



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Konposatu per- eta polifluoratu-
(PFAS) mailen azterketa edateko
uretan: Metodoen balidazioa eta
aplikazioa benetako kasu baten**

*Anne San Román Martínez, Eunete
Abilleira Cillero,
Amaia Irizar Loibide, Belen
Gonzalez-Gaya, Juan Francisco
Ayala-Cabrera eta
Nestor Etxebarria Loizate*

149-156 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.05.18>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Konposatu per- eta polifluoratuak (PFAS) mailen azterketa edateko uretan: Metodoen balidazioa eta aplikazioa benetako kasu baten

Anne San Román Martínez^{1,2,5}, Eunáte Abilleira Cillero^{1,3,4}, Amaia Irizar Loibide^{1,3,4,6},
Belen Gonzalez-Gaya^{2,5,7}, Juan Francisco Ayala-Cabrera^{2,5}, Nestor Etxebarria Loizate^{2,5}

¹ Biogipuzkoa Osasun Ikerketa Institutua, Donostia, Gipuzkoa, Euskal Herria

² Plentziako itsas estazioa (PiE), Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Plentzia, Bizkaia, Euskal Herria

³ Epidemiologia eta Osasun Publikoa Ikertzeko Espainiako Partzuergoa (CIBERESP), Madril, Espainia

⁴ Eusko Jaurlaritzako Osasun Saila, Osasun Publikoaren eta Adikzioen Zuzendaritza, Euskadiko Osasun Publikoko Laborategia, Donostia, Gipuzkoa, Euskal Herria

⁵ Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Zientzia eta Teknologia fakultateko Kimika Analitikoko Saila, Leioa, Euskal Herria

⁶ Prebentzio Medikuntza eta Osasun Publikoko Saila, Medikuntza eta Erizaintza Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Leioa, Euskal Herria

⁷ IKERBASQUE, Zientziarako Euskal Fundazioa, Bilbo, Euskal Herria

ane.sanroman@ehu.eus

Laburpena

Konposatu per- eta polifluoroalkilikoak gaur egun jomugan dauden konposatuak dira. 1940ko hamarkadan sortu ziren eta haien ezaugarriak direla eta (ez-itsaskortasuna edota egonkortasun termikoa) oso erabiliak izaten dira industrian zein etxeko tresnetan. Erabilera intentsibo eta etengabe horrek eragin du PFASak edateko uretara isurtzea eta izaki bizidunen dietaren parte izatea. PFASekiko esposizio kronikoak, nahiz eta maila ez-hilgarrietan izan, zenbait osasun arazo ekar ditzake, hala nola, minbizia eta neurogarapen arazoak. Hau horrela, kromatografia likidoa eta bereizmen altuko masa espektrometria konbinatuz, PFASen presentzia aztertu da industria-aktibitate handia duten Gipuzkoako bi eskualdeetan (Urola eta Goierri), non hiru arro ezberdinetako uren laginak hartu diren zenbait herrietatik.

Hitz gakoak: Konposatu per- eta polifluoratuak, Edateko Ura, Bereizmen Altuko Masa Espektrometria, Kromatografia, Ingurumeneko Kutsadura

Abstract

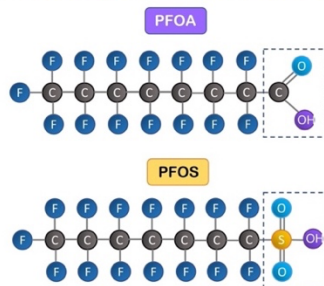
Per- and polyfluorinated compounds are currently in the spotlight. They were synthesized in the 1940s, and by their peculiar properties (non-adhesion or thermal stability) they have been widely used in both industry and household appliances. This intensive and continuous use has caused PFAS to flow into drinking water and become part of the diet of living beings. Chronic exposure to PFAS, even at non-lethal levels, can lead to health problems such as cancer and neurodevelopmental issues. According to this, combining liquid chromatography and high-resolution mass spectrometry, the presence of PFAS has been studied in two regions of Gipuzkoa with high industrial activity (Urola and Goierri) where water samples from three different basins have been taken from several towns.

