

# 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 negatiboak zama nagusia jasaten dute. Hori dela eta, energia-kontsumoa eta CO<sub>2</sub>-emisioak desparekotasunaren adierazle gisa erabil daitezke. Azken 30 urteetako desparekotasun-maila jaisteaz gain, sisteman oreka termodinamikoranzko erlaxazio asintotiko bat ikusten dugu, 0,5eko Gini koefizientearen baliorantz. Prozesu horretaz gain, analisis argi ikusten da COVID-19aren pandemiaren eragina: perturbazio bat ageri baita desparekotasunean. Faktore ekonomiko, sozial, politiko edo teknologikoei bultzatzen dute dinamika, baina, gure ustez, ekonofisikak eskaintzen duen analisiak emaitza onak ematen ditu; ekarpen guztiak batuz, egoera globalaren ikuspegi berri bat sortzen du.

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

**Nola aipatu / How to cite:** Saez Murgiondo, Oihane; Manzano, Hegoi; Martinez-Perdiguero, Josu (2024). «Desparekotasun globala, energiaren kontsumoa eta CO<sub>2</sub>-emisioak ekonofisikaren ikuspuntutik». *Ekaia*, 46, 2024, 43-55. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.24625>).

Jasotze-data: 2023, martxoak 27; Onartze-data: 2024, otsailak 28.

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



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

## 1. SARRERA

Energiaren kontsumoa eta karbono dioxidoaren (CO<sub>2</sub>) gehiegizko emisioak munduko arazo larrienen artean daude [1]. Arazo horien jatorria erreagai fosilen (hala nola, ikatza, petrolioa 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, erreagai 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 eta maiztasun handiagoz ager daitezke, 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 izan ohi dira aberatsenak eta garatuena, 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 mende-kotasuna 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 mende-kotasuna murrizten saiatzen. Energia berriztagarrien premia larriagotu egin da Errusiaren eta Ukrainaren arteko gerraren ondorioz [2].

COVID-19aren pandemiak ere eragin nabarmena izan du munduko energia-kontsumoan eta CO<sub>2</sub>-emisioetan. Herrialde askok, konfinamendua- ren ondorioz, industriako lanak erabat gelditu behar izan zituzten, eta murrizketak ezarri zituzten bidaiak egiteko garaian. Horrek asko jaitsi zuen erregaien eskaria, 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 hori. 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 ikuspegi eskatzen du, eta ikergai garrantzitsua da arlo askotan:

ekonomian, ingurumen zientzietan, soziologian, ingeniartzan eta zientzia politikoetan, besteak beste. Ekonofisika arlo berri samarra da, fisikako eta matematikako metodoak ekonomian eta finantzan aplikatzen dituen [3] [refs]. Ekonofisikak, eredu eta datu enpirikoen bidez, sistema konplexuei buruzko informazioa eman dezake, hala nola energia-kontsumoak eta CO<sub>2</sub>-emisioek, desparekotasun globalarekin duten harremana aztertuz. Gai horri buruz, bi ikerketa lan baino ezin ditugu aurkitu literaturan: Barnerjee eta lankideen artikuluan ezarri zen oinarria [4] eta, aurrerago, Lawrence eta lankideen artikulua 1980tik 2010era bitarteko datuak aztertu zituen, non CO<sub>2</sub>-emisioak ere kontuan hartzen baitzituzten [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 gai izan gara COVID-19aren pandemiaren ondorioak argi eta garbi behatzeko.

