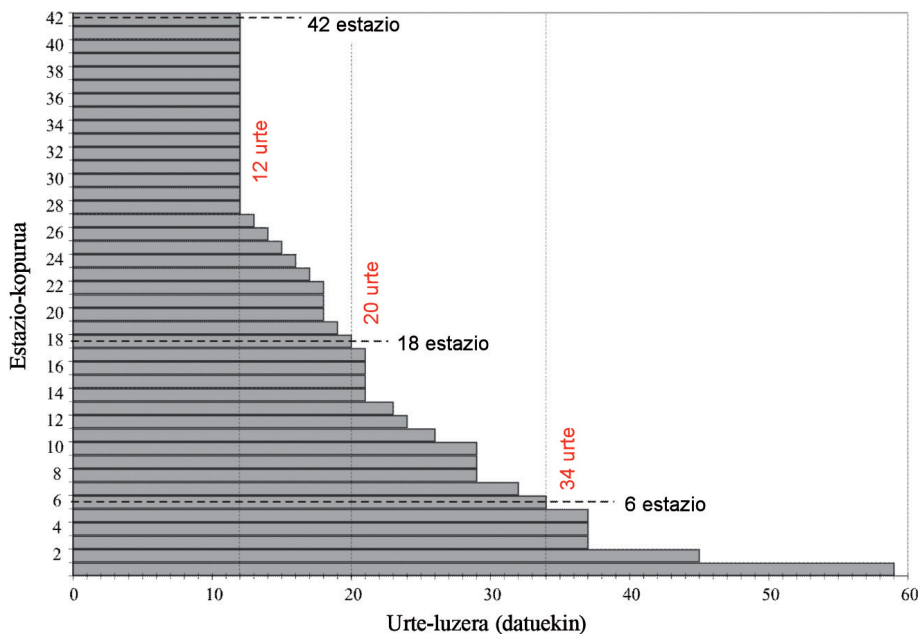
Oinarrizko ideia hau hartu dugu ikerketaren abiapuntu modura: azken hamarkadetan gertatu diren aldaketak (batez besteko edo muturreko emarietan) izango dira gaurtik hamarkada gutxi batzuetako egoeretan aurreikus daitezkeen aldaketak balditzatuko dituztenak. Aldaketon denborazko inertzia da horren arrazoa. Horrexegatik «nondik gatoz?» galderari ahalik eta ondoen erantzutearen arrazoa, «norantz goaz?» galderari erantzuten saiatu aurretik. Aurrekoa oso kontuan hartzekoa da; are gehiago, Uren Zuzentarau Markoak indarrean dauden Plan Hidrologikoek biltzen dituzten neurrietarako ezarritako lehenengo urte-muga 2027koa dela jakinda. Izan ere, orain arteko bilakaerak baldintzatuko bide ditu gehien urte-muga horri begira emarietan izan daitezkeen aldaketak.

Honen harira, oso argigarria suertatzen da autore batzuek adierazitakoa. «*The debate on climate variability and climate change relies heavily on the detection of trends, or lack thereof, in instrumental records of hydroclimatic variables such as air temperature, precipitation and streamflow*» [5]. Hau da, klima-aldakortasuna eta klima-aldaketari buruzko eztabaida airearen tenperatura, prezipitazioa eta emariak bezalako aldagaietan joerak edo joera falta antzematean datza. Edo «*the use of historical observations is an important tool for obtaining a clearer understanding of what the future will hold*» [8]. Azken baieztapen honek agerian uzten du etorkizuna ulertzeko behaketa historikoen erabileraren garrantzia, eta Europa zabaleko emari serieen azterketa batetik atera da. Azken batean, iragan hurbilari begira jartzea da geroak edo behintzat hurbileko geroak ekar dezakeena hobeto ulertzeko modurik onena.

Emari serieen azterketan garrantzi berezia eman nahi izan diogu behe emarien azterketari (Q20, Q10 pertzentilak). Izan ere, ur-ekosistemetan gerora gerta litezkeen inpaktuak aurreikusteko (1. irudia), bai ingurumenaren ikuspegitik, bai eta Europako Uren Zuzentarau Markotik ere, funtsezkoa da hidrogramaren beheko tartearen denboran zeharreko bilakaera ezagutzea. Hortaz, hau da gure interesekoa dena: beheko emarien iraunaldiaren joera, hau da, emariak urtez urte beheko pertzentil horietan egiten duen denbora, egunetan neurtua; bestalde, iraunaldi horren larritasunaren joera, hau da, urtez urteko denbora horri dagokion bolumen-defizita; eta azkenik, denbora horrek urte sasoiko deriba izan duen edo ez (kasurako, beheko emarien aldia udatik udazkenerantz mugitzea). Emari tarte honen azterketarako Erteuropan egindako lan bat [9] hartu dugu erreferentzia gisa; lan honetan gaitzetsi egiten da emarien azterketetan sarri beheko emariak («*the other tail of the streamflow*») kanpo utzi izana: «*hydrological drought, which has been a rather neglected phenomenon*».

Azkenik, kontuan hartzekoa da ur-emariak integratu egiten dituztela arroan zehar diren aldagai klimatikoetako aldaketen eraginak (prezipitazioa eta tenperatura, batez ere, lekuan leku erregistratuak). Hau da, emariak is-





**3. irudia.** Urte-luzera desberdinetako datu serie onak dauzkaten aforo-estazioen kopurua.

latzen dute ondoen arro osoaren erantzuna, arroan zehar suerta daitezkeen han-hemengo prozesu lekukoak arroaren irteeran (aforo-estazioan) integratuz. Hori horrela, emarien azterketak lagundu egiten du zehazten klima-aldakortasunaren seinaleak detektatzeko egokiak diren emari-adierazleak zein diren. Izan ere, zonalde mailako joerak antzematerako orduan, aldagai integratu bat izaki, emaria baliagarriagoa da denboran eta espazioan oso aldakorra den prezipitazioa bezalako neurri puntuala baino. «As a spatially integrated variable streamflow is more appealing for detecting regional trends than point measurements of precipitation which is highly variable in space and time» [5].

## Metodologia

### Mann-Kendall test ezparametrikoa

Yue eta Wangen lanean [10] jasotako erreferentzia anitzek agerian uzten dute serie hidrologikoen joerak aztertzean ohikoa dela Mann-Kendall test ezparametrikoa erabiltzea. Seriearen datuak ( $N$  datu) kronologikoki ordenatzen dira eta datu bakoitza ( $x$ ) erreferentziatzen hartuta, ondoren datuzen datu guztiekin konparatzen da, hauek baino txikiagoa edo handiagoa

zenbat aldiz den zenbatuz. Testaren estatistikoa, Kendallaren  $S$ , horrela kalkulatu da:

$$S = \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{j=k+1}^N \text{sign}(x_j - x_k) \quad \text{eta} \quad \text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & x_j > x_k, \\ 0 & x_j = x_k, \\ -1 & x_j < x_k. \end{cases}$$

non  $x$ ,  $j$  eta  $k$  denborei dagokien datua den (kasu honetan batez besteko emaria edota pertzentil jakin bati dagokion emaria).  $x$  balioak ausazkoak eta independenteak badira,  $S$ -k 0-rantz joko du. Bestalde,  $S$  handi eta positibo batek goranzko joera adierazten du, eta negatibo batek beheranzkoa.

$N$  (serie datuak) 10 baino handiagoa denean,  $Z$  estatistiko normalizatua erabiltzen da:

$$Z = (S - 1) / \sigma_S, \quad S > 0 \text{ denean,}$$

$$Z = (S + 1) / \sigma_S, \quad S < 0 \text{ denean,}$$

edo  $Z = 0$ ,  $S = 0$  denean.  $\sigma_S$  = bariantza teorikoa da.

