

Antropozenoa: «Urre-koloreko iltze»aren bila (The Anthropocene: looking for the «Golden Spike»)

María Jesús Irabien*, Alejandro Cearreta, Ane García-Artola, Jon Gardoki

Geologia Saila. Zientzia eta Teknologia Fakultatea (UPV/EHU)

LABURPENA: *Antropozeno* hitzak erreferentzia egiten dio gizakia Holozeno aurreko dinamika naturalak aldatzeko gai eta indar geologiko erabakigarri bihurtu den denbora tarte geologikoari. 2009az geroztik, Antropozeno lantaldea Antropozenoa ikuspegi geologikotik definitzen aritu da, Estratigrafiako Nazioarteko Batzordeak ezarritako arauari jarraituz eta, hortaz, unitate kronoestratigrafikoa, beheko mugaren adina eta haren markatzaile estratigrafiko nagusiak adierazten dituzten proposamenak eginez. Badirudi erradionuklido artifizialek (^{137}Cs , ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{240}Pu) potentzial handia eskaintzen dutela, ingurunean sinkronikoki agertzen direlako 1950 inguruko «Great Acceleration» prozesuan. Hala eta guztiz ere, oraindik azterketa sakonagoak behar dira denbora geologiko hau formalizatzeko behar diren irizpide estratigrafiko guztiak betetzen dituen GSSP egokia aurkitzeko. Lan honen helburua da Antropozeno lantaldearen jardura, *Antropozeno* kontzeptua egituratzen duten eztabaida-elementu nagusiak eta orain arte lortutako ondorio nagusiak laburbiltzea da.

HITZ GAKOAK: Estratotipoa, erregistro geologikoa, Antropozenoaren inguruko lantaldea, erradionuklidoak, teknofosilak.

ABSTRACT: The term Anthropocene refers to the geological time interval in which humans have become a significant geological force capable of altering the previous relatively stable natural dynamics of the Holocene Epoch. Since 2009 the Anthropocene Working Group has been focused on defining the Anthropocene from a geological point of view, following the standards established by the International Commission on Stratigraphy and, thus, proposing what type of chronostratigraphic unit it represents, the age of the lower boundary and its main stratigraphic indicators. Artificial radionuclides (^{137}Cs , ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{240}Pu) appear to offer great potential owing to their synchronous onset in the environment, coinciding approximately with the «Great Acceleration» of about 1950. However, more in-depth studies are still needed to find the appropriate GSSP that meets all the necessary stratigraphic criteria to formalize this geological time. This work is intended to summarize the activity of the Anthropocene Working Group, the main elements of discussion that vertebrate the Anthropocene concept and the main conclusions reached so far.

KEYWORDS: Stratotype, geological record, Anthropocene Working Group, radionuclides, technofossils.

* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** María Jesús Irabien. Geologia Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea UPV/EHU, Sarriena auzoa, z/g (48940 Leioa). – mariajesus.irabien@ehu.eus – <https://orcid.org/0000-0002-5905-1238>

Nola aipatu / How to cite: Irabien, María Jesús; Cearreta, Alejandro; García-Artola, Ane; Gardoki, Jon (2022). «Antropozenoa: "Urre-koloreko iltze"aren bila». *Ekaia*, 42, 2022, 11-23. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.23069>).

Jasotze-data: 2021, irailak 20; Onartze-data: 2021, abenduak 17.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2022 UPV/EHU



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

1. SARRERA

2000ko otsailean, giza jarduerak ozeanoetan, kontinenteetan eta Lurreko atmosferan zuten eraginari buruz eztabaidatzeko konferentzia zientifikoa egin zen Cuernavacan (Mexiko). Zenbait ikerlariri behatutako aldatetarik Holozenoan, hau da, azken glaziazioaren amaieran hasi zen gaurko epoka geologikoan gertatu direla entzun ostean, Paul Crutzen, ozono geruzaren zuloari buruz egindako lanengatik 1995ean Kimikako Nobel saria irabazia bera, altxatu egin zen eta oihu egin zuen:

«Ez! Ez gara Holozenoan bizi, Antropozenoan baizik!»

Crutzen-en iritziz, gizakien ekintzek Lurra sistemaren funtzionamendu globalean duten eragin erabakigarriak pasarte geologiko berri batera eramane gaitu, Antropozenora hain zuzen ere [1]. Terminoak berak azpimarratzen du gizakien protagonismoa gure planetaren gaurko bilakaeran, grekerazko *anthropos* (gizona) eta *cene* (berria) hitzetatik eratorria baita. Giza jarduerak lehen mailako indar geologiko bihurtu dira, bulkanismoa, lurrikarak edo lurraren orbitaren aldaketak parekoak, eta Holozenoaren ezaugarri izan ziren egonkortasun erlatiboko baldintzak aldatu dituzte [2]. Gainera, eragile naturalek bezala, eraten ari diren material geologikoetan (sedimentuak, arroak edo izotz glaziarreko biltegiak) aztarna bereizgarriak utzi dituzte. Gizakien eraginaren ebidentzia estratigrafikoak aurkitzen ahal direnez, eta hitzaren erabilera informalak lortu zuen berehalako ikusgarritasun sozial eta akademikoa ikusita, Estratigrafiako Nazioarteko Batzordeko (International Commission on Stratigraphy/ICS) Kuaternarioko Estratigrafiari buruzko Azpibatzordeak (Subcommission on Quaternary Stratigraphy/SQS) Antropozenoaren inguruko lantalde bat (Anthropocene Working Group/AWG) antolatzea erabaki zuen. Haren helburua Antropozenoa Nazioarteko Eskala Kronoestratigrafikoaren barnean formalizatzeak aukera aztertzea da. Eskala horrek Lurraren historiako 4.600 milioi urteak denbora geologikoko unitatetan banatzen ditu (eonak, aroak, periodoak, epokak eta adinak).