Keywords: Per- and polyfluorinated compounds, Drinking Water, High Resolution Mass Spectrometry, Chromatography, Environmental Pollution

3. Sarrera eta motibazioa

Konposatu per- eta polifluoroalkilikoak (PFAS) 1940ko hamarkadan industrialki fabrikatutako produktu kimikoen familia bat dira, eta bere egitura metil edo metileno-karbono atomo erabat fluoratu bat dute gutxienez (ez dute H/Cl/Br/I atomorik) (Wang et al., 2021). Egitura berezi honetan, karbonoz eta fluorrez osatutako kate hidrofobiko bat ageri da hainbat funtzio taldeko buru hidrofilo bati lotua. Irudian PFOA eta PFOS-en egiturak ageri dira, gaur egun ikerketa eta erregulazio gehienak bi konposatu hauen inguruan egin dira. C-F lotura kimika organikoan ezagutzen den lotura kimiko egonkorrenetarikoa bat da. Hori dela eta, PFAS-ek portaera degradazina eta apurtezina daukate eta sintetizatzen diren moduan ingurumenean zein izaki bizidunetara garraiatzeko eta metatzeko gaitasuna dute.

1. irudia. PFOS eta PFOA, PFAS familiako konposatu ezagunenetarikoen egitura kimikoak



Konposatu hauek oso erabiliak dira beren propietate bereziak direla eta (ura eta olioak uxatzea, egonkortasun termikoa eta surfaktante portaera, besteak beste), eta erraz aurki daitezke produktu industrialetan (tefloizko hoditeriatan, itsasontzien margoetan, etab.) eta etxeko gailuetan (zartaginetan, gore-tex-dun oihaleetan, etab.). Hori dela eta, gaur egun, nonahiko kutsadura gisa aurki daitezke ingurumenean (Manojkumar et al., 2023). Konposatu egonkor hauek distantzia luzez transportatu daitezke eta horrela industria eremuetatik erreka eta urtegiara garraiatu eta gure edateko uretan bukatu (Ahrens et al., 2023; Han et al., 2022; Zhao et al., 2012). Ameriketako Estatu Batuetako Ingurumena Babesteko Agentziaren arabera, 8000 PFASek osatzen dute munduan erabiltzen diren produktu kimikoen familia hau (Pelch et al., 2019). Hala ere, gero eta kezka handiagoa dago konposatu horien inguruetatik, batez ere kate laburragoengatik (C3-C5 kate-luzerak), uraren zikloan sar baitaitezke fabrikazioaren, aplikazioaren eta deuseztapenaren ondorioz. Ikerketa batzuek jakinarazi dute PFASak daudela lurpeko uretan eta ur gezako beste gorputz batzuetan, edateko uretan gerta daitekeenaren adierazle gisa. Esparru honetan aurretik burututako beste ikerketetan PFBA, PFHpA, PFBS eta PFHpS-ren presentzia aurkitu zen aipatutako kezkak berretsiz (EFSA CONTAMEFSA et al., 2020).

Konposatu hauek iraunkorrak dira eta gizakiengan meta daitezke denboran zehar, dietaren bidez (adibidez, edateko ura edo arrautzak), edota airearen zein hautsaren bidez, eta gaur egun nonahi topa daitezke kutsatzaile gisa ingurumenean (Cserbik et al., 2024; D'Ambro et al., 2023; Li et al., 2021). Aipatu bezala, konposatu hauek, batez ere kate laburreko PFASak ($C < 6$), uraren zikloan ager daitezke fabrikazio, aplikazio eta deuseztapen prozesuen ondorioz, eta gaur egungo uraren tratamenduak ez dira gai edateko uretatik kentzeko, beraz, gizakietara ailegatzen dira edateko uretan (Teymoorian et al., 2023). Bere izaera anfipatikoak (uretan zein oliotan solugarriak) ahalbidetzen du edateko uretan disolbagarriak izatea, horrela, zenbait ikerketen arabera edateko ura da PFAS esposizio iturririk nagusia gizakietan (Field & Seow, 2017; Rayne & Forest, 2009; Teymoorian et al., 2023).

