

## Desparekotasun globala, energiaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak ekonofisikaren ikuspuntutik

*(Global inequality, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions from an econophysics perspective.)*


*Oihane Saez Murgiondo, Hegoi Manzano, Josu Martinez-Perdiguero\**  
Fisika Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea,  
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

**LABURPENA:** Desparekotasun globalaren, energia-kontsumoaren eta CO<sub>2</sub> emisioen arteko harremana aztertu dugu ekonofisikaren ikuspegitik. Herrialde aberatsenek energia gehiago kontsumitzeko eta karbono gehiago isurtzeko joera dute; herrialde txiroenak, berriz, energia eskuratzeko aukera mugatua dute eta klima-aldaketaren ondorio negatiboen zama nagusia jasaten dute. Hau dela eta, energia-kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak desparekotasunaren adierazle gisa erabil daitezke. Azken 30 urteetako desparekotasun maila jais-teaz gain, sisteman oreka termodinamikoranzko erlaxazio asintotiko bat ikusten dugu, 0.5eko Gini koefizientearen baliorantz. Prozesu horretaz gain, analisis argi ikusten da COVID-19 pandemiaren eragina: perturbazio bat ageri baita desparekotasunean. Faktore ekonomiko, sozial, politiko edo teknologikoen bultzatzen dute dinamika, baina, gure ustez, ekonofisikak eskaintzen duen analisiak emaitza onak ematen ditu; ekarpen guztiak batuz, egoera globalaren ikuspegi berri bat sortzen baitu. **HITZ GAKOAK:** ekonofisika, Boltzmann-Gibbs distribuzioa, Gini koefizientea, desparekotasuna.

**ABSTRACT:** *We examine the relationship between global inequality, energy consumption, and CO<sub>2</sub> emissions from an econophysics point of view. Wealthier countries tend to consume more energy and emit more carbon, while poorer countries have limited access to energy and bear a disproportionate burden of the negative impacts of climate change. Both energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions can be used as indicators of inequality. Apart from the decrease in inequality over the last 30 years, we observe an asymptotic relaxation of the system towards thermodynamic equilibrium with a Gini coefficient of 0.5. Interestingly, the effect of the COVID-19 pandemic is clearly seen in the analysis as a perturbation towards inequality. Economic, social, political, or technological factors are driving the dynamics but, in our opinion, the econophysics analysis is successful in aggregating all the contributions and offering a new point of view of the global situation.*

**KEYWORDS:** econo-physics, Boltzmann-Gibbs distribution, Gini coefficient, inequality.

**\*Harremanetan jartzeko/Corresponding author:** Josu Martinez-Perdiguero, Fisika Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Barrio Sarriena s/n 48940 Leioa.

 <https://orcid.org/0000-0002-9155-6279>, [jesus.martinez@ehu.eus](mailto:jesus.martinez@ehu.eus)

**Nola aipatu/How to cite:** Saez-Murgiondo, Oihane; Manzano, Hegoi; Martinez-Perdiguero, Josu (2023). «Desparekotasun globala, energiaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak ekonofisikaren ikuspuntutik»; *Ekaia* 46, Ekaia, DOI: <https://doi.org/10.1387/ekaia.24625>

Jasoa: martxoak 27, 2023; Onartua: martxoak 6, 2024  
ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / ©2024 UPV/EHU



Obra Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentzian dago

## 1. SARRERA

Energiaren kontsumoa eta karbono dioxidoaren (CO<sub>2</sub>) gehiegizko emisioak munduko arazo larrienen artean daude [1]. Arazo horien jatorria erregai fosilen (hala nola, ikatza, petrolio eta gasa) erabileratik dator; izan ere, energia lortzeko erretzen direnean, CO<sub>2</sub> kantitate handiak askatzen dituzte atmosferara. Munduko biztanleriak eta ekonomiak hazten jarraitzen duten heinean, energia-eskaerak ere hazten jarraitzen du. Horren ondorioz, erregai fosil gehiago kontsumitzen da, eta ondorioz, CO<sub>2</sub> gehiago isurtzen da. Horrek, era berean, klima-aldaketa eta hari lotutako eraginak areagotzen ditu, besteak beste, itsas mailaren igoerari eragiten dio, gertaera meteorologiko larriagoak ager daitezke eta maiztasun handiagoaz, eta gizakion osasuna eta ongizatea kaltetzeko arriskua areagotzen du.