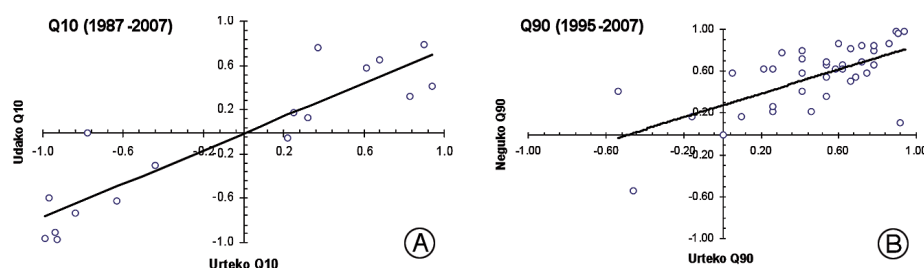
Joera bakoitzerako signifikantzia maila ( $0 < p < 1$ ) ere kalkulatu da.  $Z$ -ren balioa gera daiteke banaketa normala duten ausazko laginetatik kalkulatu diren balioen ehuneko jakin batetik gora edo behera (% 60, % 80, % 90). Hala gertatzen bada, esan ohi dugu joera hori estatistikoki esanguratsua dela. Mann-Kendallen estatistikoak finkatzen du joera hori positibo ala negatibo den. Signifikantziari dagokionez, kontuan hartu ditugu IPCC-k bere gida-liburuan (Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties, [1]) aditza eman dako irizpideak, joera bat gertatzeko probabilitatea aztertzeke. Hau honela, esanguratsutat jo dugu joera bat bere gertatzeko probabilitatea % 66 baino handiago denean (positibo izan, goranzko joera, edo negatibo, beheranzkoa). Tarte horretan sartzen dira IPCCren joera-kategoria hauek: probablea (>% 66), oso probablea (>% 90), arras probablea (>% 95) eta birtualki ziurra (>% 99). Joeraren azterketa, signifikantziarena barne, urteko eta urte sasoiko eskalan egin da, kontuan hartutako 3 urte tarteetarako (1973-2007, 1987-2007, 1995-2007).

#### Azterketan kontuan izandako aldagaiak

Behe emarien azterketarako ondoko aldagaiak hartu dira kontuan (1. irudia): a) Q20 (20ko pertzentila), eguneko batez besteko emaria, serieko egunen % 80an gainditua. b) Q10 (10eko pertzentila), eguneko batez besteko emaria, serieko egunen %90ean gainditua. c) *Iraunaldia*, Q20ko

emaritik beherakoa duten egunen kopurua, urteko zein urte sasoiako eskalan aztertua (uda, udazkena, negua, udaberria). d) *Larritasuna*, Q20tik beherako emari defizita (bolumena), urteko eskalan aztertua. e) *Unea*, serieko urteko emaririk behekoena gertatzen den egun juliotarra; datu hau jatorrizko serietik eratorria den 7 eguneko batez besteko mugikorrek serie-tik atera da. Batez besteko mugikorra egin da emari behekoenetan ohikoak izaten diren balio susmagarriak alboratzeko.

Goi emarien azterketarako, ordea, ondoko aldagaiak hartu dira kontuan: a) Q80 (80ko pertzentila), eguneko batez besteko emaria, serieko egunen % 20an gainditua. b) Q90 (90eko pertzentila), eguneko batez besteko emaria, serieko egunen % 10ean gainditua. c) *Iraunaldia*, Q80ko emaririk gorakoa duten egunen kopurua, urteko zein urte sasoiako eskalan aztertua (uda, udazkena, negua, udaberria). Erdiko emarien kasuan Q50 hartu da kontuan (50eko pertzentila), hau da, eguneko batez besteko emaria, serieko egunen % 50ean gainditua.



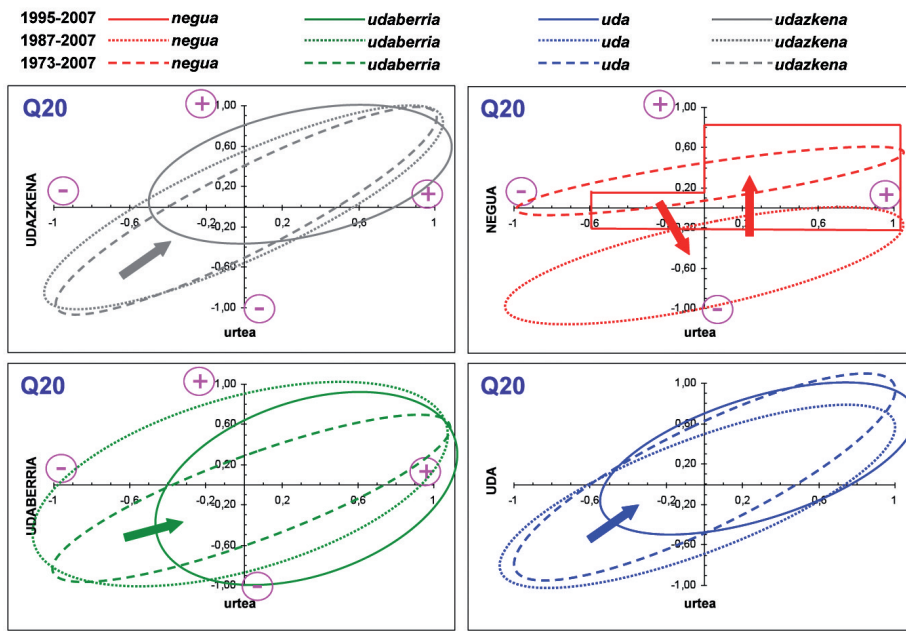
**4. irudia.** Urteko Q10 eta Q90en joeren zeinua eta significantzia versus sasoiako Q10 eta Q90en joeren zeinua eta significantzia grafikoen adibide bi. A: Arroen jokamolde heterogenoa lurraldean zehar (Q10). B: Arroen jokamolde homogenoagoa (Q90).

## Emari-joeren azterketa: ondorioak

### *Goiko eta beheko emariak*

Azterketa honetarako Q90 eta Q80 pertzentilak goi emarietan, eta Q20 eta Q10 pertzentilak, behe emarietan erabili dira, kontuan izandako 3 urte tarteetarako (1973-2007, 1987-2007, 1995-2007). Emari serieen joerak zehaztea da helburua, EAeko eskalan; horregatik jarri dugu arreta datuen espazio-kokapenean. Joeren gaineko zonalde mailako ikuspegia interesatzen zaigu, baina badakigu han-hemen, arro batzuek ez dutela erakusten beren inguru zabalean ohikoa den joera; tokiko kausak egon daitezke jokamolde desberdin horren atzean: lur-erabilpena, ur-erregulazio sistemak... Azterketaren emaitzak grafikoki ahalik eta argien adierazteko asmoz, «urteko significantzia-sasoiako significantzia» grafikoak osatu ditugu, urteko erantzunean (emari-joeran) eragin handiena duten urte sasoiak nabarmen-

tzeko; 4. irudian ageri dira halako kasu bi, adibide modura, batean zonalde mailako heterogenotasun erregionala (A) eta bestean homogenotasuna (B) adierazita. Hots, urteko joera izanda ere, litekeena da sasoi batzuetan joera argirik ez izatea, edo bestelako joera izatea ere; horrexegatik da garrantzitsua erantzun hidrologikoaren sasoitasuna, izan ere joera berak ez baitu inpaktu bera sasoi batean edo bestean.



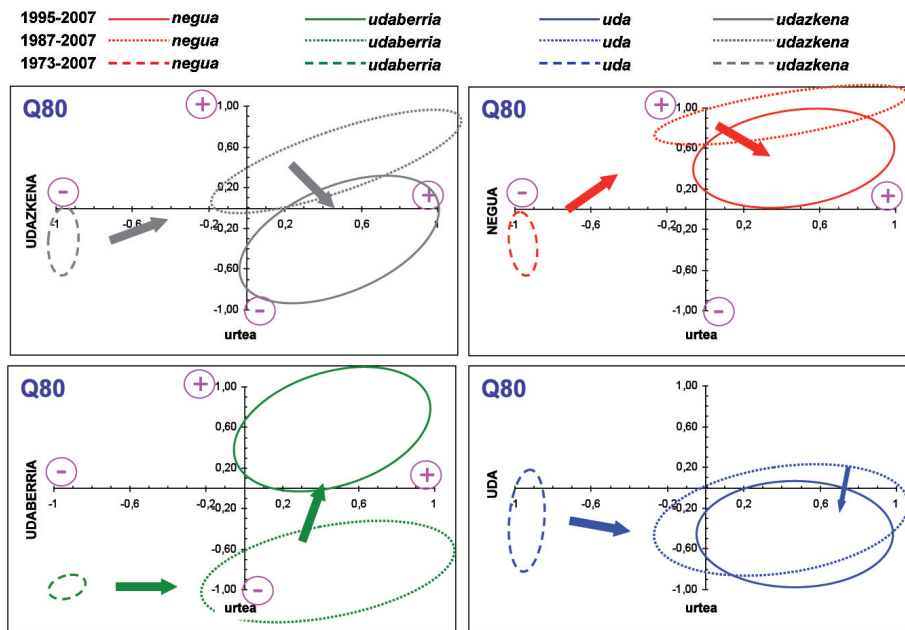
**5. irudia.** Q20ko emari serieen urte sasoiako joeraren (zeinua eta signifikantzia) denboran zeharreko bilakaera (geziek erakutsia), 3 urte tartek (1973-2007, 1987-2007, 1995-2007) kontuan hartuta.