## 2. METODOAK

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

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

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

non  $E_r$  sistemako energia baita,  $k_B$  Boltzmannen konstantea eta  $T$  tenperatura. Horri 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. Hori 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. Anizkoiztasunak,  $\Omega$ ,  $m_k$  bakoitza  $Nk$ -tan banatzeko modu guztiak deskribatzen ditu:

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

Anizkoiztasunaren 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 hau izango du [7]:

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

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

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

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

## 2.2. Lorenz-en kurba

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

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

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

$x$  koordenatuak  $r$ -tik beherako diru-sarrera duten biztanleriaren frakzioa adierazten du, eta  $y$  koordenatua biztanleriaren diru-sarrera kopuru osoa da,

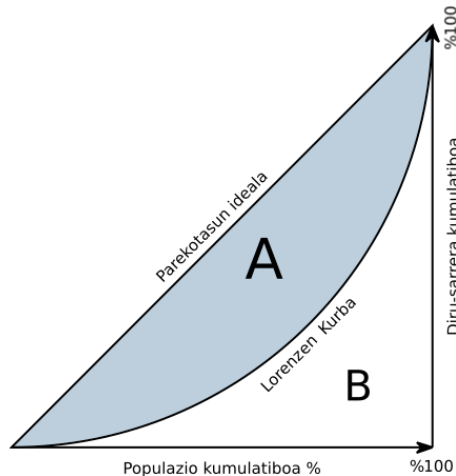
sistemaren diru-sarreraren frakzio moduan.  $r$ , 0 eta  $\infty$  tartean ibiltzen da, eta  $x$  eta  $y$ , 0 eta 1 balioen artean. Lorenz-en kurba geroz eta urrunago egon ekitate absolutua adierazten duen lerrotik, orduan eta desparekotasun handiagoa izango dugu. Ekitatea adierazten duen lerroa, (0,0) puntutik (1,1) puntura doan lerro zuzena da. Beraz, distribuzio esponenzialaren Lorenzen kurbaren itxura jakiteko, integralak kalkula ditzakegu. Gure distribuzio esponenziala  $P(r) = e^{-r/T} / T$  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 sartzen badugu eta integralak kalkulatu gero, distribuzio esponenzialari dagokion Lorenz-en kurba teorikoki kalkulatu ahal izango dugu. Honako hau da emaitza:

$$y(x) = x + (1 - x) \ln(1 - x) \tag{7}$$

### 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 jasotzen du diru guztia eta gainontzekoek bat ere ez. Gini koefizientearen balioa lortzeko, definitu ditzagun Lorenzen kurbaren eta ekitate absolutua adierazten duen zuzenaren arteko azalera (A deituko dioguna) eta Lorenzen kurbaren azpiko azalera (B deituko dioguna).



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

Horrela, Gini koefizientea definitzen da:

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

Gini koefizientea idazteko beste modu bat honako hau dugu:

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

7. ekuazioa 9. ekuazioan ordezkaturaz distribuzio esponentzialari dagokion Gini koefizientearen balioa lortuko dugu. Horren 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. Hori definitzeko, lehenengo herrialde guztiak ordenatu behar dira energia-kontsumo per capita txikienetik handienera. Kontsumo per capita txikiena duen herrialdeari  $n = 1$  dagokio eta kontsumo handiena duen herrialdeari  $n = L$ , non  $L$  herrialde kopuru totala baita. Horrela, distribuzio kumulatiboa honako hau da [5]:

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

eta horrek energia-kontsumoa  $\epsilon_n$ -tik behera duten munduko biztanleriaren frakzioa adierazten du. Modu horrtan, herrialde bereko biztanle guztiei energia-kontsumo bera esleitzen zaie:  $\epsilon_n = \epsilon_n / N_n$ .