CO<sub>2</sub> emisioak oso lotuta daude desparekotasun globalarekin; izan ere, emisio horiei ekarpen handiena egiten dieten herrialdeak aberatsenak eta garatuak izan ohi dira, industrializazio handiko herrialdeak baitira. Munduaren zati hau klima-aldaketaren erantzule nagusia da eta, aldiz, garapen bidean dauden herrialde askok ez diote ekarpen esanguratsurik egiten. Hala eta guztiz ere, horren ondorioei aurre egin behar diete, hala nola lehorteei, uholdeei eta muturreko fenomeno meteorologikoei. Desparekotasun hori areagotu egiten da garapen bidean dauden herrialde horietako askok ez dituztelako nahikoa baliabide edo azpiegitura herrialde aberatsenen erritmoan energia produzitzeko. Gai global horiei aurre egiteko, beharrezkoa da herrialdeen arteko hitzarmen batera iristea energia-iturri garbiago eta berriztagarriagoetara trantsizioa egiteko eta erregai fosilekiko dugun mendekotasuna murriztu ahal izateko. Gaur egun, politika, teknologia eta gizarte aldaketen konbinazioa bultzatzen da. Mundu osoko gobernuak energia-iturri berriztagarriak eta alternatiboak sustatzen ari dira eta erregai fosilekiko mendekotasuna murrizten saiatzen ari dira. Energia berriztagarrien premia larriagotu egin da Errusiaren eta Ukrainaren arteko gerraren ondorioz [2].

COVID-19ren pandemiak ere eragin nabarmena izan du munduko energia-kontsumoan eta CO<sub>2</sub> emisioetan. Herrialde askok, konfinamenduaren ondorioz, industriako lanak erabat gelditu behar izan zituzten eta murrizketak ezarri zituzten bidaiak egiteko garaian. Honek erregaien eskaria asko jaitsi zuen, eta ondorioz, energia-kontsumoa jaitsi egin zen. Horrek, aldi berean, CO<sub>2</sub> emisioak nabarmen gutxitzea ekarri zuen. *International Energy Agency*-ren (IEA) arabera, munduko CO<sub>2</sub> emisioak %6 murriztu ziren 2020an, azken 70 urteotan egon den murrizketarik handiena izan da hau. Gaur egun, munduko herrialdeak pandemiaren aurretik zuten jarduera ekonomikoa berreskuratzen ari dira eta horren ondorio zuzena da energiaren kontsumoaren eta CO<sub>2</sub> emisioen gorakada.

Energia-kontsumo globala eta CO<sub>2</sub> emisioak aztertzeak disziplina anitzeko ikuspegia eskatzen du, eta ikerketa-gai garrantzitsua da arlo askotan: ekonomian, ingurumen zientzietan, soziologian, ingeniartzan eta zientzia politikoetan, besteak beste. Ekonofisika arlo berri samarra da, fisika eta matematikako metodoak ekonomian eta finantzan aplikatzen dituen [3] [refs]. Ekonofisikak, eredu eta datu empirikoen bidez, sistema konplexuei buruzko informazioa eman dezake, hala nola energia-kontsumoak eta CO<sub>2</sub> emisioek, desparekotasun globalarekin duten harremana aztertuz. Gai honi buruz, bi ikerketa lan baino ezin ditugu aurkitu literaturan: Barnerjee et al.-ko artikuluan oinarria ezarri zen [4] eta, aurrerago, Lawrence et al. artikulua 1980tik 2010era bitarteko datuak aztertzen zituen non CO<sub>2</sub> emisioak ere kontuan hartzen zituzten [5].

Lan honetan mekanika estatistikoko metodoak aplikatzen ditugu energiaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak bizi-mailaren adierazle onak diren ideia aztertzeko. Gure datu-serieak 2022ra arte luzatzen dira. Horrela, desparekotasun globalaren egungo neurketak lortu ahal izan ditugu eta COVID-19aren pandemiaren ondorioak argi eta garbi behatzeko gai izan gara.

## 2. METODOAK

XIX. mendean atomoen propietate estatistikoak deskribatzeko metodo matematikoak garatu ziren mekanika estatistikoa sortuz [6]. Hala nola, metodo hauek jarraituz gas bateko molekulen abiaduraren probabilitate distribuzioa (Maxwell-Boltzmann distribuzioa) eta energia desberdina duten egoeren probabilitate distribuzio orokorra (Boltzmann-Gibbs distribuzioa) kalkulatu ahal ziren.

Boltzmann-Gibbs distribuzioak oso garrantzi handia dauka termodinamikan. Distribuzio honek deskribatzen du sistema fisiko batek energia jakin batekin egoera batean egoteko probabilitatea. Distribuzioa lortzeko entropiaren maximizazioa erabili behar dugu. Horren bidez, lortzen dugun distribuzioa [6]:

$$P_r(E_r) \propto e^{-\frac{E_r}{k_B T}} \quad (1)$$

non  $E_r$  sistemako energia den,  $k_B$  Boltzmann-en konstantea eta  $T$  tenperatura. Honi deitzen diogu Boltzmann-Gibbs distribuzioa [6].