Behere emariei dagokienez, 5. irudira bildu dira urte sasoiaren eraginak urteko emari-joeran. Q20 pertzentila hartu da kontuan, Q10ekoek baino konfiantza gehiago ematen baitute pertzentil honetako datuek. Izan ere, muturreko emari-datu batzuk zalantzarriak suertatzen dira aurretik esandako arrazoiengatik. Irudiarri erreparatuta nabarmentzekoa da azken urte tartean (1995-2007) ibai-arroen emarien joeran izandako lurralde-homogenizazioa (gainera estatistikoki esanguratsua). Are nabarmenagoa da homogenizazioa, kontuan hartzen badugu aurreko urte tartetean baino askoz ere arto gehiago (guztira 42) aztertu direla tarte horretan.

Geziek adierazten dute urteko joera positiboa dela (grafikoen eskubi aldera), hau da, azken urteetan gero eta egun gehiago direla Q20ko emari seriean. Beste modu batera esanda, beheko emari aldia zabaldu egin da, eta

hori gertatu da batez ere udazkenean eta udan. Udaberrian ere igartzen da antzeko joera, baina ez hain modu homogenoan. Neguan, oster, ez da hain garbi ikusten behe emarien joera. Berriz gogoratu behar dugu oso garrantzitsua dela urte sasoikako joera ondo zehaztea, ez baita gauza bera behe emarien aldia luzatzea neguan, aldia berez murrizta denean, edo udan eta udazkenean. Berez zabalagoa da aldia azken kasu hauetan, eta gerta daiteke luzatzeak eragin handiagoa izatea ur-kalitatean.

Behe emarien larritasunari, hots, bolumen defizitari begiratuta (ez ditugu hemen sartu horri dagozkion irudiak) aurrekoarekin bat datorren ondorioa atera dugu, hau da, azken urte tartean (1995-2007) larritasuna handitu egin da (kontuan izan behar da larritasuna urteko eskalan baino ez dugula aztertu). Beraz, hidrogramaren behe tarte honetan gero eta zabalagoa da iraunaldia (egunetan), udazkenean eta udan nagusiki, eta gero eta larriagoa urteko defizita (bolumenean); horixe erakusten du datuen azterketak. Gauzak honela, *joera hauen positibotasuna eta lurralde-homogenizazioa klimaren seinale hidrologikotzat har daitezke*, gure lurraldeko arroetan nahiko zabalduek direlako. Hala ere, uneari begiratuta, hau da, emaririk behekoena gertatzen den egun juliotarrari begiratuta, ez da deriba garbirik igartzen; hau nahiko ulergarria da, kontu handiz hartu behar baitira halako emariak, azterketan seriea leunduta ere (batez besteko mugikorra).



**6. irudia.** Q80ko emari serieen urte sasoiko joeraren (zeinua eta signifikantzia) denboran zeharreko bilakaera (geziek erakutsia), 3 urte tartean (1973-2007, 1987-2007, 1995-2007) kontuan hartuta.

Goi emariei dagokienez, berriz, 6. irudira bildu dira urte sasoiaren eraginak urteko joeran. Q80 pertzentila ageri da hor, baina oso antzekoa izango zen irudia Q90ekoa erakutsi izan bagenu. Kasu honetan, lurralde-homogenizazioa ez da 1995-2007 tartera mugatzen, aurretik ere baitzegoen (1987-2007). Hala ere, oraingoan esanguratsua gertatu da askoz ere estazio gehiago hartu direlako azterketan. Gogoan izan behar da urte tarte luzeenean (1973-2007) 6 estazio baino ez direla aztertu; hala ere, tarte honetako ikusita argi dago azken 20 urteetan, behintzat, Euskal Autonomia Erkidegoan joera positiboa izan dela, hots, urteko goi emariaren iraunaldia zabaltze aldera, eta hori urte sasoi guztietan. Azken urte tarteari erreparatuta (1995-2007), joera positiboa oso nabarmena da udaberrian. Udazkenean, ostera, negatiboa da, eta neurri batean neguan ere. Udan ez da joera argirik. *Joera hauen lurralde-homogenizazioa klimaren seinale hidrologikotzat har daitezke.* Goiko emariaren aldia gutxituz doa udazken eta neguan eta nabarmen zabalduz udaberrian.

#### *Batez besteko emariak*

Batez besteko (Q50) emariaren joerak guztiz bat datoz goiko emariarekin, baina hori nahiko ulergarria da. Kasu honetan azterketak emandakoa beste modu batera islatu nahi izan dugu, 7. irudian. Aurrekoan bezala, oraingoan ere urteko eta urte sasoiaren eskala hartu izan da kontuan, baina honetan isurialdeka banatu ditugu joerak, Euskal Autonomia Erkidegoko plangintza hidrologikoan ohikoa den banaketa gogoan: Ekialdeko Kantaurialdea (Gipuzkoako lurralde historikoa, gutxi gorabehera), Mendebaldeko Kantaurialdea (Bizkaikoa eta Arabako zati bat) eta Mediterraneokoa (Arabako Ebroaldea). Mendebaldekoan behar besteko kalitateko datuak azken urte tartean (1995-2007) baino ez dira lortu.

Irudiari erreparatuta oso nabarmena da urteko batez besteko emariak beheranzko joera argia dutela, serie luzeenak hartuta (34 urte edo gehiago). Joera hau neguan eta udaberrian igartzen da garbier Kantauri aldean; udaberrian eta udan Mediterraneo aldean. Azken 20 urte tartean (1987tik aurrera), ostera, ez da urteko emarietan joera argirik sumatzen Kantauri aldean. Mediterraneoan aldiz, joera goranzkoa eta estatistikoki esanguratsua da, batez ere azkeneko urte tartean. Bestela gertatzen da urtarotetan. Neguko batez besteko emariak goranzko joera argia dute isurialde bietan, eta antzekoa esan daiteke udaberriko emariaren joeraz azken urte tartean, nahiz eta kasu honetan hain esanguratsua izan ez Kantauri aldean. Udako emariak isurialde honetan beheranzko joera argia erakusten dute azken 12 urte tarterako, baina ez da horrelakorik Mediterraneoan.