Ondorioz, gaur egun PFAS batzuk Edateko Uraren Europako Zuzentarauan (EB 2020/2184) ageri dira zaintza eskatzen duen parametro gisa. Gehienezko muga-balio parametrikoa $0,1 \mu\text{g/L}$ -koa da PFAS isolatu batzuentzat eta $0,5 \mu\text{g/L}$ -koa hautatutako 20 PFASen baturarako, azido karboxilikoak eta azido sulfonikoak barne (C4-C13) (Zuzentaru 2020/2184).

Hala ere, ageri diren araudi zein monitorizazio programa askotan soilik PFAS batzuk neurtzen dira eta jakina da, gaur egungo erregulazioekin, industrien PFAS berriak sintetizatu eta erabiltzen ari direla arrisku gutxiagoko alternatiba gisa; eter lotura duten PFAS-ak, Gen X bezala, besteak beste (Joeress et al., 2020). Ordea, PFAS “emergente” edo berri hauen kaltegarritasuna oraindik ez dago argi, bai batzutan konposatu hauen egiturak ezezagunak direlako, bai egindako ikerketetan ondorioak lausoak direlako osasunean edo ingurumenean eragindako efektuei buruz (European Environment Agency, 2019; Manojkumar et al., 2023).

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

PFASekiko esposizioa, bereziki adin goiztiarretan, zenbait osasun arazo eragin ditzake, adibidez: neurogarapen arazoak, obesitatea, arazoak ugalketa sisteman, gibel zein bularreko minbizia eta abar (Bloom et al., 2022; Goudarzi et al., 2016; Guerrini et al., 2024). Hori dela eta, konposatu hauen monitorizazioa ezinbestekoa da jakiteko zein mailatan aurkitzen diren gure ingurugiroan.

Urola eta Goierri Gipuzkoaldean kokatutako bi eskualde dira, non zenbait urtez industria aktibitate altua egon den, gaur egun mantentzen dena. Bi eskualde hauetan zenbait herrialde daude zeinak hainbat ur-arrotatik hornitzen diren: Arriaran (Goierri), Barrendiola (Urola) eta Ibaieder (Urola) nagusienak izanik. Bestalde, aztertutako eremu honetan badaude zenbait herri berariazko ur iturriaz baliatzen direnak, hauek laugarren kategoria batean sartu ditugularik 2. Irudian ikus daitezkeen moduan.

Konposatu hauen egiturak oso aldakorak izan daitezke, talde funtzionalaren arabera polaritate zein ionizazio ahalmen ezberdinak baidituzte; ohikoenak azido karboxilikoak eta sulfonikoak izaten dira, baina eterrak, alkoholak eta amidak ere badaude. Oro har, PFASak determinatzeko erabiltzen den metodo ohikoena alderantzizko faseko kromatografia likidoa da, detektagailu moduan masa espektrometroa erabiliz elektrospray ionizazioarekin (Al Amin et al., 2020; Bugsel et al., 2023). Teknika honek ahalbidetzen digu alde batetik konposatuaren banaketa, hauek euskarri batekiko (zutabea) eta fase mugikorrarekiko duten afinitatearen arabera (kromatografia), eta bestetik identifikazioa eta kuantifikazioa, konposatuak ionizatu ostean duten masa kargaren (m/z) arabera ezberdinduz eta erakusten duten intentsitatea edo betetzen duten azaleraren arabera kuantifikatuz (masa espektrometria). Erauzketa metodoari dagokionez, nahiz eta metodo anitz topatu, hedatuena fase solidoko erauzketa izaten da, teknika sinplea, azkarra eta errepikakorra izanik.