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 baitaude:

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

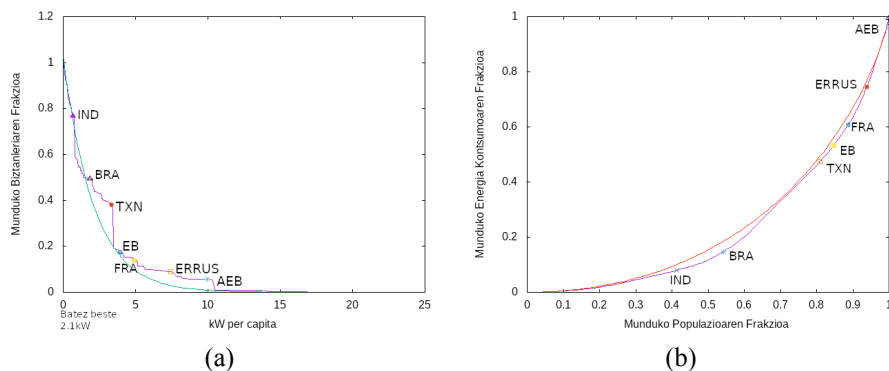
$$y_{enp}(\epsilon_n) = \frac{\sum_{k=1}^n \epsilon_k N_k}{\sum_{k=1}^L \epsilon_k N_k} \quad (12)$$

### 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 horiek eta azaldu-tako metodologia abiapuntu izanda, honako analisi hau egin dugu.

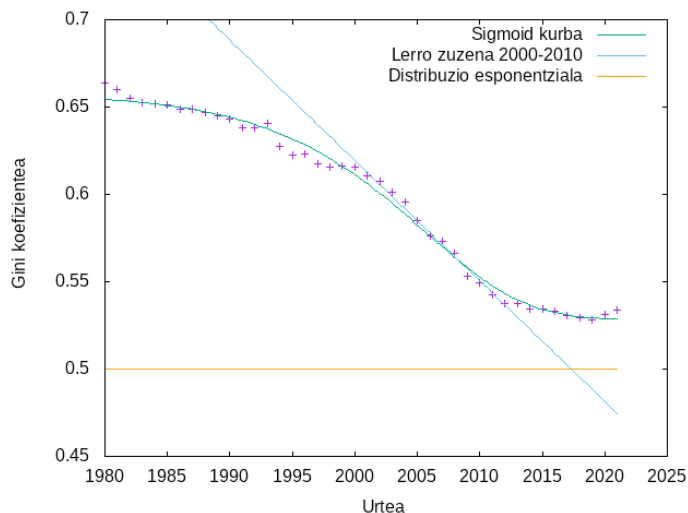
#### 3.1. Energiaren kontsumoa

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 esponen-tzialaren (lerro urdina) antz handia daukatela, eta horrek egindako suposi-zioa indartzen du. Adostasuna hobeto ikusten da 2b irudiko Lorenz-en kur-ban. Teorikoki lortutako kurba, 7 ekuaziokoa, eta datu esperimentalak oso gertu doaz tarte osoan. Horrek erakusten digu 2018ko urtean, termodina-mikako oreka-egoerara iritsi ez bada, gutxi falta zaiola. Gini koefizientearen bidez ere gauza bera ikusten dugu: 2018an 0.529ko balioa lortu zen, eta distribuzio esponenztialari dagokiona, aldiz, 0,5 da.



**2. irudia.** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa energia-kontsumo per capitaren menpe 2018 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponenztziala. (b) Lorenzen kurba munduko energia-kontsumorako 2018 urtean. Lerro morea EIAko datuei dagokio, eta lerro gorria funtzio esponenztzialari.