Lan honek AWGk behin betiko proposamena SQSra hemendik gutxira bidali aurretik taldearen jardura egituratu duten eztabaida-elementu nagusiak jasotzen ditu, baita orain arte ateratu dituzten ondorioak ere.

2. ANTROPOZENOAN GAUDE?

Ofizialki, Holozenoan bizi gara, alegia, duela 11.650 ± 99 urte BP (Before Present edo Orainaren Aurretik, oraina mendebaldeko egutegiko 1950. urteari dagokiola jota) hasi zen epoka geologikoan. Zehatzago, beraren azken adinean gaude, Meghalayiarrean [4]. ICSk 2018an onartutako

tarte honen hasiera (4.200 urte BP) 200-300 urte iraun zuen lehorte handi batekin bat dator. Denboraldi idor hori korronte ozeaniko eta atmosferikoaren zirkulazioaren berrantolaketa baten ondorioz sortu zen, eta eragin handia izan zuen nekazaritzan aritzen ziren zibilizazioetan (Egipton, Grezian, Sirian, Palestinan, Mesopotamian eta Indusen eta Yangtzeren haranetan). Beraz, planetan bizi ziren gizaki askorentzat ondorio kaltegarriak ekarri zituen gertaera klimatiko naturala izan zen. Egoera horren kontraste gisa, AWGk giza jarduerak eragindako zenbait fenomeno identifikatu ditu, Holozenoa bere aldakortasun naturaletik atera dutenak; izan ere, aurrez ezagutzen ez zen eskala batean gertatzen dira edo guztiz berriak dira (<http://quaternary.stratigraphy.org/working-groups/anthropocene/>; azken kontsulta: 2021eko abuztuaren 22an). Horien artean:

- Urbanizazioarekin eta nekazaritzarekin lotutako higaduraren eta sedimentuen garraioaren magnitude-ordena bateko igoera.
- Giza jarduerak karbono, nitrogeno, fosforo eta hainbat metalen zirkulazioan sortu dituzten perturbazio larriak eta konposatu kimiko berrien sakabanatzea. Perturbazio horiek ingurumen-aldaketak sortu dituzte; besteak beste, berotze globala, itsas mailaren igoera, ozeanoen azidotzea eta «zona hil»en hedapena eremu ozeanikoan.
- Aldaketa azkarrak biosferan, lehorrean zein itsasoan: habitat-galera, landare-populazioen eta etxe-animalien ugaltzea, suntsipenak eta espezie arrotzen inbasioa.
- «Mineral» eta «arroka» berri askoren ugaritze eta sakabanatze globala (hormigoiarena, errautsena eta plastikoena barne), baita gai horietatik eta beste batzuetatik sortutako hamar mila «teknofosil» ere. Teknofosilak denboran zehar kontserbatzen diren teknosferako hondakinak dira [5]. Ikuspegi geologikotik, fosil trazarekin edo iknofosilekin pareka daitezke, organismoen aktibitatearen erregistroak baitira. Gizakiek ekoiztutako artefaktuen tamaina oso aldakorra da, errepideetako eta hirietako asfaltozko eremu handietatik hasi eta lur-zoruak eta urak inbaditzen dituzten mikroplastikoetaraino, kontsumo masiboko elementuen hondakinetatik igarota. Teknofosil bihurtu daitezkeen elementuek, hala nola sakelako telefonoak, boligrafoak, jostailuak eta abar, aniztasun morfologiko ia infinitua izateaz gain, oso azkar eboluzionatzen dute kontsumoaren presioa dela eta. Hala bada, metakin sedimentarioetan zehaztasun handiko datazioak egiteko erabilgarriak izan daitezke.

Ebidentzia instrumental eta geologikoek Lurra sistema Holozenoko egoeratik (erlatiboki egonkorra) urruntzen ari dela adierazten dute. Klima berri beroago batera eta biosfera oso ezberdin batera hurbiltzen ari gara, muga atzeraezin batera [6]. Behatutako aldaketek, planeta eskalakoak eta oso azkarrak izateaz gain, markatzaile estratigrafiko bereizgarriak agerra-

razi dituzte (sedimentologikoak, geokimikoak, paleontologikoak), eta Holozenoan sortu zirenekin alderatuta Antropozenoa Lurraren historia geologikoaren pasarte berritzaile hartzeko bezain ezberdinak dira [7]. Hori dela eta, AWGk defendatzen du unitate kronoestratigrafiko gisa formalizatzea Holozenoaren maila hierarkiko berarekin, hots, epoka/serie modura [8]: Antropozeno epokak barnean hartzen duen denbora tarteari erreferentzia egingo lioke; aldiz, Antropozeno serieak denbora horretan zehar geruzetan gordetako unitate fisiko baliokidea izendatuko luke.