Mota askotariko PFASak aldi berean kuantifika ditzakeen metodo analitiko bat, ezinbestekoa da hauen presentzia modu eraginkor batean determinatzeko. Era berean, gaur egungo tresna analitikoek, bereizmen altuko masa espektrometriak kasu, ahalbidetzen digute ez bakarrik analisi bideratu bat egitea, baizik eta konbinatzea neurketa bakar batean analisi bideratua zein ez bideratua (Caballero-Casero et al., 2021; Miaz et al., 2020). Mota honetako analisisetan neurtutako kromatogrametatik informazio guztia erauzten da eta alde batetik analisi kuantitatibo bideratua egin daiteke (estandar puruak eskuragarri daudenean), eta bestetik, PFASen osagaien zerrenda orokorra izanik, nahiz eta gehienek estandarrik ez izan (susmagarrien analisia), ur-laginetan egon daitezkeen PFAS berriak identifikatu ahal ditugu. Horretarako, konposatuaren profil isotopikoa, masa-espektroa (MS^n) eta masa-galera erabiliz egitura probableak lor daitezke eta horietatik batzuk erabat identifikatu ere.

Hori dela eta, lan honen lehenengo helburua da metodo analitiko bat garatzea PFASak edateko uretan determinatzeko, bai era bideratuan (kuantitatiboki), baita era ez bideratuan (kualitatiboki) ere, ahalik eta PFAS gehien identifikatu ahal izateko.

Jakinda konposatu hauek ez direla soilik gaur egungo tresnetan topatzen, baizik eta industrietatik isuri daitezkeela eta industriadetik haratago dauden herrialdeetara garraiatu, lan honen beste helburuetariko bat da PFASen profila aztertzea Gipuzkoako eremu honetan, konposatu hauen monitorizazioaren bidez, zonalde honetan kokatzen diren urtegi nagusietan: Arriaran (Goierri), Ibaieder (Urola) eta Barrendiola (Urola), zein urtegi hauetatik hornitzen diren herrialdeetan.

2 irudia. PFASen monitorizazioa burututako zonaldeko herrialdeak (herri bakoitzak laginketa puntu bat adierazten du eta koloreek uren jatorrizko urtegia adierazten dute).