### 2.1. Diruaren banaketa

Metodoak azaltzeko, diruaren banaketa erabiliko dugu, energia kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak baino sinpleagoa delako eta, aurrerago, emaitzak orokortuko ditugu kasu horietarako. Sistema ekonomiko itxi batean, dirua kontserbatzen da. Hau ikus dezakegu ikusi berri dugun sistema termodinamikoan energia kontserbatzearen analogiatzat. Diruaren probabilitate distribuzioa lortzeko entropiaren maximizazioaren printzipioa erabiliko da [4]. Demagun  $N_k$  okupazio zenbakiak direla eta  $m_k$  diruaren kantitate diskretua. Anizkoitzasunak,  $\Omega$ ,  $m_k$  bakoitza  $N_k$ -tan banatzeko modu guztiak deskribatzen ditu:

$$\Omega = \frac{N!}{N_1!N_2!N_3!\dots} \quad (2)$$

Anizkoitzasunaren logaritmoa entropia da  $S = \ln \Omega$ . Stirling-en hurbilketa erabiliz ( $\ln N! \approx N \ln N - N$ ) entropia hau dugu:

$$S = N \ln N - \sum_k N_k \ln N_k = - \sum_k N_k \ln \left( \frac{N_k}{N} \right) \quad (3)$$

$S$ -ren maximizazioa egin ondoren, Boltzmann-Gibbs distribuzioak diruarentzat honako itxura izango du [7]:

$$P(m) = C e^{-\frac{m}{T}} \quad (4)$$

non  $C$  normalizazio konstantea den,  $m$  dirua den eta  $T$  tenperatura efektiboa non bere balioa batez besteko diru kopurua agente ekonomiko bakoitzeko den.

Diruaren kontserbazio honek erakusten digu (ondasun materialak ez bezala) dirua ezin dela sortu ez deuseztatu. Diruarekin egin daitekeen gauza bakarra agente ekonomikoen artean dirua trukitzea da.

Nahiz eta egindako suposizioak handiak izan eta hauek egiaztatzeko datuak urriak izan, literaturan lan askotan frogatu da hurbilketa ona izan daitekeela eta gaur egun onartzen da distribuzio hauek bi-klaseko egitura dutela [5, 8, 9, 10]: behe eta goi klasea.

## 2.2. Lorenz kurba

Lorenz-en kurba desparekotasuna adierazteko eta neurtzeko erabiltzen den tresna bat da [11]. Bi koordenaturen bidez definitzen da,  $x(r)$  eta  $y(r)$ :

$$x(r) = \int_0^r P(r') dr' \quad (5)$$

$$y(r) = \frac{\int_0^r r' P(r') dr'}{\int_0^\infty r' P(r') dr'} \quad (6)$$

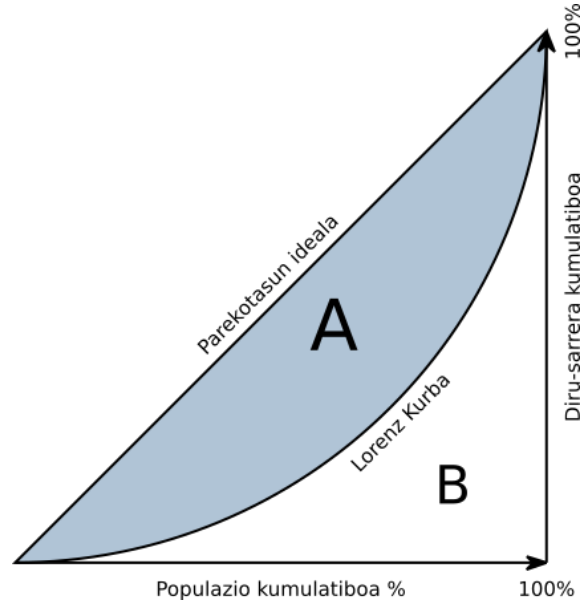
$x$  koordenatuak  $r$ -tik beherako diru-sarrera duten biztanleriaren frakzioa adierazten du eta  $y$  koordenatua biztanleriaren diru-sarrera kopuru osoa da, sistemaren diru-sarreraren frakzio moduan.  $r$ , 0 eta  $\infty$  tartean ibiltzen da eta  $x$  eta  $y$ , 0 eta 1 balioen artean. Lorenz-en kurba geroz eta urrunago egon ekitate absolutua adierazten duen lerrotik, orduan eta desparekotasun handiagoa izango dugu. Ekitatea adierazten duen lerroa, (0,0)-tik (1,1) puntura doan lerro zuzena da. Beraz, jakiteko distribuzio esponentzialaren Lorenz kurben itxura, integralak kalkula ditzakegu. Gure distribuzio esponentziala  $P(r) = e^{-r/T} / T$  da. Normalizatuta dago  $T$  batez besteko diru-sarrera kopurua izanik:  $\int_0^\infty r' P(r') dr' = T$ .