Joerak joera, azken urteetan inflexio bat gertatu dela ondoriozta daiteke, neguan eta udaberrian nagusiki, lehendik zetozen beheranzko joerak goranzko izatera iritsi baitira. Ez ditugu orain sakonean jorratuko aldaketa



*Klimaren seinale hidrologikoak EAeko arroetako ur-emarien joeretan.  
Gerora begirako proiektzio hidrologikoak*

	(1948)	1973	1987	1995	2007	
Urtea	Beheranzkoa	<i>Beheranzkoa</i>	Ezprobablea	Ezprobablea		Ekialdeko Kantaurialdea
Udazkena	Ezprobablea	Beheranzkoa	<i>Ezprobablea</i>	<i>Ezprobablea</i>		
Negua	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Goranzkoa</i>	<i>Goranzkoa</i>		
Udaberria	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Beheranzkoa</i>	Goranzkoa		
Uda	<i>Ezprobablea</i>	<i>Ezprobablea</i>	Ezprobablea	<i>Beheranzkoa</i>		
Urtea				Ezprobablea		Mendebaldeko Kantaurialdea
Udazkena				<i>Ezprobablea</i>		
Negua				<i>Goranzkoa</i>		
Udaberria				Goranzkoa		
Uda				<i>Beheranzkoa</i>		
Urtea	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Beheranzkoa</i>	Goranzkoa ?	<i>Goranzkoa</i>		Mediterraneo
Udazkena	Beheranzkoa	<i>Ezprobablea</i>	Goranzkoa	<i>Ezprobablea</i>		
Negua	Beheranzkoa	Ezprobablea	<i>Goranzkoa</i>	<i>Goranzkoa</i>		
Udaberria	<i>Beheranzkoa</i>	<i>Beheranzkoa</i>	Beheranzkoa	<i>Goranzkoa</i>		
Uda	<i>Beheranzkoa</i>	Beheranzkoa	Ezprobablea	Ezprobablea		

**7. irudia.** Batez besteko (Q50) emarien joerak, urtekoak eta urte sasoikoak, urte tarte desberdinetan eta isurialde desberdinetan. Letra indartu egin da joerak estatistikoki esanguratsuak direnean EAeko lurraldean zabal.

horren balizko eragileak (klimaren gorabeheretan sartu beharko horretarako); datuek emana baino ez dugu agertu nahi hemen, kontuan hartuta joera jakin baten eragina ez dela berdina urtaro batean gertatu edo beste batean gertatu. Udako emarientan ez da urtealdi luzearen eta motzaren arteko sekuentzia argirik, Kantauri aldean azken urte gutxietan beherantz egin badute ere, ez da horrelakorik igartzen beste isurialdean. Azkenik, isurialde bietan udazkena da joera argirik ez duen urtaroa. Esanak esan, Kantauri aldean batez ere, hidrograma zabalduz doa, negu-udaberriko emariak gorantz eta udakoak beherantz egiten ari direla.

## 2. BIHARKO EMARIEN BILAKAERA

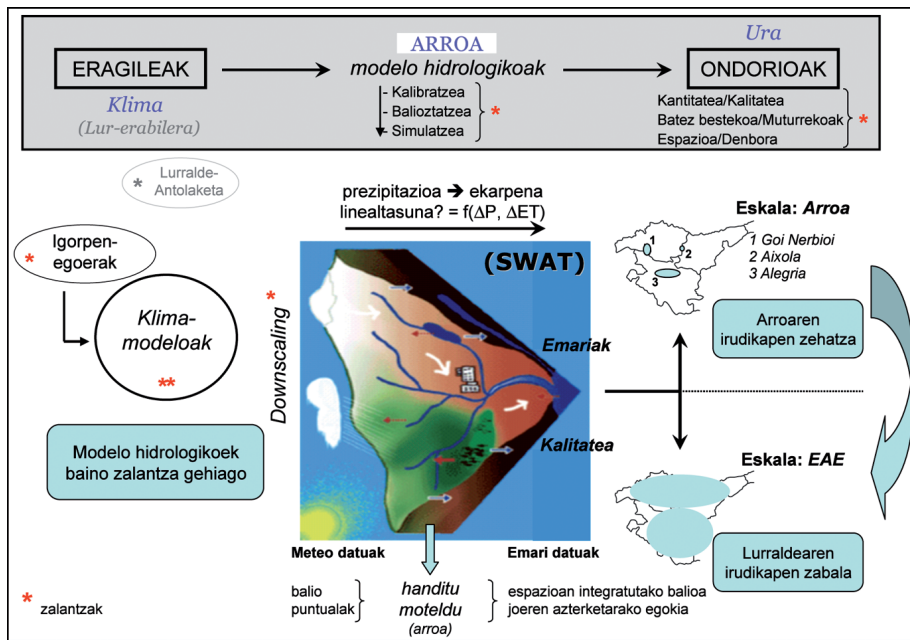
Aurretik adierazia dugu, kliman izan daitezkeen aldaketek ezezik lurren okupazioan izan daitezkeenek ere baldintzatzen dutela ur-emarien bilakaera. Hortaz, egokiagoa da aldaketa globalaz hitz egitea, klimarenetik haratago, aldaketa guztien eragina kontuan hartuko badugu, kontzeptualki behinik behin. Aldaketa globalak emariei dagokienean ekarriko dituen

egoera berriak zeintzuk izan litezkeen jakin ahal izateko, eta, ondorioz, emariek jasango bide dituzten aldaketak zenbakitzeko, ezinbestekoa da modelo hidrológicoak aplikatzea.

Izan ere, era honetako modeloek aukera ematen digute bihar-etziko klimaren eta lur-erabileraren proiektzioak bihar-etziko proiektzio hidrológico bilakatzeko, hau da, geroan posible izan litezkeen egoeretan emariek jasan dezaketen bilakaera aurreikusteko. Ibaietako uraren kantitateari dagokion aurreikuspen hau lehenengo urratsa da, eta funtsezkoa, segida batean uraren kalitateari dagozkion aurreikuspenak egin ahal izateko. Gure ikerketaren fase honetan kantitateari begira erabili ditugu modelo hidrológicoak, hots, emariei begira. Horrela, saiatu gara klimaren eraginaz eta lur-erabileraren eraginaz ere ondorioak ateratzen, zein bere aldetik, ikerketan eman beharreko hurrengo urratsen argigarri.

Zalantzak

Modelo hidrológicoak erabili aurretik, ordea, kontuan izan behar dira klima-aldaketaren eraginaren ebaluazioarekin batera datozen zalantzak (8. irudia). Alde batetik, IPCCko txostenetan jaso da [1] etorkizuneko ne-



**8. irudia.** Eragile/ondorio harremanen esparru kontzeptuala, kontuan hartzeko zalantzekin. Modelizazio hidrológicoa arro-eskalan edo herrialde-eskalan egin daiteke (autoreek egina).

gutegi gasen igorpen-egoerei lotutako zalantzak badirela, nahiz eta ziurgabetasun honen eragina oso txikia den klimaren epe motzeko proiektzioan (Europako Uren Arteztarau Markoaren ezarpenaren lehenengo faseetan, 10-20 urte). Hauek baino indar handiagoa dute lurralde berean klima-modelo ezberdinek proiektatutako klima-egoera ezberdinei lotzen zaizkien zalantzek, igorpen-egoera bera hartuta ere; are eta zalantza gehiago, kontuan hartzen badira ozeano/atmosfera elkarrekintzaren berezko aldakortasunak. Klima-modeloen zalantzazkoei *downscaling* metodo ezberdinetatik datozenak gehitu behar zaizkie, azalera zabaleko lurralde baterako eginiko proiektzioak azalera txikiko lurralde batera egokitu behar direnean (horretan datza *downscaling*). Bestalde, ziurgabetasunerako beste arrazoi bat modelo hidrologikoetan beraietan dago; izan ere, klima-egoerak emari-egoera bilakatze horretan zalantzak sortzen dira (bai emarien bilakaerari dagokionez, bai aldakortasunari dagokionez). Zalantzak, ibai-arroen prozesu hidrologikoen ezagutza mailari lotuta doaz [11].

Gauzak horrela, «igorpen-klima-downscaling-emari» proiektzioen sekuentzian zalantzazkoak maila batetik hurrengora aldatzen dira, azkenean guztiak modelo hidrologikoen erabileran bat eginez. Horregatik, beharrezkoa da eskura dauden, eta gure errealitate fisikoan ustez baliagarri izan daitezkeen klima-modelo, *downscaling* metodo eta modelo hidrologiko desberdinekin lan egitea. Hala izango da etorkizuneko urte tarte desberdinetan posible izan daitezkeen emari-egoeretarako hurbilketa arrazoizkoa egingo badugu, behintzat. 8. irudian gauzatu dugu zalantzazkoen gainean egindako gogoeta, era kontzeptualean.