3. NOIZ HASI ZEN ANTROPOZENOA?

Antropozenoaren hasieraren datak eztabaida handi eta sutsua piztu du mundu akademikoan [9, 10, 11], neurri handi batean terminoa erabiltzen duten jakintza-arloetan hartu diren esanahi desberdinengatik [12, 13]. Hainbat aukera proposatu diren arren [14], komeni da gogoratzea termino hori ez dela azaldu giza aztarnaren lehen agerpena erregistro geologikoan jasotzeko asmoz. Aitzitik, haren esangura Geologiaren ikuspegi antropozentrikotik aldentu da, eta giza jarduerak Lurra sisteman eragindako aldaketan espazio- eta denbora-ekalan, izaeran eta iraunkortasunean jartzen du arreta [9]. Ez dago zalantzarik gizakiek aztarnak utzi dituztela Lurrean Pleistozenotik [15, 16], baina historiaren zatirik handienean haien inpaktua oso modu desberdinean islatu da, eskala geografikoan zein kronologikoan. Horren adibide ona Industria Iraultza dugu, Crutzen-ek Antropozenoaren hasieratzat proposatu zuen gertaera [1, 2]. 1784an Britainia Handian hasi zen arren, James Watt-ek lurrin-makina asmatu zuenean, mende bat baino gehiago igaro behar izan zuen Europa kontinentalera eta Estatu Batuetara zabaltzeko eta, gaur egun, garapen bidean dauden herrialdeetan oraindik indarrean da, hala nola Txinan edo Indian [9]. Era berean, prozesu horrekin lotutako fenomenoek bilakaera mailakatua izan zuten lehen urteetan; esate baterako, erregai fosilen neurritz kanpoko kontsumoak eragin duen atmosferako CO₂-aren mailen hazkundea (<https://www.co2levels.org/>; azken kontsulta: 2021eko irailaren 2an): 282,9 ppm 1800. urtean, 284,4 ppm 1850ean, 295,8 ppm 1900. urtean eta 310,7 ppm 1950ean.

Eboluzio patxadatsu hori oso bestelakoa da II. Mundu Gerraren ostean («Great Acceleration» delakoaren aldian) gertatu ziren aldaketa erradikalekin alderatuz gero [17]. 1950eko hamarkadan gizarte- eta ekonomia-adierazle batzuk (munduko biztanleria, uraren eta ongarrrien kontsumoa, Barne Produktu Gordin Globala) bat-batean eta aldi berean hazten hasi ziren, eta horiekin batera zenbait ingurumen parametro agertu ziren, hala nola lurrazalaren tenperaturaren igoera, oihan tropikalaren azaleraren murrizketa eta espezien galera) [18]. Negutegi-efektuaren eragile nagusia den atmosferako CO₂-aren bilakaerak ere prozesuen azelerazioaren magnitudearen berri ematen du: 1950ean 310,7 ppm izatetik 2000.

urtean 366,4 ppm izatera pasatu zen, eta 2020. urtean 414 ppm-raino iritsi zen. Gainera, ez dirudi egoerak hobera egingo duenik, 2021eko maiatzeko CO₂-aren neurketen batez besteko balioa 419 ppm izan zelako, azken 3 milioi urteetako baliorik altuena. 1800. eta 1950. urteen artean 26,3 ppm-ko igoera izan zen, hau da, urteko 0,17 ppm-koa; aldiz, 1950. eta 2020. urteen artean 93,3 ppm-koa izan zen (1,33 ppm urteko, batez beste). Giza esku-hartze horretatik eratorritako tenperatura-igoerari planetak emandako erantzunak berehalakoak izan dira: izotz-masaren eta horrek estalitako azaleraren gutxitzea, itsas mailaren igoeraren azkartzea eta ozeanoen azidotzearen bizkortzea [19]. Ikerlari batzuen iritziz [20], lortutako CO₂ mailak hurrengo glaziazioaren hasiera 100.000 urte atzeratzeko bezain handiak dira. Beraz, oso modu ezohikoan luzatzen ari da bizitzen ari garen glaziazio arteko aldia.

1950eko hamarkada gizakiak Holozenoko berezko dinamiketan sortutako aldaketan atari erabakigarria izan zen, eta, horren ondorio estratigrafikoak hiriguneetatik eta industriaguneetatik oso urrun dauden eremu geografikoetan ere aurki daitezkeenez [9], AWGk Antropozenoaren hasiera adierazteko 1950 CE ingurua jo du une egokitza [8, 9, 21].

4. URRE-KOLOREKO ILTZEAREN BILA

Antropozenoa unitate kronoestratigrafiko gisa proposatu ahal izateko, AWGk hura adieraziko duen barruti-estratotipo globaleko ebaki-puntua (Global Stratotype Section Point / GSSP) aurkitu behar du. GSSPa nazioartean adostutako sekzio estratigrafiko bateko erreferentzia-puntua da, eta geologia-denboran etapa baten beheko muga definitzen du. Azaleratzen den lekua zehazteko erabiltzen den metalezko plakari «urre-koloreko iltze» (Golden Spike) ere baderitzo, eta GSSPek hainbat oinarritzko baldintza bete behar dituzte (<https://stratigraphy.org/gssps/>; azken kontsulta: 2021eko abuztuaren 22an):

- Beheko muga zehazteko, korrelazio globalerako potentzial onena eskaintzen duen lehen mailako markatzaile estratigrafiko bat erabili behar da (kasu gehienetan espezie fosil baten lehen agerpeneko datua da).
- Adin bereko beste azaleramenduekiko korrelazioak (eskualde eta planeta mailan) ahalbidetzen dituen bigarren mailako markagailu multzo bat definitu behar da (beste fosil batzuk, parametro kimiakoak, itzulketa geomagnetikoak, etab.).
- Markatzaileak faziesekiko independentea izan behar du.
- Markatzailea agertzen den horizonteak metodo erradiometrikoak erabiliz data daitezkeen mineralak izan behar ditu.
- Sedimentazioak jarraitua izan behar du, fazies aldaketarik gabe.