Beraz, gure distribuzioa  $x$  eta  $y$  adierazpenetan sartzten badugu eta integralak kalkulatu gero, distribuzio esponentzialari dagokion Lorenz-en kurba teorikoki kalkulatu ahal izango dugu. Honako hau da emaitza:

$$y(x) = x + (1 - x) \ln(1 - x) \quad (7)$$

## 2.3. Gini koefizientea

Diru sarreraren distribuzioaren desparekotasuna Gini koefizientearen  $G$  bidez ere neur daiteke [11]. Kasu honetan  $G = 0$  denean, gizartea erabateko berdintasunean dago: biztanle guztiek diru-sarrera kopuru bera jasotzen dute. Aldiz,  $G = 1$  denean, erabateko desparekotasuna dugu: pertsona bakarrak diru guztia jasotzen du eta gainontzekoek bat ere ez. Gini koefizientearen balioa lortzeko definitu ditzagun Lorenz kurbaren eta ekitate absolutua adierazten duen zuzenaren arteko azalera (A deituko dioguna) eta Lorenz kurbaren azpiko azalera (B deituko dioguna).



**1. irudia:** Lorenz kurba: A ekitatea adierazten duen lerroaren eta Lorenz kurbaren arteko azalera da eta B Lorenz kurbaren azpian dagoen azalera.

Horrela, Gini-ren koefizientea definitzen da:

$$G = \frac{A}{A + B} \quad (8)$$

Gini-ren koefizientea idazteko beste modu bat honako hau dugu:

$$G = 2 \int_0^1 (x - y) dx \quad (9)$$

7. ekuazioa 9. ekuazioan ordezkaturik distribuzio esponentzialari dagokion Gini-ren koefizientearen balioa lortuko dugu. Honen emaitza  $G=0.5$  dela ikus dezakegu; balio hori izango da oreka termodinamikoari dagokiona.

## 2.4. Distribuzio kumulatiboa

Energiaren kontsumoa definitzeko oso eroso da distribuzio kumulatiboa erabiltzea. Hau definitzeko, lehenengo herrialde guztiak ordenatu behar dira energia kontsumo per capita txikienetik handienara. Kontsumo per capita txikiena duen herrialdeari  $n = 1$  dagokio eta kontsumo handiena duen herrialdeari  $n = L$  non  $L$  herrialde kopuru totala den. Horrela, distribuzio kumulatiboa hurrengoa da [5]:

$$C(\epsilon_n) = \frac{\sum_{k=n+1}^L N_k}{\sum_{k=1}^L N_k} \quad (10)$$

non energia kontsumoa  $\epsilon_n$ -tik behera duten munduko biztanleriaren frakzioa adierazten duen. Honenkin, herrialde bereko biztanle guztiei energia kontsumo bera esleitzen zaie  $\epsilon_n = E_n/N_n$ .

Datu enpirikoetatik Lorenz-en kurba lortzeko,  $x_{enp}(\epsilon)$  eta  $y_{enp}(\epsilon)$  kalkulatu behar dira  $n$  herrialde kopuruko datu zerrenda bat erabiliz non herrialdeak energia kontsumo per capita  $\epsilon_n$  txikienetik handienera ordenatuta dauden:

$$x_{enp}(\epsilon_n) = 1 - C_{enp}(\epsilon_n) = \frac{\sum_{k=1}^n N_k}{\sum_{k=1}^L N_k} \quad (11)$$

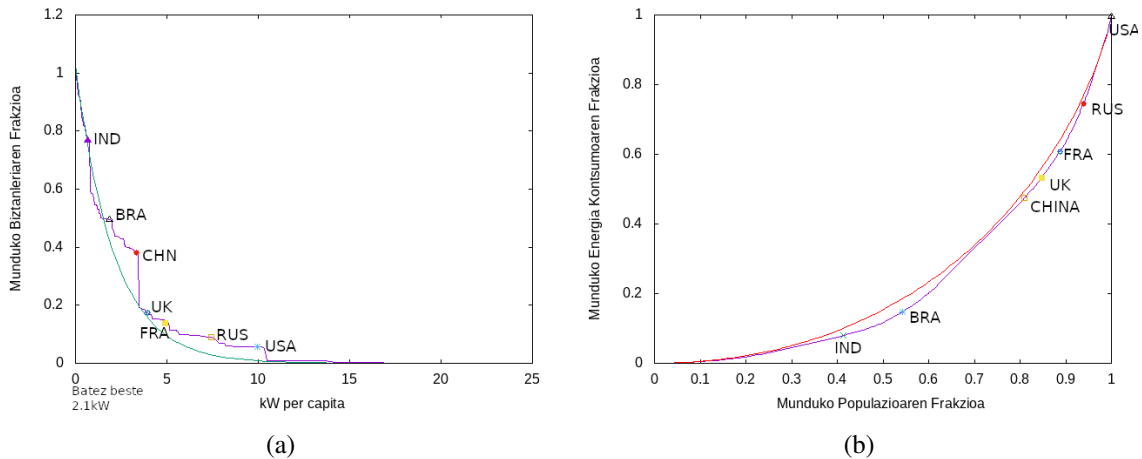
$$y_{enp}(\epsilon_n) = \frac{\sum_{k=1}^n \epsilon_k N_k}{\sum_{k=1}^L \epsilon_k N_k} \quad (12)$$