3. Ikerketaren muina

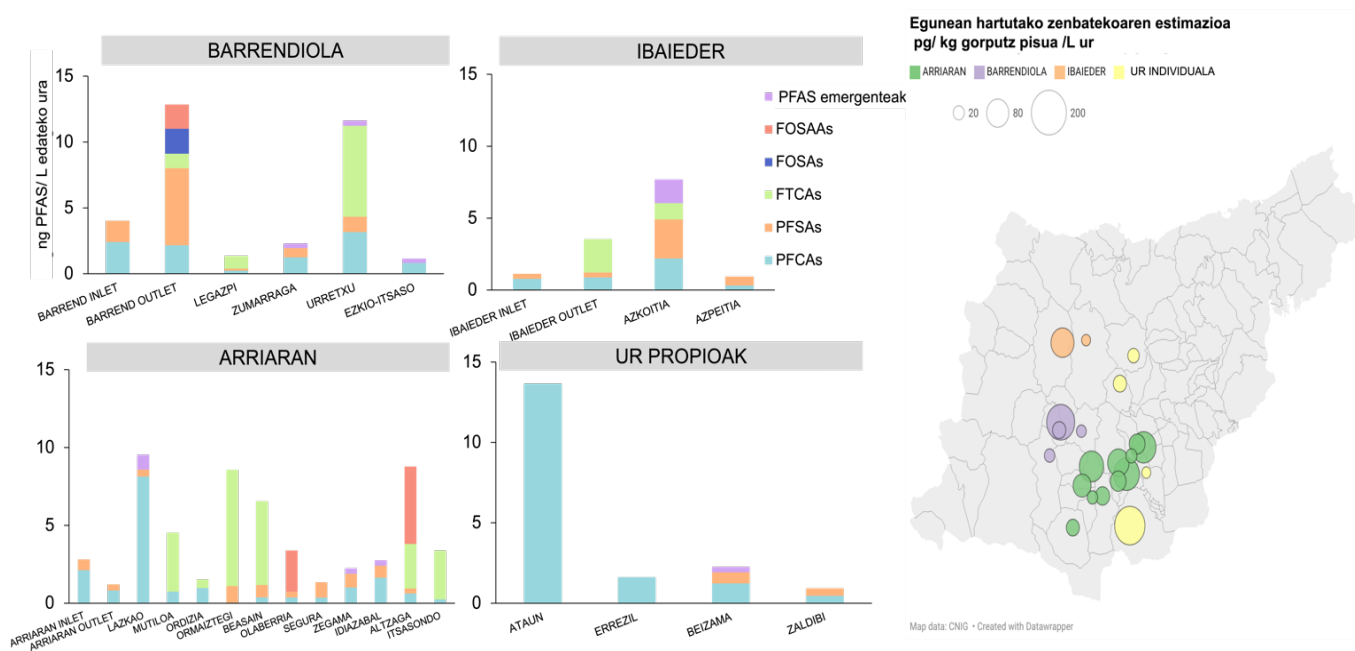
Lagin guztietan detekzio-mugetatik gorago kontzentrazioak neurtu ziren (ikus 4. irudia), eta horien artean aipatu behar dira PFAS familia hauek: azido karboxilikoak (PFCAs), azido sulfonikoak (PFSAk) eta fluorotelomeroen azidoak (FTCAk). PFAS espezie emergenteak edo prekurtsoak ere detektatu ziren, hala nola, GenX, ADONA edo F-53B, baita FOSAK eta FOSAAk ere. Hala eta guztiz ere, PFASen kontzentrazioen batukaria indarrean dagoen araudiaren mugatik behera zeuden, 0,5µg/L-tik behera, hain zuzen.

Era berean, egunero hartutako PFAS balioak kalkulatzeko (1) formula erabili zen, non C_{DW} (pg/L) PFASen kontzentrazioa da eta DI_{DW} (L/kg gorputz pisua/ egun) hartutako batezbesteko ur bolumena kilo bakoitzeko (Maksat Babayev et al., 2022).

$$ED_{PFAS} = C_{PFAS} \times DI_{DW} \quad (1)$$

4. irudian ikus daitekeen moduan, hiriz hiriko profil desberdinak ageri ziren, PFASen profiletan aldaketa posibleren bat detektatzeko jarraipen-azterlan mota horren garrantzia azpimarratuz. Gainera, aipatu beharra dago Barrendiola eta Ibaieder edateko uren araztegien kasuan PFAS mailak handitu egin zirela tratamenduaren ondoren, PFASak kentzeko urrats espezifikoak eta tankeetan edo hodietan erabilitako edateko uren araztegien berrikuspena behar direla azaleratuz.

4. irudia. Ezkerrean, edateko uretan kuantifikatutako PFASen hainbat familiaren mailak. Eskuinean, egunean edateko uretan hartutako PFASen zenbateko estimazioa laginketa puntu ezberdinetan



Susmagarrien analisiari dagokionez, soilik 2a. Mailako (izena eta egitura probablea) eta 3a. Mailako (formula kimiko probablea) konposatuak identifikatu ditugu. 1.taulan ikusten den moduan, bi eskualdeetan zein ur arro ezberdinetan identifikatutako kandidatu kopurua eta identifikazio-mailak oso antzekoak dira. Ibaiederren kasuan, kandidatu gutxiago anotatu diren un-arroa izan da.