- Azaleramenduak lodiera egokia izan behar du, eta metamorfismo eta mugimendu tektoniko eta sedimentarioen eraginetik libre egon behar du.
- Ikerketarako irisgarria izateaz gain sarbide librekoa izan behar du.

GSSParen adibide gisa, Kretazeoaren eta Paleogenoaren arteko igarotzeari dagokiona aipa daiteke. Hori herritarrek ezagutzen duten muga geologiko ospetsuenetariko bat da, hegazti ez ziren dinosauroen desagertapenarekin lotuta dagoelako. Aukera bat baino gehiago aztertu ostean, Tunisiako El Kef izeneko azaleramenduan jartzea erabaki zen, hain zuzen ere milimetro gutxiko lodiera duen geruza gorrixkan [22]. Geruza mehe hori itsas ingurune sakonean metaturiko 50 cm-ko potentzia duen buztin ilunezko maila baten oinarrian kokatuta dago. Bere seinale estratigrafikorik bereizgarrienak, oro har adin bereko beste azaleramenduetan ere antzeman daitezkeenak, hauexek dira: iridio-kontzentrazio altua eta nikelaz aberastutako burdin mineral baten (mikroespinela) mikrokristalen agertapena. Bien jatorria duela 66 milioi urte Chicxuluben (Mexiko) gertatutako meteoritoaren talkaren ondorioz planeta osoan zehar hedatu zen hauts eta errauts hondakinezko hodei trinkoan dago. Fenomeno horrek Lurrean bizi ziren espezieen % 50 baino gehiagoren desagertapena ekarri zuen.

Holozenoaren hasiera adierazteko aukeratu zen GSSPa, sedimentuz osatutako metaketa batean egon beharrean, Groenlandian zulatutako NorthGRIP izotz testiguko 1.492,5 metroko sakonerako izotzean dago. Markagailu nagusiak deuterioaren gehiegizko balioen jaitziera malkartsua du. Hori itsasoko azaleko uraren tenperaturaren 2-3 °C-ko jaitzierarekin bat dator, glaziazio arteko aldi batean poloetako izotzak urtean hedatutako ur izotztua iritsi ondoren espero zitekeena. Urre-koloreko iltze horrek bost estratotipo osagarri ditu (lau aintzira-giroan sortuak eta bosgarrena itsasoan), maila berean agertzen diren seinale estratigrafikoen aniztasuna erakusten dutenak eta hainbat ingurune sedimentario eta aldaketaren izaera orokorra berresten dutenak. Azkenik, Goi Holozenoan, Megalayar aroko GSSPa Mawmluh leizeko (Indiako ipar-ekialdeko Meghalaya estatuan) espeleotema batean kokatzen da. Horietan egindako ikerketa isotopikoek Holozeno garaian gertatutako aldaketa klimatikoak berreirakitzeko ahalbidetzen dute [4].

Antropozenoari dagokionez, giza jarduerari estuki lotuta dauden hainbat adierazle estratigrafiko proposatu dira, planeta-mailan hedapen zabala dutenak [21]: arma nuklearren saiakuntzetan atmosferara askatutako erradionuklido artifizialak [24], karbonoaren eta nitrogenoaren konposizio isotopikoaren aldaketa [6], erregai fosilen erabilera industrialetik eratorritako errauts partikula karbonazeoak [25, 26], plastikoak [27, 28], beste «mineral berri batzuk (aleazio metaliko, zementu, zeramika eta abarren produktzioan sortuak) [29], eduki paleontologikoaren aldaketa (espezie natibo eta exoti-

koen nahasketak, mutazioak, etab.) [30, 31], teknofosilak [6] eta bifenilo polikloratuak (Polychlorinated Biphenyls / PCBak) bezalako gai kutsatzailerak [32].