### 3. EMAITZAK ETA EZTABAIDA

Goian aipatu den bezala, diru banaketaren kasuan, datuak lortzea oso zaila izaten da eta normalean ikerketa zeharkako datuekin egin behar da [8, 9, 10]. Energia kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioaren kasuan, ordea, zuzeneko datuak eskura daude IEAko datu-basean [12]. Datu hauek eta azaldutako metodologia abiapuntu izanda, hurrengo analisia egin dugu.

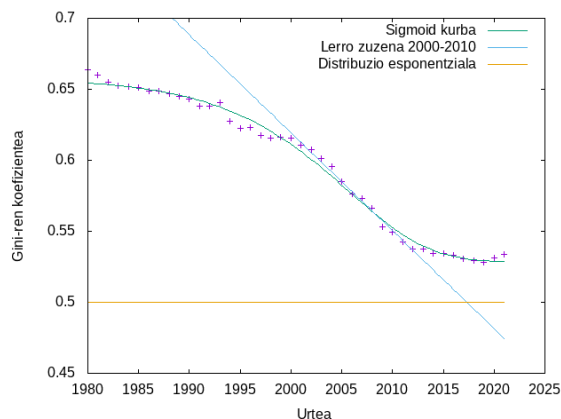
#### 3.1. Energiaren kontsumoa

Lehenik eta behin, urte bakoitzeko datuekin, energia kontsumo per capita txikitik handira ordenatu dira datuak. 2a irudian 2018 urteko datuak erakusten dira. Bertan ikus dezakegu datu enpirikoek distribuzio esponentzialaren (lerro urdina) antz handia daukatela egindako suposizioa indartuz. Adostasuna 2b irudiko Lorenz-en kurban hobeto ikusten da. Teorikoki lortutako kurba, 7 ekuaziokoa, eta datu esperimentalak oso gertu doaz tarte osoan. Honek erakusten digu 2018ko urtean, termodinamikako oreka egoerara iritsi ez bada, gutxi falta zaiola. Gini-ren koefizientearen bidez ere gauza bera ikusten dugu non 2018an 0.529ko balioa lortzen den, distribuzio esponentzialari dagokiona, aldiz, 0.5 izanik.



**2. irudia:** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa energia kontsumo per capitaren menpe 2018 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponentziala. (b) Lorenz kurba munduko energia kontsumorako 2018 urtea. Lerro morea EIAko datuak eta lerro gorria funtzio esponentzialari dagokio.

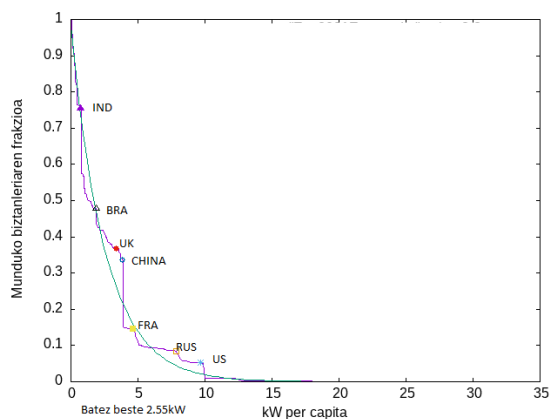
Desparekotasunaren eboluzioa aztertzeko, Gini-ren koefizientea oso egokia da, parametro bakar batean banaketaren informazio hori islatzen delako. 3. irudian erakusten den bezala, eboluzioa 1980. urtetik hona oso nabarmena da. Urteetan zehar geroz eta desparekotasun txikiagoa dagoela erakusten digute datuek. Jaitsiera horren arrazoiak hainbat faktorek eragin dezakete, hala nola Txina eta Indiako hazkunde ekonomiko azkarrak [13], munduko osasun eta hezkuntza hobekuntzek eta garapenerako nazioarteko laguntzak. Gainera, globalizazioak merkataritza eta inbertsiorako aukera berriak sortu ditu, milioika pertsona pobreziatik ateratzen lagunduz.



