

Starea CLIMEI

România • 2024



O scrisoare deschisă către cititori

Raportul "Starea Climei - România 2024" reprezintă un efort coordonat al unei echipe de 21 de oameni cu scopul de a scoate în prim plan cele mai relevante și actuale date despre schimbările climatice, evoluția fenomenului și proiecțiile de viitor.

Dincolo de comunicarea acestor argumente, raportul își propune să:

- Aducă în prim-plan importanța experților și a argumentelor științifice atunci când discutăm despre schimbările climatice
- Deschidă o platformă de dialog și contribuții științifice pentru cercetătorii și experții din România sub forma unei contribuții actualizate anual, cu accent pe România
- Prezinte în detaliu evoluția la zi a fenomenelor meteo și climatice, a politicilor publice, a măsurilor de adaptare și reziliență, atât pe plan European, cât și specific pentru România
- Să încurajeze un dialog public deschis, bazat pe date empirice relevante, între cercetători, experți, comunicatori, autorități publice, actori privați și publicul larg despre schimbările climatice și acțiunile de adaptare și mitigație a acestora.

Raportul "Starea Climei - România 2024", nu este un demers exhaustiv, acoperind în detaliu doar o parte din domeniile și direcțiile cheie. În acest sens, raportul este o invitație pentru alți cercetători și experți de a se alătura echipei actuale de cercetători pentru a lărgi acoperirea raportului și a deschide noi capitole ale acestuia.

Contribuțiile experților și munca celorlalți membri ai echipei sunt ghidate de credința că schimbările climatice sunt o realitate pe care nu o putem evita iar argumentele bazate pe date și expertiză constituie o fundație indispensabilă oricărei acțiuni climatice de succes.

Am dori să încurajăm cititorii acestui raport să îl folosească ca un instrument pentru a răspunde la întrebări, pentru a pregăti materiale media sau științifice, pentru a susține cu argument științific o cauză sau o politică publică, și nu în ultimul rând pentru a susține un dialog public informat și cu implicarea cercetătorilor.

Autorii proiectului

Dr. Bogdan Antonescu Dr. Mihai Dima Dr. Monica Ioniță Dr. Sorin Cheval Dr. Dan Mercea Dr. Cristian Presură
Dr. Matthias Hoffmann Dr. Felipe G. Santos Dr. Mihnea Cătuți Prof. Radu Dudău Drd. Vlad Fălcescu

Acest raport a fost coordonat de



cu sprijinerea



Rezumat

Criza climatică globală a atins un punct critic, evidențiat de datele din 2023 care arată o creștere a temperaturii medii globale cu 1,48°C față de perioada preindustrială. Aproape jumătate din zilele anului au depășit pragul de 1,5°C stabilit prin Acordul de la Paris, semnalând direcția alarmantă în care se îndreaptă climatul, cu impact profund asupra ecosistemelor și societății.

România resimte deja aceste schimbări prin intensificarea **valurilor de căldură** în ultimele șapte decenii. Între 1950 și 2023, durata și frecvența acestora au crescut semnificativ, majoritatea regiunilor înregistrând prelungiri de 10-15 zile, iar sud-vestul și estul țării peste 25-30 de zile. Proiecțiile indică o continuare a acestui trend până la sfârșitul secolului, afectând sănătatea publică și economia.

Pe lângă valurile de căldură, **seceta** reprezintă o altă provocare majoră pentru România. Suprafețele afectate de secetă moderată, severă și extremă au crescut, cu maxime în perioadele 2018-2020 și 2021-2023. Seceta din 2018-2021 este cea mai lungă înregistrată, având efecte devastatoare asupra agriculturii și securității alimentare. Tendința de aridizare continuă, influențând profund ecosistemele și producția agricolă.

Alte fenomenele meteorologice extreme, precum **furtunile severe**, au devenit de asemenea mai frecvente. Între 1940 și 2023, s-a observat o creștere a condițiilor favorabile pentru astfel de evenimente, în special în estul și nordul țării. Proiecțiile pentru 2025-2050 și sfârșitul secolului indică o intensificare a acestor fenomene, cu impact negativ asupra agriculturii și infrastructurii.

În plus, urbanizarea amplifică efectele schimbărilor climatice. Orașele devin mai calde și mai uscate decât zonele rurale, fenomen cunoscut ca **Insula de Căldură Urbană**, iar diferențele de temperatură pot ajunge până la 7-8°C. Până în 2040, valurile de căldură și temperaturile extreme vor afecta aproximativ 50% din populația urbană, în special în orașe precum București și Craiova. Adaptarea necesită politici urbane integrate și soluții bazate pe natură.