### **Modelizazio hidrologikoa (SWAT)**

Ikerketa honetan, lehen hurbilketa bezala eta aurretik esandakoa kontuan izanik, Aixola arroa (Deba arroa) hartu dugu modelizazioaren bidezko proiektzio hidrologikorako abiapuntu, 2011-2100 epea aztertuz. Horretarako, bi igorpen-egoeratan (A2 eta B2) Agencia Española de Meteorología-AEMETek bere webgunean eskainitako CGCM2 eta ECHAM4 klima-modeloen zonalde mailako prezipitazio eta tenperatura-irteerak erabili dira (FIC analogoen *downscaling* teknikaren bidez). Aixola arroa (4 km<sup>2</sup>) hartu dugu oinarri bere erantzun hidrologikoa ondo ezagutua delako [12]; gainera, intereseko beste kontu bat da arro hau ur-hornidurarako urtegi (Aixola) baten biltze-arroa izatea.

Proiektziorako SWAT (Soil and Water Assessment Tool) arro-eskalako modelo hidrologikoa ezaguna erabili da (<http://swatmodel.tamu.edu>). SWATEk kontuan hartzen ditu arroko lur-eredu digitala, lurzoruen ezauzgarrien banaketa, eta landaretzaren banaketa. Modelo hidrologikoa 2007-2010 urte tarterako kalibratu eta 2005-2006 urte tarterako balioztatu da. Horretarako, lehenik eta behin, modeloan sartu dira 2007-2010 urte tar-

tean Aixola arroaren irteeran Gipuzkoako Foru Aldundiak duen kontrol-estazioan jasotako datuak (eguneko prezipitazioa eta tenperatura maximoa eta minimoa). Behin modeloa erabiltzen hasita berak emandako eguneko emariak estazioan neurtutako emari errealekin alderatu dira, serie bien arteko antzekotasuna neurtze aldera eta hainbat adierazle estatistiko erabiliz (Nash-Sutcliffe eraginkortasuna [13], determinazio koefizientea, bias porzentajea [14] eta desbiderapen estandarren ratioa [15]).

Une honetan hasten da kalibratze prozesua. Modeloak ibai-arroko prozesu hidrologikoak (ebapotranspirazioa, isurketa-bideak...) barne hartzeko erabiltzen dituen parametroen balioak aldatu egiten ditugu simulatutako emaitzak emaitza errealen ahalik eta antzekoenak izan arte. Kalibratze prozesuan garrantzitsua da arroaren ezagutza hidrologikoa, parametrooi emandako balioak fisikoki sinesgarriak izan behar baitira arroan. Adierazle estatistikoek simulazioaren egokia egiaztatu ondoren, modeloak gorde egiten ditu parametroen balio kalibratuak. Hurrengo urratsa modeloa balioztatzea da, hau da, beste urte tarte batean erabili eta simulatua eta erreala estatistikoki bat datorrela egiaztatzea. Bide honetan, modeloari 2005-2006 tarteko eguneko prezipitazio eta tenperatura datuak sartu zaizkio, eta emaitzak eguneko emari errealekin alderatu dira, adierazle estatistikoak erabiliz. Hauen balioak egokiak izan direnez, ohikoak izaten diren irizpideak go-goan [15] [16] [17], modeloa balioztatuta geratu da, eta, hortaz, neurriko konfiantzaz erabil dezakegu etorkizunerako proiektzio hidrologikoak egiteko. Horrela, SWAT modeloan sartu dira lehen aipatu diren CGCM2 eta ECHAM4 klima-modeloek A2 eta B2 igorpen-egoeretan aurreikusitako eguneko datuak (prezipitazioa eta tenperatura maximoa eta minimoa). Era honetan, 2011tik 2100era arteko eguneko emarien proiektzio hidrologikoa lortu dugu.

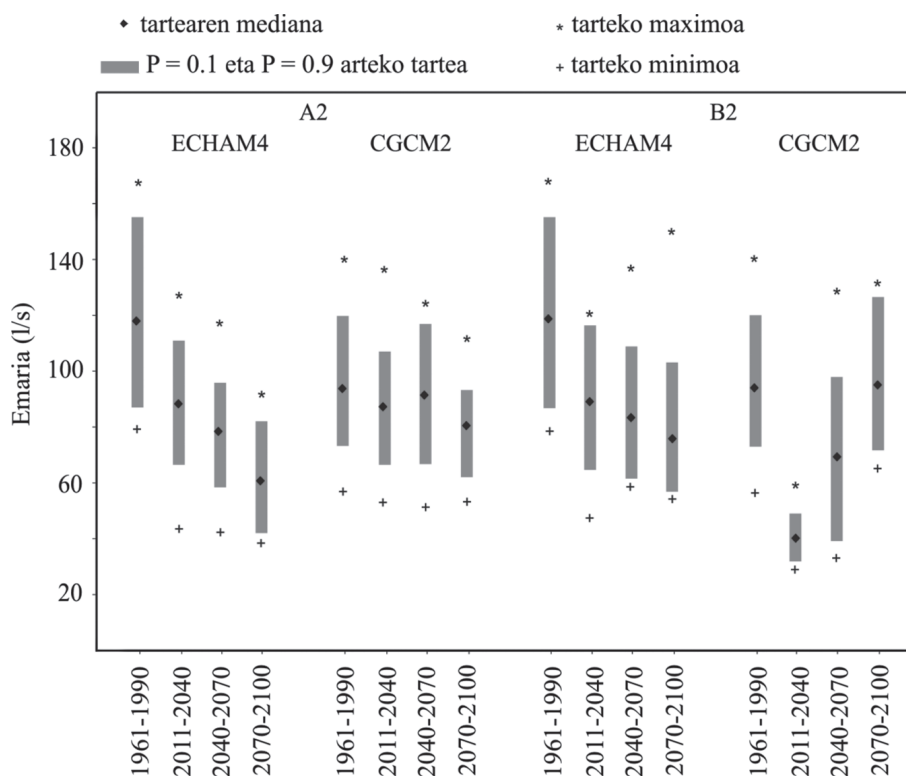
#### *Emaitzak (SWAT)*

Modelizazioan erabilitako lau klima-proiektzioetako tenperatura maximo eta minimoek goranzko joera erakusten dute, urteko eskalan eta urtaro guztietan ere. Proiektzioetan, bi klima-egoera sartzen dira eta bakoitzean, bi igorpen-egoera. Prezipitazioa, aldiz, aldakorragoa suertatzen da joeretan; izan ere, urteko eskalan proiektzio gehienek beheranzko joera azaltzen dute baina CGCM2-B2 egoerarako prezipitazioen joera goranzkoa da. Gainera, urte sasoietako proiektzioetan ere desberdintasun nabariak daude. ECHAM4 modeloaren irteerek (A2 eta B2 egoeretarako) prezipitazioak sasoi guztietan beherantz egingo duela aurreikusi arren, CGCM2 modeloaren irteerek aurreikusten dute zenbait urtarotan, udazkenean, neguan eta, agian, udan ere, prezipitazioak zertxobait igo daitezkeela.

Klima datu hauek erabilita, 2100 urte arteko proiektzio hidrologikoak eman ditu SWAT modeloak. Hala ere, proiektziook kontestualizatu egin

*Klimaren seinale hidrologikoak EAeko arrotako ur-emarien joeretan.  
Gerora begirako proiektzio hidrologikoak*