Badirudi erradionuklido artifizialek (^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) adierazle estratigrafikoen korrelazio globalerako lanabes hoberenetarikoa direla, itsasoko sedimentuetan, kontinenteetan eta izotz biltegietan seinale estratigrafiko sinkroniko eta guztiz berria sortu baitzuten [8, 24]. Arma nuklearren probek atmosferara hainbat erradionuklido artifizial igorri zituzten. 1945ean hasi baziren ere, 1951ra arte egindakoek «euri erradioaktibo» nahiko lokalizatua eragiten zuten, hondakinak atmosferako geruza baxuenetara iristen baitziren. Aldiz, 1952tik aurrera egindako fusio termonuklearren saiakuntzen partikula erradioaktiboak estratosferaraino injektatzea lortu zuten, eta hainbat hilabete igaro zuten estratosferan planeta osoan zehar sakabanatu baino lehen. Deposizio handiena 1960ko hamarkadaren hasieran gertatu zen, baina bukaerarako erabat murriztu zen, hain zuzen, 1963an sinatu zen nazioarteko itunaren ondorioz arma nuklearren probak atmosferan egiteari utzi zitzaionean. AWGk, hasiera batean, Antropozenoaren Global Standard Stratigraphic Age / GSSA (adin estratigrafiko estandar globala, nazioartean adostutako erreferentzia kronologikoko unea, denbora geologikoaren eskalan etapa baten beheko muga definitzen duena) 1945eko uztailaren 16a proposatu zuen, alegia, Alamogordoko (Mexiko Berria) lehen bonba atomikoa leherrarazi zen eguna [10]. Proposamen hori azkenean ICSra ofizialki bideratuko ez den arren, erradionuklido artifizial horiek dituzten material guztiei adin antropozenoa esleitzea ahalbidetuko luke. Nolanahi ere, egoera hori ez da berria jada onartuta dauden unitate kronoestratigrafikoei dagokienez, eta paralelismo handia erakusten du Kretazeo-Paleogeno mugan gertatu zenarekin [33], zeren adin kronologikoa Yucatango penintsulan meteoritoak izan zuen inpaktuaren une zehatzari esleitzen zaio, baina hautatutako GSSPak meteoritoaren suntsipenetik eratorritako partikulak gaurko Tunisian metatu ziren unea jasotzen du.

Erradionuklido artifizial ezagunenetako bat ^{137}Cs da, sedimentu gazteen dataziorako sarritan erabiltzen dena [34]. Beraren batez besteko bizitza (30,15 urte) ^{241}Am (432 urte), ^{240}Pu (6.563 urte) eta ^{239}Pu -arena (24.110 urte) baino askoz laburragoa denez, laster desagertuko da sedimentuen erregistrotik. Aldiz, eginiko kalkuluen arabera, ^{239}Pu hurrengo 100.000 urteetan detektatu ahal izango da gaur egungo teknika espektrografikoak erabiliz. Horregatik, AWGk plutonioa Antropozenoaren markagailu nagusitzat hartzearen aldeko botoa eman du [8]. Hori dela eta, eta kontuan harturik euri erradioaktiboa Ipar hemisferioan kontzentratu zela (proba nuklear atmosferiko gehienak Ipar hemisferioan egin zirenez), zentzuzkoa da pentsatzea GSSParen kokapen idealak Ekuatoretik iparraldera 30° eta 60° bitarteko latitudean egon beharko lukeela [24].

Behin AWGk Antropozenoa formalizatzeko funtsezko gai batzuei buruzko erabakiak hartu dituzenez [7], hala nola zein unitate kronoestratigrafiko mota den (epoka/seriea), beheko mugaren adina (xx. mendearen erdialdea) eta adierazle stratigrafiko nagusia (plutonioa), orain haren helburu nagusia da GSSPrako (eta, hala badagokio, estratotipo osagarrietarako) hautagairik onenak bilatzea. Horretarako, hainbat inguruneren alde onak eta txarrak aztertu ditu [21, 35], hala nola metaketa antropogenikoak, aintzirak, itsas arro anoxikoak, estuarioak eta deltak, espeleotemak, koralak, izotz glaziarra, zuhaitzak eta zohikaztegiak. Giza aztarna ingurune sedimentario horietan nola erregistratzen den erakusteko erabili dituzten adibideen artean, Euskal Herrian kokatutako bi azaleramendu daude [35]. Lehenengoa Tunelboka-Gorrondatxeko (Bizkaia) zementuzko hondartzako metakinei dagokie, gehienbat xx. mendearen hasieratik tokiko industria astunak itsasora egindako kontrolik gabeko isurketetatik sortutako jatorri antropogenikoko gaiez osatuak (galdaketa-zepak, adreilu erregogorrek, plastikoak). Metakin horiek giza inpaktua sedimentu-erregistroan ahalik eta intentsitate handienarekin islatzen duten arren, ez dute GSSPa izateko beharrezko jarraitutasunik, barne-higaduraren marka ugari baitituzte, lateralaki maiz aldatzen dira, eta ez dute geruzapenik. Gainera, pikor tamaina larriak erradionuklido artifizialak atxikitzea eragozten du. Bestalde, hondartza horien kontserbazio-ahalmena oso txikia da, uneko itsas igoeraren ondorioz olatuen eraginez higatzen ari baitira. Bigarren adibidea, Urolako estuarioan dago (Gipuzkoa). Estuario honen sedimentuetan ingurune hurbilean garatu diren industria mota desberdinetatik eratorriak diren hiru partikula artifizial mota identifikatu dira: karbonazeoak, metalikoak eta plastikozkoak. Oro har, estuarioko eta deltako eremuak ere ez dira oso egokiak GSSP bat aurkitzeko, hiato (sedimentazio-etenaldiak) ugari izaten dituztelako dinamika naturala dela-eta eta oso populatuta egon ohi direlako historian zehar. Beraz, planeta mailako fenomenoek ez dituzte baldintzatzen giza jarduerak utzitako seinaleak, tokiko prozesuek baizik [35].