1. taula. Identifikatutako kandidatoak eta identifikazio-mailak (egitura probablea, 2a, liburutegiko espektro eta behin-behineko hautagaien arabera, 3a, posizio-isomerorako hautagaiak) aztertutako eskualdeetan eta ur-arro desberdinetan.

Schymansky identifikazio maila		Aztertutako eskualdeak		Aztertutako ur-arroak				Identifikatutako PFAS familia nagusiak
Mailak	Identifikazio konfidantza	UROLA	GOIERRI	ARRIARAN	BARRENDIOLA	IBAIEDER	OWN WATER	
2a	Liburutegiko espektroek bat egiten dute (formula probablea eta izena)	13	12	11	11	8	11	Ester fluoratuak (N = 5) Alkohol fluoratuak (N = 3) Zetona fluoratuak (N = 4), Kinolinak (N = 1)
3a	Posizio-isomeroak hautagai moduan (formula probablea)	6	7	6	3	4	3	Azido sulfoniko fluorotelomeroak (N = 1) Aldehido aromatiko fluoratuak (N = 1).
								4 eta 14 karbono atomo eta 5 eta 13 fluor atomo arteko formula molekularrak erakusten zituzten, O, P, Cl edo S bezalako heteratomoak zituztenak

4. Ondorioak

Lan honetan, edateko uretan PFAS arautuak eta ez-arautuak ebaluatzeke metodo analitiko integral bat garatu eta balioztatu da. Gainera, baliozkotutako metodoa Gipuzkoako industria-jarduera handia duten azterketa-eremu bateko hiru ur-arro desberdinetako benetako laginei aplikatu da. PFAS estaldura zabalagoa lortzeko analisi zuzendua zein ez-zuzenduaren bidez (susmagarrien analisia) aztertu dira laginak, bereizmen altuko masa espektrometriaren baliabideak ustiatuz. Lortutako emaitzak PFASen presentzia erakutsi dute laginketa puntu guztietan, nahiz eta legediaren mailatik beherakoak izan. PFAS profil ezberdinak identifikatu dira ur-arro ezberdinetan eta egunean hartutako PFASen estimazioak tendentzia ezberdinak erakutsi dituzte lagin puntu batetik bestera. Susmagarrien analisiak beste PFAS batzuk identifikatzeko eta anotatzeko aukera eman digu PFAS familia berriak erakutsiz, hala nola, alkohol fluoratuak, zetona fluoratuak, ester fluoratuak, kinolinak eta gure analisi bideratuko zerrendan ez zeuden bestelako PFASak.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetatik abiatuta planteatzen diren erronkak eta bideak hainbat dira; alde batetik konposatu hauen monitorizazioarekin jarraitzea ez soilik legearen barnean dauden PFASak kuantifikatuz, baizik eta bestelako PFAS (emergenteak, prekurtsoreak, etab.) ere kontuan izanda; bestetik, gaur egun dauzkagun baliabide analitikoek susmagarrien analisia egitea ahalbidetzen

digute, eta identifikatutako konposatu "ezezagun" horiei izena jar dakieke. Gainera, estandar puruaren bidez, konposatu horiek kuantifikatu daitezke. Hurrengo urratsak tresna honen garapen zabalagoa eta identifikazio metodologiaren berrespena izan daitezke. Azkenik, lortutako emaitzak ikusita, orohar aztertutako zonaldeak nahiz eta ez duen erregulatutako PFAS mailak gainditzin, herriz herri hauen presentzia zabala izan da, konposatu hauen presentzia ekiditeko neurriak edo monitorizazio programak moldatzearen beharra iradokiz.