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

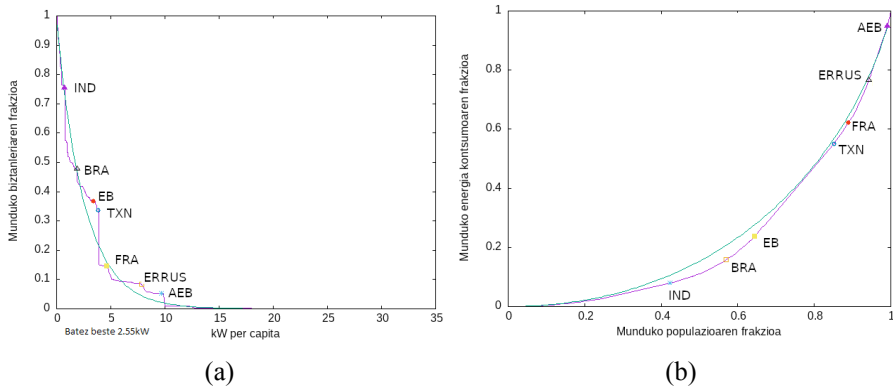


**3. irudia.** Gini koefizientearen eboluzioa 1980-2021 tartean, munduko energiaren kontsumoarentzat. Lerro horia 0.5eko balioari dagokio, Boltzmann-Gibbs distribuzioari dagokion balioa. Lerro urdina 2000-2010 tarteko balioekin egindako lerro zuzena da, eta lerro berdea Sigmoid funtzioaren doikuntza.

Desparekotasunak beherakada nabarmena izan zuen 2000-2010 tartean. Hori dela eta, joera horren jarraipena (begiratu lerro zuzena 3. irudian), urte horietan 0,5-eko balio teorikora 2017an iritsiko zela pentsa zitekeen. 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 aurreikuspen hau egingen dute: Gini koefizienteak Sigmoid doikuntza jarraituko duela eta, beraz  $G = 0,5$  baliorantz asintotikoki hurbilduko dela, baina ez dela inoiz balio horretatik behera joango. Azken hamarkadako datuekin argi ikusten da Gini koefizientearen joera hori izan dela, eta aurreikuspena betetz eta ekonofisikaren teoria suspertu egin dela.



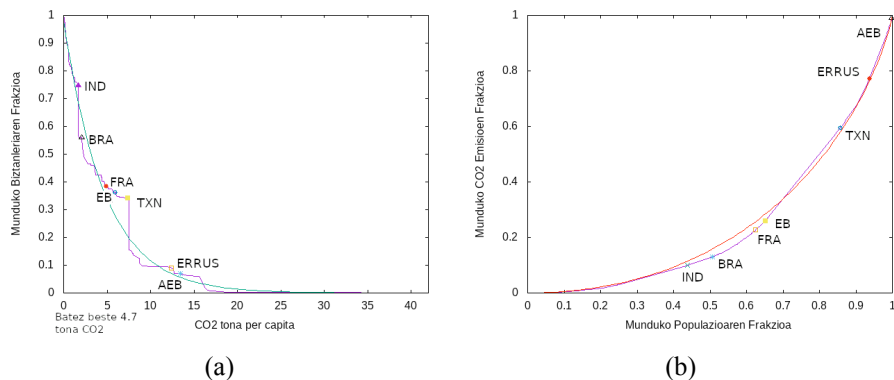
Aztertu diren azken bi urteetan (2020 eta 2021) gorakada txiki bat narbaritzen da. Gorakada hori, zalantzarik gabe, COVID-19aren pandemiak eragin zuen. COVID-19aren pandemiak desparekotasun globala areagotzea ekarri duela, pandemiaren inpaktu ekonomikoek neurritz kanpo eragin baitiete populazio ahulenei. Errenta baxuko herrialdeetako jende askok lana galdu du edo diru-sarreraren murrizketak ikusi ditu, eta aberatsenek aurre egin ahal izan diote ekaitzari nola edo hala. Gainera, pandemiak agerian utzi ditu osasun-zerbitzuak eta teknologia eskuratzeko dauden desberdintasunak, desparekotasuna areagotuz [14, 15]. Beheranzko joera orokorra alde batera utzita, efektu hori azter daikete lan honetan ikertutako banaketetan ere. 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.



**4. irudia.** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa energia-kontsumo per capitaren menpe 2021 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponenziala. (b) Lorenzen kurba munduko energia-kontsumorako 2021 urtean. Lerro morea EIAko datuei dagokio eta lerro urdina funtzio esponenzialari.