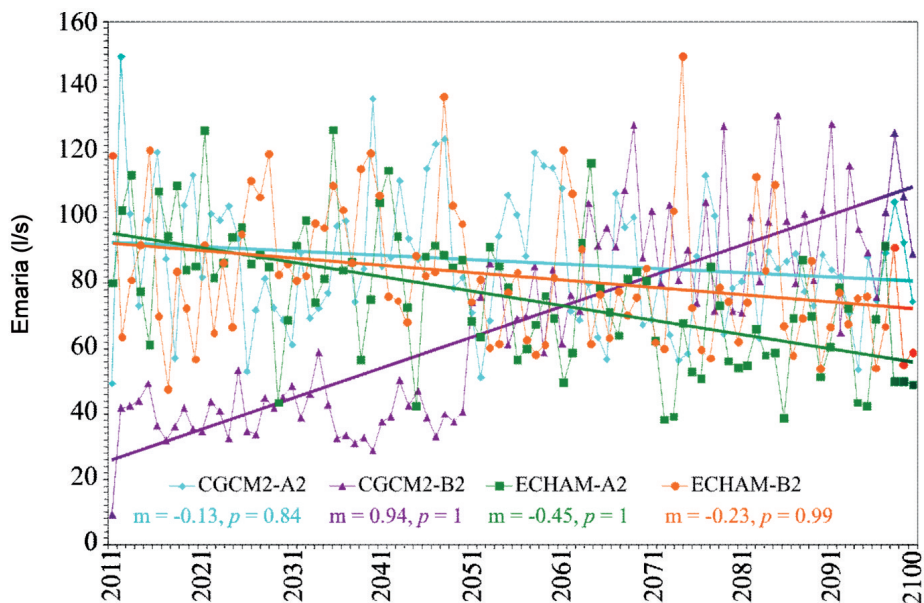
behar dira haien irakurketa ondo egite aldera. Hortaz, aurrera begirako proiektzio hidrologikoak (modelo hidrologikoek modelo klimatikoek aurreikusitako klima-egoerentarako emanda) iraganera begirako proiektzio hidrologikoekin alderatu behar dira, honetarako klima-modeloek izaten duten kontrol aldiko (1960-1990) klima datuak modelo hidrologikoetan sartuta. Beraz, etorkizuneko emari-egoerak aztertzen ditugu iraganeko (1960-1990) emari-egoerekin alderatuta, kasu bietan klima-modeloek emandako datuak erabilia. Kontuan hartu behar da ezen kontrol aldiko (1960-1990) klima datuak modeloek beraiek sortu dituztela, zeinek bereak, eta sarritan ez datozela guztiz bat urte aldi horretan lekuan leku benetan izandako datuekin; hala ere, datu horietan egin behar da biharko datuen alderaketa, klima-modeloek, hau edo hori izanda ere, logika bat izan badutelako, bakoitzak berea.



**9. irudia.** Aixola arrotan aurreikusitako lau klima-egoeren proiektzio hidrologikoak. Bertan ageri dira kontrol aldirako (1960-1990) eta etorkizuneko 2011-2040, 2040-2070 eta 2070-2100 urte tarte desberdinetarako emari tarte simulatuak (urteko batez bestekoak). Kasu bakoitzean proiektatutako emari maximoa, minimoa, mediana eta 10 eta 90eko pertzentilak adierazi dira.

Hortaz, Aixola arroko proiektzio hidrologikoen alderaketa eginda (9. irudia), emaitzek garbi uzten dute urteko emariak beherantz egingo lukeela simulatutako egoera guztietan, baina CGCM2-B2 egoeran 2100 urteko emariak kontrol aldiko (1960-1990) emarien antzekoak lirakeela. Urteko batez besteko emaria gutxitzeaz gain, etorkizunean emarien urte barruko zabaltasuna ere (goi emariak/behe emariak) txikitu egingo litzateke, simulazioak simulazio. Urte sasoiari begiratuta (irudirik ez dugu sartu), proiektzioek bat egiten dute emariak gehien udan jaitsiko lirakeela aurreikustean; udazkenean mantendu edo jaitsi egingo lirakeke, eta neguan seguruenik ere jaitsi, nahiz eta proiektzioaren batek igo egingo lirakeela aurreikusi; definitzen zailena udaberria da, jaitsi, mantendu edota igo, hiru aukerak gerta bailitezke.

Emari-proiektzioetan joerak identifikatu eta hauen esangura estatistikoa ebaluatzeko simulazioetan lortutako emari serieei Mann-Kendall test ezparametrikoa [10] ezarri zaie (10. irudia). Gainera, joerak erregresio linealak erabiliz zenbakitu dira. Simulazio gehienek emaitzen arabera, 2100 urtera arte urteko batez besteko emaria 0.13 eta 0.45 l/s artean jaitsiko litzateke urtero (m, irudian), joera hau gertatzeko probabilitatea handia edo oso handia dela ( $p$ , irudian). Baina CGCM2-B2 proiektzioa erabiliz, lortutakoaren arabera oso probabilitate handia dago urteko batez besteko emaria urtero



**10. irudia.** Aixola arroan, 2011-2100 urte tartarako CGCM2 eta ECHAM4 klima-modeloen A2 eta B2 egoeretako klima-irteerak erabiliz simulatutako emarien (urteko batez besteko) joerak.  $m$  = emarien erregresio linealaren malda,  $p$  = joeraren signifikantzia estatistikoa edo gertatzeko probabilitatea.



0.94 l/s-ko igoera izateko. Datu hauekin, eta Aixola arroaren urteko batez besteko emaria gaurkoan 100 l/s ingurukoa dela kontuan izanda [12], egoerarik ezkorrenean (urteko 0.45 l/s gutxiago) 2100 urterako Aixolako urte-gira 100 l/s sartzetik 55 l/s sartzera iritsiko litzateke, eta egoerarik baikorrenean (CGCM2-B2) 100 l/s-tik 194 l/s-ra. Proiektzioen arteko aldea hain handia izanik, hartu beharreko egokitzapen neurriak ere oso desberdinak izango lirateke. Hala ere, kontuan hartu behar da CGCM2-B2 egoera beste hiruretatik nahiko urrun geratzen dela eta, hortaz, egoeretan komunagoa den jokamoldeari eman behar zaiola garrantzia, zalantzak zalantza. Balioa izan dezala adibide honek aurretik zalantzen gainean egindako gogoeta argitzeko.

Hau honela, lortutako emaitzak URA-Ur Agentziaren plan hidrologikoan [18] biltzen diren beste azterlan batzuetako emaitzekin erkatu ditugu, beste hiru egoerak ere kontuan izanik (CGCM2-A2, ECHAM4-A2 eta ECHAM4-B2). CEDEX-ek (Centro de Estudios Hidrográficos), kasurako, klima-aldaketak Euskal Autonomia Erkidegoak beste erkidego batzuekin partekatzen dituen arroetako ur-baliabideetan izan dezakeen eragina ebaluatu du, eta ondorioz, aurreikusi du Kantauri isurialdean baliabideok 2027rako %2a murriztu litezkeela. Aixola arroan guk egin dugun azterketak emandako emaitzek aurreikusten dutenez, 2027rako %2 eta %6 arteko jaitsiera egon liteke arro horretako urteko batez besteko emarian (kontuan hartzeko da arro hori oso txikia izan arren arro handietako arroburuen erreferentzia har daitekeela).

Bestalde, URA-Ur Agentziak berak «Ur Azpiegiturak eta Klima Aldaketa» lanean, 2060rako ur-baliabideen %11-14ko murrizketa aurreikusten du, eta gure azterketako emaitzen arabera Aixolan 2060rako urteko emarien %7 eta %22 arteko jaitsiera egon liteke. Murrizketa tarreak zabalak badira ere, datuak baloratzean kontuan izan behar da aurretik zalantzakoei buruz esandakoa. Datu hauek ez dira beren balio absolutuetan hartu behar; gerta daitezkeen murrizketen joeraz argibidea ematen dute, eta, hortaz, hartu beharreko egokitzapen-neurrietan pentsatzen hasteko abiapuntu gisa erabili behar ditugu, proiektzio-ikerketan jarraituta, jakina.

### *Lur-erabileraren eragina*

Kliman den edozein aldaketak, denborazko desfasean bada ere, berarekin dakar ziklo hidrologikoaren aldaketa, honen osagai guztietan, gehiago edo gutxiago. Aldaketa hauetan ziklo hidrologikoan kontuan hartu ohi diren prozesu fisikoez gain garrantzi handia hartzen dute lurraren erabilerak eta landaretza motak, bai eta hauetan izan daitezkeen aldaketek ere, berezkoak edota antropikoak izan. XX. mendean zehar hidrologia esperimenteran lortutako emaitzek argi utzi dute arro batetik ateratzen den ur kantitateak (hidrologian *ekarpen* deritzoguna) gora egiten duela arroa baso-soildu

egiten denean, eta behera egiten duela zuhaitzak zabal landatzean [19]. Halere, hidrologian oinarritzkoa den paradigma hau baztertua gertatu da maiz planifikazio hidrologikoan, are gehiago lurralde-antolaketa eta baso-politikan.