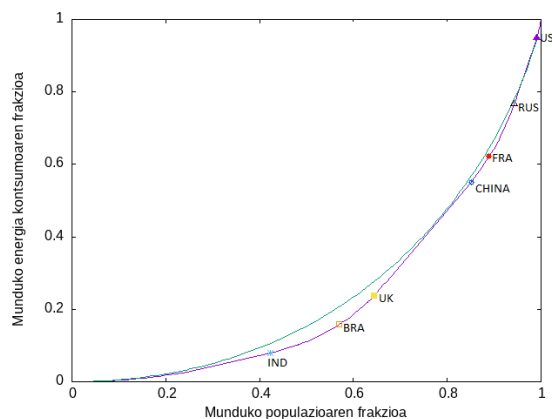
**3. irudia:** Gini koefizientearen eboluzioa 1980-2021 tartean munduko energiaren kontsumoaren zatit. Lerro horia 0.5eko balioari dagokio Boltzmann-Gibbs distribuzioari dagokion balioa. Lerro urdina 2000-2010 tarteko balioekin egindako lerro zuzena da eta lerro berdea Sigmoid funtzioaren doikuntza.

Desparekotasunak beharakada nabarmen bat jasan zuen 2000-2010 tartean. Hori dela eta, joera horren jarraipena (begiratu lerro zuzena 3. irudian) aurreikusiz urte horietan 0.5-eko balio teorikora 2017an iritsiko zela pentsatu ahal zen. Aldiz, entropia maximoko printzipioak esaten digunez, energia kontsumoaren desparekotasuna moteldu eta saturatu egingo da  $G = 0.5$  balio teorikoaren inguruan. Beraz, 2013-ko [5]. erreferentzian aurreikuspena egiten dute esanez Gini koefizienteak Sigmoid doikuntza jarraituko duela eta beraz  $G = 0.5$  baliorantz asintotikoki hurbilduko dela baina ez dela inoiz balio honetatik behera joango. Azken hamarkadako datuekin argi ikusten da Giniren koefizientearen joera hori izan dela, aurreikuspena betez eta ekonofisikaren teoria suspertuz.

Aztertu diren azken bi urteetan (2020 eta 2021) gorakada txiki bat nabaritzen da. Gorakada hori, zalantzarik gabe, COVID-19 pandemiak eragin zuen. COVID-19aren pandemiak desparekotasun globala areagotzea ekarri duela jakinikoa da, pandemiaren inpaktu ekonomikoek neurritz kanpo eragin baitiete populazio ahulenei. Errenta baxuko herrialdeetako jende askok lana galdu du edo diru-sarreraren murrizketak ikusi ditu, eta aberatsenek nola edo hala ekaitzari aurre egin ahal izan diote. Gainera, pandemiak agerian utzi ditu osasun-zerbitzuak eta teknologia eskuratze-ko dauden desberdintasunak, desparekotasuna are gehiago handiagotuz [14, 15]. Beheranzko joera orokorra alde batera utzita, efektu hau lan honetan ikertutako banaketetan ere azter daiteke. 4a. eta 4b. irudietan 2021. urteko banaketa kumulatiboak eta Lorenz kurba ikus daitezke. Kalkulatutako Giniren koefizienteak nabarmen egin du gora 2019ko minimo historikoarekiko, 2021ean 10 puntu basikoko igoera izan baitu.



(a)

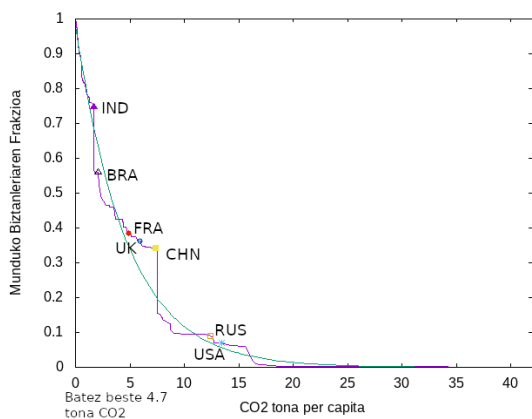


(b)

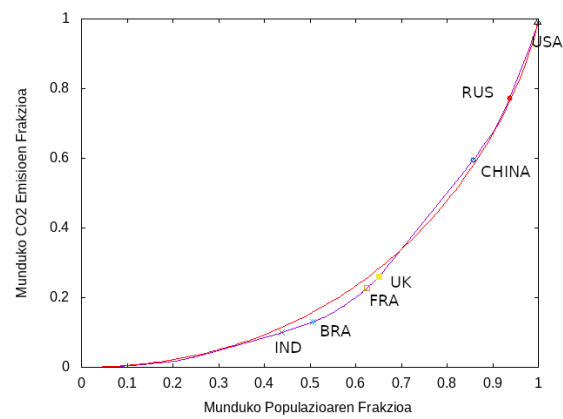
**4. irudia:** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa energia kontsumo per capitaren menpe 2021 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponontziala. (b) Lorenz kurba munduko energia kontsumorako 2021 urtean. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina funtzio esponontzialari dagokio.