6. Erreferentziak

- Ahrens, L., Rakovic, J., Ekdahl, S., & Kallenborn, R. (2023). Environmental distribution of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) on Svalbard: Local sources and long-range transport to the Arctic. *Chemosphere*, 345, 140463. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140463>
- Al Amin, Md., Sobhani, Z., Liu, Y., Dharmaraja, R., Chadalavada, S., Naidu, R., Chalker, J. M., & Fang, C. (2020). Recent advances in the analysis of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)—A review. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100879. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100879>
- Bloom, M. S., Commodore, S., Ferguson, P. L., Neelon, B., Pearce, J. L., Baumer, A., Newman, R. B., Grobman, W., Tita, A., Roberts, J., Skupski, D., Palomares, K., Nageotte, M., Kannan, K., Zhang, C., Wapner, R., Vena, J. E., & Hunt, K. J. (2022). Association between gestational PFAS exposure and Children's adiposity in a diverse population. *Environmental Research*, 203, 111820. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111820>
- Bugsel, B., Zweigle, J., & Wiener, C. (2023). Nontarget screening strategies for PFAS prioritization and identification by high resolution mass spectrometry: A review. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 40, e00216. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2023.e00216>
- Caballero-Casero, N., Belova, L., Vervliet, P., Antignac, J.-P., Castaño, A., Debrauwer, L., López, M. E., Huber, C., Klanova, J., Krauss, M., Lommen, A., Mol, H. G. J., Oberacher, H., Pardo, O., Price, E. J., Reinstadler, V., Vitale, C. M., Van Nuijs, A. L. N., & Covaci, A. (2021). Towards harmonised criteria in quality assurance and quality control of suspect and non-target LC-HRMS analytical workflows for screening of emerging contaminants in human biomonitoring. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 136, 116201. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116201>
- Cserbik, D., Casas, M., Flores, C., Paraian, A., Haug, L. S., Rivas, I., Bustamante, M., Dadvand, P., Sunyer, J., Vrijheid, M., & Villanueva, C. M. (2024). Concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in paired tap water and blood samples during pregnancy. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34(1), 90-96. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00581-7>
- D'Ambro, E. L., Murphy, B. N., Bash, J. O., Gilliam, R. C., & Pye, H. O. T. (2023). Predictions of PFAS regional-scale atmospheric deposition and ambient air exposure. *Science of The Total Environment*, 902, 166256. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166256>
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAMEFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAMEFSA, Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L. (Ron), Leblanc, J.-C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Vleminckx, C., Wallace, H., Barregård, L., Ceccatelli, S., ... Schwerdtle, T. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18(9), e06223. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- European Environment Agency. (2019). *Emerging chemical risks in Europe—'PFAS'—European Environment Agency* [Briefing]. <https://www.eea.europa.eu/themes/human/chemicals/emerging-chemical-risks-in-europe>
- Goudarzi, H., Miyashita, C., Okada, E., Kashino, I., Kobayashi, S., Chen, C.-J., Ito, S., Araki, A., Matsuura, H., Ito, Y. M., & Kishi, R. (2016). Effects of prenatal exposure to perfluoroalkyl acids on prevalence of allergic diseases among 4-year-old children. *Environment International*, 94, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.020>
- Guerrini, C., Sunyer-Caldú, A., Gil-Solsona, R., Escibano, J., Vinaixa, M., Gago-Ferrero, P., & Ramírez, N. (2024). Early-life chemical exposome: Comprehensive strategies for wide-scope screening of organic compounds. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 180, 117903. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117903>
- Han, T., Chen, J., Lin, K., He, X., Li, S., Xu, T., Xin, M., Wang, B., Liu, C., & Wang, J. (2022). Spatial distribution, vertical profiles and transport of legacy and emerging per- and polyfluoroalkyl substances in the Indian Ocean. *Journal of Hazardous Materials*, 129264. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129264>
- Joerss, H., Xie, Z., Wagner, C. C., von Appen, W.-J., Sunderland, E. M., & Ebinghaus, R. (2020). Transport of Legacy Perfluoroalkyl Substances and the Replacement Compound HFPO-DA through the Atlantic Gateway to the Arctic Ocean—Is the Arctic a Sink or a Source? *Environmental Science & Technology*, 54(16), 9958-9967. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00228>
- Li, N., Ying, G.-G., Hong, H., & Deng, W.-J. (2021). Perfluoroalkyl substances in the urine and hair of preschool children, airborne particles in kindergartens, and drinking water in Hong Kong. *Environmental*