Ur-ekarpenen aldaketa oso desberdina izan daiteke esperimentuaren eta klimaren arabera. Hala ere, lehenengo hurbilketa moduan, esan daiteke basoek ur-kontsumoa prezipitazioaren %20an igo dezaketela [20]. Zehatzago, Bosch eta Hewletten bilketa lan ezagunaren [19] haritik, eta Euskal Autonomia Erkidegoko hainbat eskualdetan ohikoak diren pinu eta eukalipto plantazioei begira, hauen azalera %10 aldatzen denean, 40 mm-ko aldaketa eragin daiteke urteko ur-ekarpenetan; deforestatzean ekarpena handitu egiten da (ebapotranspirazioa, ET, gutxitzearen ondorioz) eta landatzean gutxitu egiten da (ET handitzearen ondorioz). Aldaketa hauek txikiagoak lirateke hosto erorkorrak dituzten zuhaitz basoetan, 25 bat mm, eta txikiagoak oraindik, 10 mm, larredi eta sastrakadietan. Gainera, aldaketa hauek handiagoak izaten dira euri gehiago egiten duen lekuetan, landaretzak ur gehiago baitu eskuragarri. Zhang *et al.*-ek [21] erakutsi bezala, basoek larrediek baino ebapotranspirazio handiagoa dute, alde batetik, atmosferarekin duten truke-azalera handiagoa delako, eta bestetik, euren sustraiak sakonagoak izanda lurzorua lehor dagoenean ere ura sakonera handiagotik atera dezaketelako.

Gipuzkoako hainbat ibai-arro aztertuz Garmendia *et al.*-ek berrikitan egindako lan batean [7], korrelazio positiboa aurkitu zuten arroen ur-ekarpenaren (edo ur-produkzioaren) eta larredi-portzentajearen artean. Erlazio hau urteko nahiz urte sasoi-tako datuekin mantentzen da. Bestalde, arroen ur-ekarpenaren eta baso exotikoen portzentajearen arteko korrelazioa negatiboa zela ikusi zuten. Beraz, larredien azalera zabaltzeak ur-ekarpenaren igoera lekarke, eta baso exotikoena handitzeak ur-ekarpenaren murrizketa. Gainera, larredien eragin positiboa ur-ekarpenetan baso exotikoek duten eragin negatiboa baino %50 handiagoa da.

Honekin lotuta, Euskal Autonomia Erkidegoan, lurren erabilerari dago-kionez, 2005eko baso inbentarioa erreferentziatzat hartu eta azken urteetan izan diren joerak aztertu dira. Bertan, 2005eko landaretza motek betetako azalera aurreko inbentarioko datuekin (1996) konparatzen da. Nabarmen-tzekoa da *Forestal* izeneko azalera duen portzentaje altua (basoa, larredia, sastrakadia, haitzak), EAE osorako % 68.5a izanik; nekazaritza-lurren azalera (% 25a) gehituta, bien artean % 90a baino gehiago dela azpimarratu behar da. Gainera, baso-azalera handituz joan da (7.000 ha, 1996 eta 2005 artean). Azalera zabal hauek eta haien aldaketak ibai-arroetako emari-en erregimenean duten eragina kontuan hartzeko modukoa da.

Azken urteetan egon den goranzko joerak oraingoz bere horretan jarraitzen du, eta etorkizunean hala egiten badu, ur-ekarpenek, gehiago edo gu-

txiago, beherantz egingo luketela pentsatzeko arrazoiak badira, aipatutako erreferentziatzko ikerlanen arabera. Honi gehitu behar zaio, SWAT modelo hidrologikoaren aplikaziotik lehen ateratako ondorioa: 2100 urtera arte proiektatutako egoera gehienetan klima-emariak (klima-jatorria dutenak, lurren erabilera kontuan hartu gabe) beherantzko joera adierazten dute. Egia da, berriz diogu, ondo ezagutzen dugun arro txiki batean (Aixola) baino ez dugula oraingo modelo hidrologikoa bere sakonean aplikatu, baina hala ere nondik norakoen argibideak izateko abiapuntua da hori, gerora izan daitezkeen egoeren argigarri. Oraingo, ondorio orokorra bada ere, esan daiteke lurraldea okupatzeko modua (lurraldearen antolamendua) ur-baliabideak mantentzeko tresna oso egokia izan daitekeela, baldin eta lurren erabilerak perspektiba hidrologikoz kudeatzen badira. Horra, larrediak eta sastrakadiak egoki kudeatuz ur-ekarpenak mantentzen dituen nekazaritza tradizionala bultzatzeko beste arrazoi bat [7].

#### *Emari naturalak simulatzeko beharra*

Landaretzak ur-ekarpenetan duen eragina ikusirik, interesgarria da Fohrer *et al.*-ek [22] beren ikerketetan lurralde-erabileraren aldaketaz eta hauen modelizazioaren beharraz ohartarazi nahi izatea. Ikertzaile horien arabera, gaur egunean lurren erabilera ez da modelo hidrologikoetan prozesu dinamikotzat jotzen, eta erabilera horrek lurzoruen propietate hidrologikoetan edota mikrokliman eraginik ez duela onartzen da. Sinplifikazio honek ondorio garrantzitsuak izan ditzake modelizazioaren emaitzetan. «*At present land use change is still not modeled as a dynamic process and it is assumed to have no effect on soil properties or microclimate. This simplification can lead to significant effects on the modeling results*».

Rhine eta Meuse ibaien arro handietako muturreko egoera hidrologikoen ezagutzak argi eta garbi adierazten du bai klimak eta bai lurraldearen okupazioak ere, biek zein biek dutela eragina uholdeetan [23]. Gainera, autore hauen arabera, oso garrantzitsua da klimaren eta lurralde-okupazioaren artean dagoen lotura ezagutzea, klimaren aldatzeak berak eragina izango baitu lurraldearen okupazioan, landaretzan batez ere. Era horretan, klima desberdin batean landaretza berez aldatuko da, eta honek bere aldetik eragina izango du prozesu hidro-klimatikoetan, hala nola, lurgaineko isurketan, infiltrazioan edota ebapotranspirazioan.

Ildo beretik, Gallartek [24] beharrezkotzat jotzen du etorkizuneko egoera hidrologikoak aurreikusteko erabiltzen diren modeloez klimaren balioko aldaketa ezezik lurralde-erabilera edo okupazioaren aldaketa bera ere kontuan hartzea. Horrela eginda, modeloez simulatutako emariak ez dira «klima-emari» hutsak izango (klima aldatzea besterik ez dutenak kontuan hartzen), eta emari «naturalak» izango dira (aldaketa mota bien eragina kontuan hartuta). Gainera, landaretzan gertatzen diren aldaketa zabalek

emarietan eragin handiagoa izaten dute klima-joerek baino, epe motzean behinik behin; horregatik, arroaren etorkizuneko egoeretarako egiten diren ur-baliabideen aurrikuspenek zientifikoki balioa izan dezaten, lurralde-okupazioan gerta daitezkeen aldaketak kontuan izan behar dira, halaberrez.

Hori ere bada SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeloaren alde egin dugun apustuaren arrazoia, berez, eta jatorriz, lurzoruen eta lur-erabilerearen eragin hidrológicoa kontuan izateko pentsatua baita, hortik izena. Gainera, munduan zabal (<http://swatmodel.tamu.edu>) erabilitako modelo da, hortik apustua ere. Euskal Herrian, orain arte, batez ere «klima-emariak» aurreikusteko erabili dugun arren (hau baita modelizazioaren lehenengo urratsa), Aixola arrorako azaldu dugun modura, hasita gaude emari «naturalak» ere aurreikusten, bihar-etziko egoeretan lurren erabilera desberdinekin jokatzu (basoak, plantazioak, larrediak...). Espero dugu epe motzean horren emaitzen berri eman ahal izatea eta baso-politiketarako irizpide zuzenak eskaintzea ere. Edonola ere, ez dugu nahi modelo hidrológico bakar batera mugatu geure ikerketa, gorago azaldu bezala modelo multzo baten beharra baitago dudazkoak argitze aldera. Bide honetan ere ari gara.