Odată cu creșterea temperaturii medii globale, ne apropiem de **puncte critice climatice**, praguri ireversibile cu efecte devastatoare. Slăbirea circulației meridionale din Atlantic poate duce la scăderea precipitațiilor și intensificarea secetelor în România, afectând agricultura și securitatea alimentară. Este esențială anticiparea acestor schimbări prin avertizare timpurie și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Politicile climatice devin astfel cruciale. Pactul Ecologic European și Legea Europeană a Climei stabilesc obiective pentru neutralitatea climatică până în 2050. România a implementat măsuri privind eficiența energetică și promovarea energiei regenerabile, dar lipsa unei legi naționale a climei și implementarea deficitară subliniază necesitatea unei viziuni integrate.

Sectorul energetic este central în această tranziție. Deși combustibilii fosili predomină, există planuri de creștere a capacităților regenerabile și nucleare până în 2050. Electrificarea economiei și dezvoltarea infrastructurii de stocare a energiei sunt esențiale pentru atingerea neutralității climatice.

Percepțiile publicului sunt însă mixte. Totuși, din cei intervievați, 17% cred că schimbările climatice vor avea impact extrem de negativ asupra vieții lor. Agricultură, alimentarea cu apă, economia și sănătatea sunt domeniile în care românii cred că schimbările climatice vor avea un impact negativ semnificativ.

În acest context, raportul "Starea Climei - România 2024" oferă o perspectivă clară asupra necesității acțiunii imediate pentru a preveni consecințele ireversibile ale schimbărilor climatice."

Vezi autorii acestui raport

Autori

Dr. Bogdan Antonescu

este cercetător în domeniul meteorologiei și climatologiei, lector la Facultatea de Fizică a Universității din București și cercetător la Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizica Pământului, cu expertiză în studiul furtunilor severe și al fenomenelor meteorologice extreme în contextul schimbărilor climatice. Printre contribuțiile sale se numără dezvoltarea primei climatologii a tornadelor din România și a unei climatologii detaliate a tornadelor din Europa. Bogdan este implicat în proiecte de cercetare și colaborează cu instituții academice și de cercetare pentru a studia impactul schimbărilor climatice asupra fenomenelor meteorologice extreme. Bogdan este, de asemenea, implicat activ în comunicarea științei, promovând înțelegerea publică a schimbărilor climatice și a impactului acestora asupra fenomenelor extreme.



Dr. Sorin Cheval

este cercetător științific la Administrația Națională de Meteorologie, de formație geograf, specializat în climatologie, cunoscut mai ales pentru studiile sale în domeniul schimbărilor climatice și impactul acestora asupra mediului urban. Activitatea sa de cercetare include analiza riscurilor climatice, variabilitatea și schimbările climatice la nivel regional și local. Dr. Cheval coordonează mai multe proiecte internaționale de cercetare care au vizează adaptarea sectorială la schimbările climatice, cum ar fi CARMINE, CROSSEU și OptFor-EU. A publicat numeroase lucrări științifice în reviste importante, fiind recunoscut pentru contribuțiile sale în domeniul climatologiei urbane. Nu în ultimul rând, Dr. Sorin Cheval predă cursuri de specialitate la Universitatea din București, Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca și Academia Forțelor Aeriene Henri Coandă Brașov, și este președintele Asociației Române de Meteorologie Aplicată și Educație (ARMAE).



Dr. Mihnea Cătuși

coordonează strategia de cercetare cât și alte activități la EPGARIA sa de expertiză acoperă politicile climatice, industriale și energetice ale Uniunii Europene, precum și tranziția climatică a Europei de Sud-Est. Este de asemenea Asociat Senior al Programului pentru o Economie Curată al E3G, concentrându-se pe tranziția industrială. Dr. Cătuși a fost cercetător asociat la Centrul pentru Studii de Politici Europene (CEPS), unde a condus activitățile privind viitorul hidrogenului în UE. A fost, de asemenea, lector asociat în Politici Publice la Universitatea din York. Mihnea are o diplomă de licență de la Universitatea din Bristol și un master în Politici Publice Europene de la Universitatea din York și Universitatea Central Europeană. A obținut un doctorat de la Universitatea din York cu o teză axată pe guvernanta energetică și climatică în UE.