5. ANTROPOZENOAREN ETORKIZUNA

AWGk Antropozenoa unitate kronoestratigrafiko gisa ofizialtzeko proposamena lantzen jarraitzen du, baina badira prozesu horrekin kritikoak diren ahotsak, baita lantaldearen beraren barruan ere [35]. Terminoa Lur Zientzien esparruan sortu zen arren, laster hedatu zen arrakasta handiz beste arlo batzuetara (gizarte- eta giza zientziak, arteak, masa-komunikabideak). Hala ere, definizio formalik ez dagoenez, diziplina bakoitzak (ekologia, ozeanografia, geografia, historia, arkeologia, antropologia, filosofia, soziologia, nazioarteko zuzenbidea) eta baita ikertzaile bakoitzak ere bere komenentziara interpretatu ahal izan dute [13]. Ondorioz, ez da harritzekoa terminoa ez formalizatzearen aldeko proposamenak sortu

izana. Horrela, unitate kronologiko informal gisa erabiltzen jarraituko litzateke, modu malguan, Erdi Aroarekin edo Izotz Aro Txikiarekin egiten den bezala [10, 37].

Edonola ere, unitate kronoestratigrafiko berri bat ezartzea ez da lan erraza, ezta azkarra ere eta kritikak ere prozesuaren parte dira. Adibide modura Holozenoaren kasua aipa daiteke: 1867an hasi zena erabiltzen, baina hamazortzi urte baino gehiago igaro behar izan ziren onarpen ofiziala lortu arte. Izan ere, gaur egungo definizio formala, estratotipoa barne, 2005ean onartu zen. AWGk bere proposamena adostea lortzen badu, SQSko kideek onartu beharko lukete, lehenik eta behin. Oniritzia lortzen bada, ICSko kideek ere alde bozkatu beharko lukete. Bi kasuetan, erabakiek gutxienez botoen % 60 biltzen duen gehiengo kualifikatu baten babesa izan beharko dute. Azkenik, Geologia Zientzietako Nazioarteko Erakundearen (International Union of Geological Sciences / IUGS) batzorde exekutiboak berretsi beharko luke (prozesu hau ez da automatikoa, ebaluazio zientifiko gehigarria eskatzen baitu). Izapide horiek guztiak gainditzen dituen ala ez alde batera utzita, argi dago gero eta argitalpen eta jarduera gehiagok aipatzen dutela termino hau (liburuak, artikulatuak, saiakerak, gaiari buruzko aldizkari espezializatuak, prentsako albisteak, dokumentalak, eztabaidak, hitzaldiak, etab.), eta horrek esan nahi du Antropozenoa gelditzeko iritsi dela.

6. ESKER ONAK

Lan hau RTI2018-095678-B-C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE) eta IT976-16 (EJ/GV) proiektuen laguntzaz garatu da. Jon Gardoki doktorego aurreko ikertzaileak Eusko Jaurlaritzako bekaren (PRE_2020_1_0035) babesa jaso du.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CRUTZEN, P.J. eta STOERMER, E.F. 2000. «The «Anthropocene»». *Global Change Newsletter*, **41**, 17-18.
- [2] CRUTZEN, P.J. 2002. «Geology of Mankind». *Nature*, **415**, 23.
- [3] ZALASIEWICZ, J., WILLIAMS, M., SMITH, A., BARRY, T.L., COE, A.L., BOWN, P.R., BRENCHEY, P., CANTRILL, D., GALE, A., GIBBARD, P., GREGORY, F.J., HOUNSLOW, M.W., KERR, A., CRAIG, A., PEARSON, P.N., KNOX, R., POWELL, J., WATERS, C.N., MARSHALL, J., OATES, M., RAWSON, P. eta STONE, P. 2008. «Are we now living in the Anthropocene?». *GSA Today*, **18**, 4-8.
- [4] WALKER, M., HEAD, M.J., BERKELHAMMER, M., BJÖRCK, S., CHENG, H., Cwynar, L., FISHER, D., Gkinis, V., LONG, A., LOWE, J., NEWNHAM, R., RASMUSSEN, S.O. eta WEISS, H. 2018. «Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global

- Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/sub-series». *Episodes*, **41**, 213-223.
- [5] ZALASIEWICZ, J., WILLIAMS, M., WATERS, C.N., BARNOSKY, A.D. eta HAFF, P. 2014. «The technofossil record of humans». *The Anthropocene Review*, **1**, 34-43.
- [6] STEFFEN, W., ROCKSTRÖM, J., RICHARDSON, K., LENTON, T.M., FOLKE, C., LIVERMAN, D., SUMMERHAYES, C.P., BARNOSKY, A.D., CORNWELL, S.E., CRUCIFIX, M., DONGES, J.F., FETZER, I., LADE, S. J., SCHEFFER, M., WINKELMANN, R. eta SCHELLNHUBER, H.J. 2018. «Trajectories of the earth system in the Anthropocene». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, **115**, 8252-8259.
- [7] WATERS, C.N., ZALASIEWICZ, J., SUMMERHAYES, C., BARNOSKY, A.D., POIRIER, C., GALUSZKA, A., CEARRETA, A., EDGEWORTH, M., ELLIS, E.C., JEANDEL, C., LEINFELDER, R., MCNEILL, J.R., RICHTER, D. DE B., STEFFEN, W., SYVITSKI, J., VIDAS, D., WAGREICH, M., WILLIAMS, M., ZHISHENG, A., GRINEVALD, J., ODADA, E., ORESKES, N. eta WOLFE, A.P., 2016. «The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene». *Science*, **351**, 1-10.
- [8] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C.N., SUMMERHAYES, C.P., WOLFE, A.P., BARNOSKY, A.D., CEARRETA, A., CRUTZEN, P., ELLIS, E., FAIRCHILD, I.A., GALUSZKA, A., HAFF, P., HAJDAS, I., HEAD, M.J., IVAR DO SUL, J.A., JEANDEL, C., LEINFELDER, R., MCNEILL, J.R., NEAL, C., ODADA, E., ORESKES, N., STEFFEN, W., SYVITSKI, J., VIDAS, D., WAGREICH, M. eta WILLIAMS, M. 2017. «The Working Group on the Anthropocene: Summary of evidence and interim recommendations». *Anthropocene*, **19**, 55-60.
- [9] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C.N., WILLIAMS, M., BARNOSKY, A.D., CEARRETA, A., CRUTZEN, P., ELLIS, E., ELLIS, M.A., FAIRCHILD, I.J., GRINEVALD, J., HAFF, P.K., HAJDAS, I., LEINFELDER, R., MCNEILL, J., ODADA, E., POIRIER, C., RICHTER, D., STEFFEN, W., SUMMERHAYES, C., SYVITSKI, J., VIDAS, D., WAGREICH, M., WING, S.L., WOLFE, A.P., ZHISHENG, A. eta ORESKES, N. 2015. «When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary is stratigraphically optimal». *Quaternary International*, **383**, 196-203.
- [10] WALKER, M., GIBBARD, P. eta LOWE, J. 2015. «Comment on «When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary is stratigraphically optimal» by Jan Zalasiewicz *et al.* (2015). *Quaternary International*, **383**, 196-203». *Quaternary International*, **383**, 204-207.
- [11] LEWIS, S.L. eta MASLIN, M.A. 2015. «Defining the Anthropocene». *Nature*, **519**, 171-180.
- [12] NICHOLS, K. eta GOGINENI, B. H. 2018. «The Anthropocene's dating problem: Insights from the geosciences and the humanities». *The Anthropocene Review*, **5**, 107-119.
- [13] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C.N., ELLIS, E.C., HEAD, M.J., VIDAS, D., STEFFEN, W., THOMAS, J.A., HORN, E., SUMMERHAYES, C.P., LEINFELDER, R., MCNEILL, J. R.; GALUSZKA, A., WILLIAMS, M., BARNOSKY, A.D., RICHTER,

- D.DEB., GIBBARD, P.L., SYVITSKI, J., JEANDEL, C., CEARRETA, A., CUNDY, A.B., FAIRCHILD, I.J., ROSE, N.L., IVAR DO SUL, J.A., SHOTYK, W., TURNER, S., WAGREICH, M. eta ZINKE, J. 2021. «The Anthropocene: Comparing its meaning in geology (chronostratigraphy) with conceptual approaches arising in other disciplines». *Earth's Future*, **9**, e2020EF001896.
- [14] IRABIEN, M.J., GARCÍA-ARTOLA, A., CEARRETA, A. eta LEORRI, E. 2014. «Antropozenoa: Lurraren historiako pasarte berria?» *Ekaia*, **27**, 155-162.
- [15] KOCH, P.L. eta BARNOSKY, A.D. 2006. «Late Quaternary extinctions: state of the debate». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **37**, 215-250.
- [16] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C.N., HEAD, M., POIRIER, C., SUMMERHAYES, C., LEINFELDER, R., GRINEVALD, J., STEFFEN, W., SYVITSKI, J., HAFF, P., MCNEILL, J., WAGREICH, M., FAIRCHILD, I., RICHTER, D., VIDAS, D., WILLIAMS, M., BARNOSKY, A. eta CEARRETA, A. 2019. «A formal Anthropocene is compatible with but distinct from its diachronous anthropogenic counterparts: a response to W.F. Ruddiman's "Three flaws in defining a formal Anthropocene"». *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, **43**, 319-333.
- [17] STEFFEN, W., CRUTZEN, P. eta MCNEILL, J. 2007. «The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature?». *Ambio*, **36**, 614-621.
- [18] STEFFEN, W., BROADGATE, W., DEUTSCH, L., GAFFNEY, O. eta LUDWIG, C. 2015. «The trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration». *Anthropocene Review*, **2**, 81-98.
- [19] SYVITSKI, J., WATERS, C.N., DAY, J., MILLIMAN, J.D., SUMMERHAYES, C., STEFFEN, W., ZALASIEWICZ, J., CEARRETA, A., GALUSZKA, A., HAIDAS, I., HEAD, M.J., LEINFELDER, R., MCNEILL, J.R., POIRIER, C., ROSE, N.L. SHOTYK, W., WAGREICH, M. eta WILLIAMS, M. 2020. «Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch». *Communications Earth & Environment*, **1**, 32.
- [20] GANOPOLSKI, A., WINKELMANN, R. eta SCHELLNHUBER, H. 2016. «Critical insolation-CO2 relation for diagnosing past and future glacial inception». *Nature*, **534**, S19-S20.
- [21] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C. eta WILLIAMS, M. 2020. The Anthropocene. Non: GRADSTEIN, F.M., OGG, J.G., SCHMITZ, M.D. eta OGG, G.M. (edk.). *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, Amsterdam, 1257-1280.
- [22] MOLINA, E., ALEGRET, L., ARENILLAS, I., ARZ, J.A., GALLALA, N., JAN HARDENBOL, J., VON SALIS, K., STEURBAUT, E., VANDENBERGHE, N. eta ZAGHBIB-TURKI, D. 2006. «The Global Stratotype Section and Point of the Danian Stage (Paleocene, Paleogene, «Tertiary», Cenozoic) at El Kef, Tunisia: original definition and revision». *Episodes*, **29**, 263-278.
- [23] WALKER, M., JOHNSEN, S., RASMUSSEN, S.O., POPP, T., STEFFENSEN, J.P., GIBBARD, P., HOEK, W., LOWE, J., ANDREWS, J., BJÖRCK, S., CWYNAR, L.C.,