### *Erronkak*

Orain arteko gogoetan aditzera eman nahi izan dugun modura, arroaren bihar-etziko emariaren joeretan eragiten duten aldaketak asko eta askotariakoak dira. Klima eta Lurraldea, bienak dira kontuan hartzeak. Eta zalantza ere ugari, batean zein bestean. Hala ere, zalantza ez datoz bakarrik modeloen aplikaziotik edota modeloen sarrera elikatzeak behar diren datu eta prozesuen ezagutzatik, beste alde batetik ere baitatoz: hain zuzen guk geuk daukagun gaitasun eta ahalmen mailatik, arro-eskalako prozesu hidrológicoak ikertzeko, ulertzeko, aditzera emateko, etor daitezkeenaren aurrean neurriak hartzeko, eta egokitu behar dena egokitzeko.

Klima-aldaketa batek dinamika hidrológicoaren funtsezko zenbait prozesutan (prezipitazioa, emariak, ebapotranspirazioa) izan ditzakeen eragin hainbat adibide kualitatibo (bibliografia oinarri) eta kuantitatibo (Aixola arroan) azaldu dira lan honetan, geroko urratsen argigarri. Baina uraren ikuspegitik (baliabide modura eta ekosistemen euskarri modura) etorkizuneko klima-egoerak (prezipitazioa, tenperatura, urte sasoi-tako aldakortasuna...) egoera hidrológico bihurtu ahal izateko (batez besteko emariak, goiko eta beheko emariak, urtarotako aldakortasuna...) beharrezkoa da zalantza guztiak integratzea.

Aurreikuspen hidrológicoek finkatzen duten norantza erreferente hartu behar da, gaur egungo ur-politika (kontsumoak, erabilerak, hornidura-sistemak, ureztatzeak...) etorkizunean aurreikusitako ur-baldintzetara egokitzu joateko; zalantza izateak ez dakar zalantzok noiz argituko zain egotea. Hortaz, ur-politikak beste esparru-politika askoren uztarria izan beharko

luke praktikan. Lehentasunak lehentasun, lurzoruen eta, beraz, lurraldearen kudeaketa barne hartzen duen uraren kudeaketa behar da, ezinbestean, klimaren aldaketa baten eragina baino lehenagoko baita, denboraz, lurraldearena. Honetaz asko hausnartu behar da, eta gehiago egin, lekukoan (eskualdean) bezala zabalean (herrialdean) ere. Gure ikerketa-lerro hau horretara doa, zalantzak kokatzera eta zalantzok argitzen joatera, jakinda ere, berez, ikerketa diziplina anitzekoa dela. Horretan dihardugu...

### *Eskerrak*

Artikulu honen egileak UPV-EHUko Hidrogeologia eta Ingurumena Talde Kontsolidatuko (IT516-10) kideak dira, eta *Global Change and Heritage* PIU-UF1-11/26-renak ere. Ikertaldeak parte hartzen du K-Egokitzen proiektuan (ETORTEK, Eusko Jaurlaritza) beste hainbat talderekin batera. Eskerrak eman nahi dizkiegu ikerketan parte hartu duten gure taldeko beste kideei (Maite Meaurio, Carlos Gorria, Tomas Morales, Jesus Angel Uriarte). Bestalde, aurkeztutako emaitzak AEMET-ek (Agencia Estatal de Meteorología) utzitako datu klimatikoek esker lortu dira; hortaz, modu berezian nahi dugu eskertu Igeldoko Zentroko zuzendari Margarita Martin. Gipuzkoako Foru Aldundiak ere prestasun osoa agertu du Aixolako datuak eskaintzean, eskerrak eurei ere. Eta berdin emari datuak eman dizkiguten beste erakunde guztiei.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC (2005). *Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties*.
- [2] WILSON, D.; HISDAL, H. eta LAWRENCE, D. (2010). «Has streamflow changed in the Nordic countries?: Recent trends and comparisons to hydrological projections». *Journal of Hydrology* 394, 334-346.
- [3] EUSKO JAURLARITZA (2004). *Demarcación de las Cuencas Internas del País Vasco*. Informe relativo a los artículos 5 y 6 Directiva Marco del Agua 2000/60/CE. Vitoria-Gasteiz.
- [4] TODD, M.C.; TAYLOR, R.G.; OSBORN, T.J.; KINGSTON, D.G.; ARNELL, N.W. eta GOSLING, S.N. (2011). «Uncertainty in climate change impacts on basin-scale freshwater resources» (preface to the special issue: the Quest-GSI methodology and synthesis of results). *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1035-1046.
- [5] BIRSAN, M.V.; MOLNAR, P.; BURLANDO, P. eta PFAUNDLER, M. (2005). «Streamflow trends in Switzerland». *Journal of Hydrology* 314, 312-329.
- [6] DIRECTIVA 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

- [7] GARMENDIA, E.; MARIEL, P.; TAMAYO, I.; AIZPURU, I. eta ZABAETA, A. (2012) (in press). «Assessing the effect of alternative land uses in the provision of water resources: Evidence and policy implications from southern Europe». *Land Use Policy*. doi: 10.1016/j.landusepol.2011.12.001.
- [8] VILLARINI, G.; SMITH, J.A.; SERINALDI, F. eta NTELEKOS, A. (2011). «Analyses of seasonal and annual maximum daily discharge records for central Europe». *Journal of Hydrology* 399, 299-312.
- [9] FIALA, T.; OUARDA, T. eta HLADNY, J. 2010. «Evolution of low flows in the Czech Republic». *Journal of Hydrology* 393, 206-218.
- [10] YUE, S. eta WANG, C. (2004). «The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series». *Water Resources Management* 18, 201-218.
- [11] WILBY, R.L.; ORR, H.G.; HEDGER, M.; FORROW, D. eta BLACKMOREL, M. (2006). «Risk posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK». *Environment International* 32, 1043-1055.
- [12] ZABAETA, A. (2008). *Análisis de la respuesta hidrosedimentarioa en pequeñas cuencas de Gipuzkoa*. Doktorego-Tesia. UPV/EHU. Geodinamika Saila, 252 or., eranskinak eta CDA.
- [13] NASH, J.E. eta SUTCLIFFE, J.V. (1970). «River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles». *Journal of Hydrology* 10, 282-290.
- [14] GUPTA, V.S.; SOROOSHIAN, S. eta YAPO, P.O. (1999). «Status of automatic calibration for hydrologic models: comparison with multilevel expect calibration». *Journal of Hydrologic Engineering* 4, 135-143.
- [15] MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGER, R.L.; HARMEL, R.D. eta VEITH, T.L. (2007). «Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations». *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50, 885-900.
- [16] SANTHI, C.; ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; DUGAS, W.A.; SRINIVASAN, R. eta HAUK L.M. (2001). «Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources». *Journal of American Water Resources Association* 37, 1169-1188.
- [17] VAN LIEW, M.W.; VEITH, T.L.; BOSCH, D.D. eta ARNOLD, J.G. (2007). «Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: A comparison on USDA-ARS experimental watersheds». *Journal of Hydrologic Engineering* 12, 173-189.
- [18] URA UR AGENTZIA-AGENCIA VASCA DEL AGUA (2010). *Plan Hidrológico de las Cuencas Internas del País Vasco*. Documento borrador. <http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0002/es/>
- [19] BOSCH, J.M. eta HEWLETT, J.D. 1982. «A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration». *Journal of Hydrology* 55, 3-23.
- [20] GALLART, F. eta LLORENS, P. 2006. «Implicaciones hidrológicas del cambio de usos del suelo». Ura eta Lurralde: kudeaketa modu partekatu eta parte



- hartzailea. Agua y Territorio: una gestión compartida y participativa. Udako Topaketak-Encuentros de Verano UPV/EHU 2006. Gernika (Bizkaia).
- [21] ZHANG, L.; DAWES, W.R. eta WALKER, G.R. (2001). «Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale». *Water Resources Research* 37, 701-708.
- [22] FOHRER, N.; HAVERKAMP, S. eta FREDE, H.G. (2005). «Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions: development of sustainable land use concepts for low mountain range areas». *Hydrological Processes* 19, 659-672.
- [23] PFISTER, L.; KWADIJK, J.; MUSY, A.; BRONSTERT, A. ETA HOFFMANN, L. (2004). «Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine-Meuse basins». *River Research and Applications* 20, 229-241.
- [24] GALLART, F. (2009). «Canvis temporals observats en les sèries de cabals». In: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. 332 or. Barcelona.