Dr. Mihai Dima

este profesor la Facultatea de Fizică a Universității din București și cercetător în domeniul variațiilor climatice. Este autor a numeroase articole științifice referitoare la mecanismele fizice ale schimbărilor climatice, publicate în cele mai prestigioase reviste pe plan internațional. A fost președinte al Consiliului Național al Cercetării Științifice și secretar de stat pentru cercetare științifică și inovare. În prezent este director al Școlii Interdisciplinare de Studii Doctorale la Universității din București și ambasador științific al Fundației Humboldt, din Germania.



Vezi ceilalți autori

Autori

Prof. Radu Dudău

este Președinte al think-tank-ului independent Energy Policy Group, specializat în politici energetice și climatice. Este absolvent al Facultăților de Fizică și de Filosofie ale Universității „Al. I. Cuza” din Iași, doctor în filosofie al Universității Konstanz (Germania) și doctor în științe politice (specializarea relații internaționale) al SNSPA. Între 2007 și 2023, Radu a fost conferențiar al Universității București. Între 2006 și 2010 a fost cercetător și director adjunct al Institutului Diplomatic Român. În 2015-2017 a fost coordonator al Strategiei Energetice a României, în Ministerul Energiei.



Drd. Vlăduț Fălcescu

Este doctorand al Universității Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca și lucrează ca meteorolog în cadrul direcției de climatologie a Administrației Naționale de Meteorologie. Activitatea și cercetarea sa se concentrează pe adaptarea la efectele schimbărilor climatice, reziliența urbană și politicile climatice.



Dr. Matthias Hoffmann

este cercetător postdoctoral la Facultatea de Științe Politice, Administrative și ale Comunicării din cadrul Universității Babeș-Bolyai. Matthias este absolvent de științe politice la Freie Universität Berlin și a obținut titlul de doctor la Universitatea din Trento pentru o teză despre rețelele digitale de acțiune colectivă împotriva solicitanților de azil și a refugiaților în Germania. Cercetările sale examinează mișcările sociale, protestul, rețelele sociale și comunicarea digitală și au fost publicate în reviste de top din sociologie și științele comunicării.



Dr. Monica Ioniță

este cercetătoare în cadrul Grupului de Paleoclimatologie de la Institutul Alfred Wegener pentru Cercetări Polare și Marine. Cercetărilor sale sunt axate pe analiza și înțelegerea variabilității și predictibilității potențiale a evenimentelor extreme într-o lume în schimbare, utilizând metode statistice complexe și diferite tipuri de date care acoperă un spectru temporal larg, mergând înapoi cu mii de ani în trecut, acoperind prezentul și extinzând orizontul nostru în viitor.. În ultimii ani, a fost, de asemenea, foarte implicată în transferul de știință și tehnologie și în comunicarea generală a problemelor legate de schimbările climatice către public.



[Vezi ceilalți autori](#)

Autori

Dr. Dan Mercea

este profesor universitar în departamentul de sociologie și criminologie al City St. George, University of London și cercetător științific la Universitatea Babes-Bolyai din Cluj. Principala sa temă de cercetare este participarea politică cu accent pe legăturile dintre aceasta și comunicarea socială pe diverse platforme de pe internet și respectiv implicațiile acestui tip de participare asupra unor politici publice cum ar fi cele legate de schimbările climatice.



Dr. Cristian Presură

a urmat studiile facultăților de electrotehnică și fizică. A lucrat la Institutul de Fizică Atomică, unde s-a ocupat de instalații electrice și a studiat proprietățile laserilor cu medii active solide. În 2002 a obținut doctoratul în fizică la Universitatea Groningen, Olanda, unde a caracterizat proprietățile optice ale sistemelor corelate de electroni. Rezultatele sale au fost publicate în reviste de specialitate de mare impact, precum Science, Physical Review Letters și Physical Review B. Totodată, Cristian Presură are o intensă activitate de popularizare a științei în limba română, scriind cărți și articole, realizând numeroase prezentări fizice și online. Este autorul cunoscutelor cărți „Fizica povestită” și „O călătorie prin univers”. Poate fi urmărit săptămânal cu noutăți pe canalul de youtube „Fizica cu Cristian Presură”.