Pollution, 270, 116219. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116219>

Liu, S., Junaid, M., Zhong, W., Zhu, Y., & Xu, N. (2020). A sensitive method for simultaneous determination of 12 classes of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater by ultrahigh performance liquid chromatography coupled with quadrupole orbitrap high resolution mass spectrometry. *Chemosphere*, 251, 126327. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126327>

Maksat Babayev, Staci L. Capozzi, Pamela Miller, Kelly R. McLaughlin, Samarys Seguinot Medina, Samuel Byrne, Guomao Zheng, & Amina Salamova. (2022). *PFAS in drinking water and serum of the people of a southeast Alaska community: A pilot study*. 305, 119-246. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119246>

Manojkumar, Y., Pilli, S., Rao, P. V., & Tyagi, R. D. (2023). Sources, occurrence and toxic effects of emerging per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Neurotoxicology and Teratology*, 97, 107174. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2023.107174>

Miaz, L. T., Plassmann, M. M., Gyllenhammar, I., Bignert, A., Sandblom, O., Lignell, S., Glynn, A., & Benskin, J. P. (2020). Temporal trends of suspect- and target-per/polyfluoroalkyl substances (PFAS), extractable organic fluorine (EOF) and total fluorine (TF) in pooled serum from first-time mothers in Uppsala, Sweden, 1996–2017. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(4), 1071-1083. <https://doi.org/10.1039/C9EM00502A>

Pelch, K. E., Reade, A., Wolffe, T. A. M., & Kwiatkowski, C. F. (2019). PFAS health effects database: Protocol for a systematic evidence map. *Environment International*, 130, 104851. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.045>

Teymoorian, T., Munoz, G., Vo Duy, S., Liu, J., & Sauvé, S. (2023). Tracking PFAS in Drinking Water: A Review of Analytical Methods and Worldwide Occurrence Trends in Tap Water and Bottled Water. *ACS ES&T Water*, 3(2), 246-261. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00387>

Wang, Z., Buser, A. M., Cousins, I. T., Demattio, S., Drost, W., Johansson, O., Ohno, K., Patlewicz, G., Richard, A. M., Walker, G. W., White, G. S., & Leinala, E. (2021). A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06896>

Zhao, Z., Xie, Z., Möller, A., Sturm, R., Tang, J., Zhang, G., & Ebinghaus, R. (2012). Distribution and long-range transport of polyfluoroalkyl substances in the Arctic, Atlantic Ocean and Antarctic coast. *Environmental Pollution*, 170, 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.06.004>

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honek diruz lagundu zuten Espainiako Ikerketa Agentzia Estatalak (AEI) eta Eskualde Garapeneko Europako Funtsak, AQUASOMIC PID2020 – 11766RB-C31 proiektuaren bidez, Eusko Jaurlaritzako Osasun Sailak (PID 2021111053) eta Eusko Jaurlaritzak (IT1446 – 22), Ikerkuntzarako Euskal Sistemaren talde kontsolidatu gisa jasotako dirulaguntzen bidez aurrera eramatea posible izan da. ASRk ere eskerrak ematen dizkio Eusko Jaurlaritzari PRE_2024_2_0103 doktoretza aurreko bekagatik. JFACek, halaber, Euskal Herriko Unibertsitateari (UPV/EHU), Espainiako Unibertsitate Ministerioari eta Europar Batasunari (Next Generation EU) aitortzen die doktoretza ondoko Maria Zambrano beka.