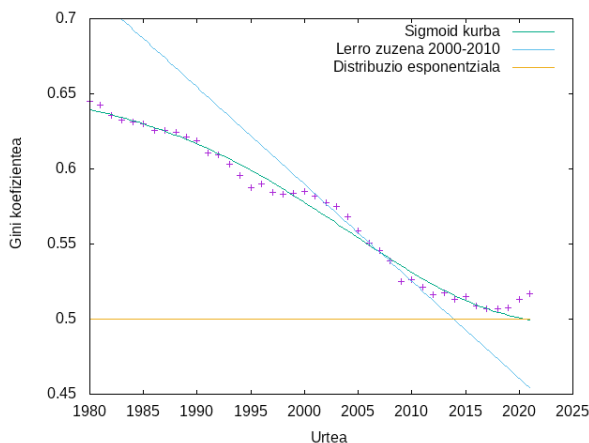
### 3.2. CO<sub>2</sub>-emisioak

Aurreko atalean egindako analisisia CO<sub>2</sub>-emisioen datuetarako izan da. Espero bezala, emaitzak oso antzekoak dira, eta bat datoz argitaratutako datuekin [16]. 5a irudiak 2019. urteko probabilitate metatuaren banaketa erakusten du, eta 5b irudiak dagokion Lorenz-en kurba. Ikus daitekeenez, datuak esponenzialetatik oso hurbil daude, banaketa benetan Boltzmann-Gibbs motakoa dela adieraziz. Lorenz-en kurbak  $G = 0,508$  ematen du, oreka termodinamikoetik oso hurbil.



**5. irudia.** (a) Munduko biztanleriaren frakzioa CO<sub>2</sub>-emisiu per capitemen menpe 2019 urterako. Lerro morea EIAko datuak eta lerro urdina doikuntza esponentziala. (b) Lorenzen kurba munduko CO<sub>2</sub>-emisiarako 2019. urtean. Lerro morea EIAko datuei dagokio eta lerro gorria funtzio esponentzialari.

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 handia mende honen lehen hamarkadan eta egonkortzea azken 10-15 urteetan. Berritri ere, lehenengo aldiz horrelako azterketa batean, agerian geratzen da COVID-19aren pandemiaren eragina ere eta 2020 eta 2021 urteetan *G*-ren igoera nabarmentzen da.



**6. irudia.** Gini koefizientearen eboluzioa 1980-2021 tartean, munduko CO<sub>2</sub>-emisiorentzat. Lerro horia 0.5eko balioari dagokio, Boltzmann-Gibbs distribuzioari dagokion balioa. Lerro urdina 2000-2010 bitarteko 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 langabeziaren eta errenta-desberdintasun handien ondorioz. Moteltze horren jatorrian faktore askok eragin dezakete; besteak beste, aldaketa demografikoek, produktibitatearen hazkunderen 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 jarraitu dezakeela, batez ere COVID-19aren berpiztea 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; horrek are gehiago zailtzen du etorkizuneko ikuspegi ekonomikoa nolakoa izango den jakitea.

#### **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; herrialde txi-roenek, ordea, 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; hala nola, 2019. urtean 0,508ko Gini koefizientea 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 izango dela 0,5eko

Gini koefizientera asintotikoki jotzea. Arrazoi sozial, ekonomiko, politiko edo teknologikoak askotarikoak izan daitezke; azken hamarkadako ekonomia globalaren moteltzea horien atzean egon liteke, eta, are gehiago, etorkizunean ere jarraitu lezake. Mundu mailako parekotasunaren aldeko

edo kontrako dinamikak perturbazio handiek bakarrik eragin ditzakete. Adibidez, gure analisisan, 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., 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., *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. 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., 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*, 20-23.
- [15] DAUDERSTÄT, M. 2022. «International Inequality and the COVID-19 Pandemic». *Intereconomics*, **57**, 40-46.
- [16] SMENIUK. G., YAKOVENKO. V. M. 2020 «Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios» *Journal of Cleaner Production*, **264**, 121420.