### 3.2. CO<sub>2</sub> emisioak

Aurreko atalean egindako analisia CO<sub>2</sub> emisioen datuetarako egin da. Espero bezala, emaitzak oso antzekoak dira eta ados daude argitaratutako datuekin [16]. 5a irudiak 2019. urteko probabilitate metatuaren banaketa erakusten du, eta 5b irudiak dagokion Lorenz-en kurba. Ikus daitekeenez, datuak esponontzialetatik oso hurbil daude, banaketa benetan Boltzmann-Gibbs motakoa dela adieraziz. Lorenz-en kurbak  $G = 0.508$  ematen du, oreka termodinamikitik oso hurbil.



(a)



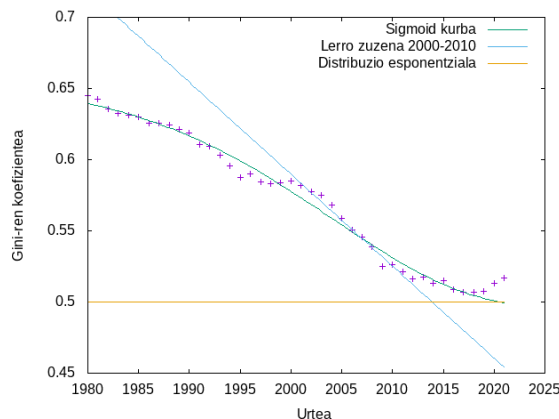
(b)

**5. irudia:** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa CO<sub>2</sub> emisio per capitaren menpe 2019 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponontziala. (b) Lorenz kurba munduko CO<sub>2</sub> emisiorako 2019. urtea. Lerro morea EIAko datuak dira eta lerro gorria funtzio esponontzialari dagokio.

6 grafikoak Gini koefizienteak 1980tik 2021era izan duen bilakaera erakusten du. Kopuru hori energia-kontsumoari dagokion zifrarekin (begiratu 3 irudia) alderatuz gero, argi ikusten da bilakaera oso antzekoa dela: Beherakada handi bat mende honetako lehen hamarkadan eta egonkortzea



azken 10-15 urteetan. Berrito ere, lehenengo aldiz honako azterketa batean, COVID-19 pandemia-  
ren eragina ere agerian geratzen da eta 2020 eta 2021 urteetan  $G$ -ren igoera nabarmentzen da.



**6. irudia:** Gini koefizientearen eboluzioa 1980-2021 tartean munduko CO<sub>2</sub> emisioentzat. Lerro horia 0.5eko balioari dagokio Boltzmann-Gibbs distribuzioari dagokion balioa. Lerro urdina 2000-2010ko datuei doitutako lerro zuzena da eta lerro berdea Sigmoid doikuntza.

Gorago frogatu dugun bezala, entropia maximizatzeko printzipioak orekarako joera asintotikoa dakar ( $G = 0.5$ ) eta datuen analisiak hori horrela dela iradokitzen digu. Hala ere, jokabide horren atzean arrazoi batzuk egon behar dira, termodinamikari lotuta ez daudenak. Ekonomia globalak motelaldi bat izan du azken hamarkadan, eskualde askotako hazkunde-tasa motelekin eta etengabeko erronka ekonomikoekin lotuta, hala nola langabezia eta errenta-desberdintasun handien ondorioz. Moteltze horren jatorrian faktore askok eragin dezakete, besteak beste, aldaketa demografikoek, produktibitatearen hazkundearen beherakadak eta ezegonkortasun geopolitikoek. Eskualde batzuetan susperraldiaren zantzuak dauden arren, oraindik ziurgabetasun handia dago ekonomia globalaren etorkizuneko ibilbideari buruz. Aditu askok aurreikusten dute egungo motelaldi ekonomikoak hainbat urtez jarrai dezakeela, batez ere COVID-19aren berpizterik edo beste ustekaberen bat gertatuz gero. Gainera, ekonomia jasangarriago eta karbono isurketa gutxiagoko gizarte baterantz egiten ari garen trantsizio honek aldaketa esanguratsuak eragin ditzake egitura ekonomikoetan eta hazkunde-ereduetan; honek etorkizuneko ikuspegi ekonomikoa nolakoa izango den jakitea are gehiago zailtzen du.

#### 4. ONDORIOAK

Herrialdeen arteko desparekotasun globala energia-kontsumoari eta CO<sub>2</sub> emisioei lotuta dago. Herrialde aberatsenek energia gehiago kontsumitzeko eta karbono gehiago isurtzeko ahalmena dute baina, herrialde txiroenek energia eskuratzeko aukera mugatua izateaz gain, klima-aldaketaren inpaktu negatiboen zama neurrigabea jasan behar dute. Bi neurketak, energia-kontsumoa eta CO<sub>2</sub> emisioak desparekotasunaren adierazle izan daitezkeela frogatu dugu. Energiaren eskuragarritasuna infinitua ez denez eta poliki baino ezin denez aldatu, lehenengo hurbilketa sistema mugatu gisa trata daiteke, eta banaketak aztertzeko ekonofisikaren metodoak erabili ditugu.