- HUGHEN, K., KERSHAW, P., KROMER, B., LITT, T., LOWE, D.J., NAKAGAWA, T., NEWNHAM, R. eta SCHWANDER, J. 2009. «Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records». *Journal of Quaternary Science*, **24**, 3-17.
- [24] WATERS, C.N., SYVITSKI, J.P.M., GAŁUSZKA, A., HANCOCK, G.J., ZALASIEWICZ, J., CEARRETA, A., GRINEWALD, J., JEANDEL, C., MCNEILL, J.R., SUMMERHAYES, C. eta BARNOSKY, A. 2015. «Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the Anthropocene Epoch?». *Bulletin of the Atomic Scientists*, **71**, 46-57.
- [25] ROSE, N.L. 2015. «Spheroidal carbonaceous fly ash particles provide a globally synchronous stratigraphic marker for the Anthropocene». *Environmental Science & Technology*, **49**, 4155-4162.
- [26] SWINDLES, G., WATSON, E., TURNER, T., GALLOWAY, J.M., HADLARI, T., WHEELER, J. eta BACON, K.L. 2015. «Spheroidal carbonaceous particles are a defining stratigraphic marker for the Anthropocene». *Scientific Reports*, **5**, 10264.
- [27] ZALASIEWICZ, J., WATERS, C.N., IVAR DO SUL, J.A., CORCORAN, P.L., BARNOSKY, A.D., CEARRETA, A., EDGEWORTH, M., GAŁUSZKA, A., JEANDEL, C.A., LEINFELDER, R., MCNEILL, J.R., STEFFEN, W., SUMMERHAYES, C., WAGREICH, M., WILLIAMS, M., WOLFE, A.P. eta YONAN, J. 2016. «The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene». *Anthropocene*, **13**, 4-17.
- [28] DONG, M., LUO, Z., JIANG, Q., XING, X., ZHANG, Q. eta SUN, Y. 2020. «The rapid increases in microplastics in urban lake sediments». *Science Reports*, **10**, 848.
- [29] ZALASIEWICZ, J., KRYZA, K. eta WILLIAMS, M. 2014. «The mineral signature of the Anthropocene in its deep-time context». *Geological Society London Special Publications*, **395**, 109-117.
- [30] BARNOSKY, A.D. 2014. «Palaeontological evidence for defining the Anthropocene». *Geological Society London Special Publications*, **395**, 146-165.
- [31] WILKINSON, I.P., POIRIER, C., HEAD, M.J., SAYER, C.D. eta TIBBY, J. 2014. «Microbiotic signatures of the Anthropocene in marginal and freshwater palaeoenvironments». *Geological Society London Special Publications*, **395**, 185-219.
- [32] DONG, M., CHEN, W., CHEN, X., XING, X., SHAO, M., XIONG, X. eta LUO, Z. 2021. «Geochemical markers of the Anthropocene: Perspectives from temporal trends in pollutants». *Science of the Total Environment*, **763**, 142987.
- [33] CEARRETA, A. «La definición geológica del Antropoceno según el Anthropocene Working Group (AWG)». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, **23**, 263-271.
- [34] DREXLER, J.Z., FULLER, C.C. eta ARCHFIELD, S. 2018. «The approaching obsolescence of ¹³⁷Cs dating of wetland soils in North America». *Quaternary Science Reviews*, **199**, 83-96.

- [35] WATERS, C.N., ZALASIEWICZ, J., SUMMERHAYES, C., FAIRCHILD, I.J., ROSE, N.L., LOADER, N.J., SHOTYK, W., CEARRETA, A., HEAD, M.J., SYVITSKI, J.P.M., WILLIAMS, M., WAGREICH, M., BARNOSKY, A.D., ZHISHENG, A., LEINFELDER, R., JEANDEL, C., GAŁUSZKA, A., IVAR DO SUL, J.A., GRADSTEIN, F., STEFFEN, W., MCNEILL, J.R., WING, S., POIRIER, C. eta EDGEWORTH, M. 2018. «Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Anthropocene Series: Where and how to look for potential candidates». *Earth-Science Reviews*, **178**, 379-429.
- [36] EDGEWORTH, M., ELLIS, E.C., GIBBARD, P., NEAL, C. eta ELLIS, M. 2019. «The chronostratigraphic method is unsuitable for determining the start of the Anthropocene». *Progress in Physical Geography*, **43**, 334-344.
- [37] RUDDIMAN, W.F. 2018. Three flaws in defining a formal «Anthropocene». 2018. *Progress in Physical Geography*, **42**, 451-461.