Erakutsi dugu ikuspuntu termodinamikoetik datuek sistema oreka egoeratik gertu dagoela adierazten dutela, 2019. urtean 0.508ko Gini koefizientearekin CO<sub>2</sub> emisioen kasurako. Horrek esan nahi du, azken 30 urteetan desparekotasun globala asko gutxitu den arren, entropiaren maximizazioak iradokitzen duen moduan, sistema asko aldatzen ez bada, joera 0.5eko Gini koefizientera

asintotikoki jotzea izango da. Arrazoi sozial, ekonomiko, politiko edo teknologikoak askotari-koak izan daitezke, eta azken hamarkadako ekonomia globalaren moteltzea horien atzean egon liteke, eta, are gehiago, etorkizunean ere jarrai lezake. Mundu mailako parekotasunaren aldeko edo kontrako dinamikak perturbazio handiek bakarrik eragin ditzakete. Adibidez, gure analisisian COVID-19aren pandemiaren ondorioz, G-ren handitze neurgarri bat ikusi dugu.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] EKWURZEL B., BONEHAM J., DALTON M. W., HEEDE R., MERA R. J., AALLEN M. R., FRUMHOFF P. C. 2017, «The rise in global atmospheric CO<sub>2</sub>, surface temperature, and sea level from emissions traced to major carbon producers» *Climatic Change*, **144**, 579–590
- [2] ZAKERI, B., PAULAVETS, K., BARRETO-GOMEZ, L., ECHEVERRI, L.G., PACHAURI, S., BOZA-KISS, B., ZIMM, C., ROGELJ, J., CREUTZIG, F., ÜRGE-VORSATZ, D., VICTOR, D.G., BAZILIAN, M.D., FRITZ, S., GIELEN, D., MCCOLLUM, D.L., SRIVASTAVA, L., HUNT, J.D., and POUYA, S. 2022. «Pandemic, War, and Global Energy Transitions». *Energies*, **15**, 6114.
- [3] YAKOVENKO, V.M. 2009. «Econophysics, Statistical Mechanics Approach to». Hemen: Meyers, R. (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. (2800-2826). Springer.
- [4] BANARJEE, A., YAKOVENKO, V.M., 2010. «Universal Patterns Of Inequality». *New Journal of Physics*, **12**, 25.
- [5] LAWRENCE, S., LIU, Q., YAKOVENKO, V. M. 2013. «Global Inequality in Energy Consumption from 1980 to 2010». *Entropy*, **15**, 5565-5579.
- [6] PATHRIA, R.K., BEALE, P.D. 2011. *Statistical Mechanics*. Elsevier.
- [7] DRAGULESCU, A. A., YAKOVENKO, V. M. 2000. «Statistical Mechanics of Money». *Eur. Phys. J. B*, **17**, 723-729
- [8] DRĂGULESCU, A. and YAKOVENKO, V.M. 2001. «Exponential and power-law probability distributions of wealth and income in the United Kingdom and the United States». *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **299**(1-2), 213-221.
- [9] DERZSY, N., NÉDA, Z., and SANTOS, M.A. 2012. «Income distribution patterns from a complete social security database». *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **391**(22), 5611-5619.
- [10] SILVA, A.C. and YAKOVENKO, V.M. 2005. «Temporal evolution of the “thermal” and “superthermal” income classes in the USA during 1983–2001». *Europhys. Lett.*, **69**, 304–310.
- [11] DRAGULESCU, A. A., YAKOVENKO, V. M. 2001. «Evidence for the exponential distribution of income in the USA». *Eur. Phys. J.*, **20**, 585.
- [12] US Energy Information Administration (EIA). International Energy Statistics: <https://www.eia.gov/international/data/world> Azken kontsulta: 2023/02/01.
- [13] MILANOVIC, B. 2012. «Global Inequality recalculated and updated: the effect of new PPP estimates on global inequality and 2005 estimates». *Journal of Economic Inequality*, **10**, 1-18.

- [14] FERREIRA, F.H.G. 2021. «Inequality in the time of COVID-19». *Finance and Development - International Monetary Fund*, **Ekaina 2021** pp. 20-23.
- [15] DAUDERSTÄT, M. 2022. «International Inequality and the COVID-19 Pandemic». *Intereconomics*, **57**, 40–46.
- [16] SMIENIUK. G., YAKOVENKO. V.M. 2020 «Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios» *Journal of Cleaner Production*, **264**, 121420