Dr. Felipe G. Santos

este cercetător postdoctoral în cadrul Departamentului de Sociologie și Criminologie la City, University of London (Regatul Unit) și la Facultatea de Științe Politice, Administrative și ale Comunicării de la Universitatea Babeș-Bolyai (România). De asemenea, el este co-investigator principal al proiectului READJUST Climate, care se concentrează pe studiul atitudinilor românilor față de criza climatică și pe sugerarea unor modalități inovatoare de a încadra comunicarea pe teme de mediu. Cercetările sale au fost publicate în reviste academice de top, cum ar fi Perspectives on Politics, European Societies, International Affairs, Political Studies și Communication Methods and Measures, și au fost prezentate în principalele platforme media, precum BBC World News, The Guardian, Al Jazeera și El País. Felipe și-a obținut doctoratul summa cum laude de la Central European University și a fost recunoscut cu premiul Young Scholar Award 2021 de către Asociația Sociologică Europeană.



♥ La raport au contribuit de asemenea:

Andreea Bărsăcu - Coordonare și comunicare cu autori
Sorin Cebotari - Proofreading și editare
Ioana Csátlos - Coordonare parteneri
Dragoș Ene - Prelucrare date
Edit Gyenge - Information Designer

Bogdan Ioniță - Art Director
Ada Roseti - Coordonator de proiect
Vlad Radu Zamfira - Coordonare și comunicare cu autori
Florin Zubașcu - Proofreading și editare

Vezi cuprinsul

Capitolul 1: O introducere în dinamica schimbărilor climatice în România

de Dr. Bogdan Antonescu, Dr. Monica Ioniță

Capitolul examinează în detaliu criza climatică actuală, subliniind gravitatea acesteia pe baza datelor recente din 2023. Datele furnizate de Copernicus Climate Change Service (C3S) arată că temperatura medie globală în 2023 a fost cu 1,48°C mai mare decât perioada preindustrială, confirmând o tendință de încălzire susținută. Mai mult decât atât, aproape jumătate din zilele anului au înregistrat temperaturi care au depășit pragul de 1,5°C, un reper critic definit de Acordul de la Paris. Aceste cifre reflectă nu doar o simplă deviație meteorologică, ci un semnal clar că ne îndreptăm spre un viitor climatic incert, cu impacturi semnificative asupra ecosistemelor și societății umane.

Capitolul 2: Evoluția temperaturilor și a valurilor de căldură în România

de Dr. Monica Ioniță

Capitolul dat analizează evoluția valurilor de căldură în România în ultimii aproximativ 70 de ani. Datele indică o creștere semnificativă din punct de vedere statistic atât a duratei cât și a frecvenței valurilor de căldură pentru perioada 1950-2023. Majoritatea regiunilor au înregistrat o creștere a duratei valurilor de căldură între 10 și 15 zile, în timp ce sud-vestul și estul țării (în apropierea Mării Negre) înregistrează o creștere mai mare de 25-30 zile. De asemenea capitolul prezintă scenariile pentru evoluția valurilor de căldură în România până la finalul secolului indicând o creștere atât a numărului de valuri de căldură cât și a duratei acestora.

Capitolul 3: Secete, aridizare și precipitații în România: Evoluții până în 2023 și perspective de viitor

de Dr. Monica Ioniță

Datele meteorologice arată o creștere a suprafețelor afectate de secetă moderată, severă și extremă în România, cu puncte maxime înregistrate în perioadele 2018-2020 și 2021-2023. Seceta din 2018-2021 este cea mai lungă înregistrată, iar fenomenul continuă. De asemenea, se observă o extindere a aridității în mare parte a țării, cu efecte semnificative asupra agriculturii și securității alimentare. Secetele viitoare, agravate de încălzirea globală, vor influența profund ecosistemele și agricultura României.

Capitolul 4: Furtunile severe din România în contextul schimbărilor climatice

de Dr. Bogdan Antonescu

În perioada 1940-2023, s-a observat o creștere a orelor cu condiții favorabile pentru furtuni severe în toată țara, în special în partea de est. Fenomene precum grindina de mari dimensiuni și vânturile intense devin tot mai frecvente. Proiecțiile pentru viitorul apropiat (2025-2050) și pentru sfârșitul secolului (2071-2100) indică o intensificare a acestor fenomene, în special în nordul României, unde riscul de grindină și furtuni violente este așteptat să crească semnificativ. Aceste schimbări sunt atribuite în principal creșterii umidității atmosferice, ceea ce contribuie la o mai mare instabilitate atmosferică. Impactul social și economic al acestor furtuni poate fi devastator, cu pierderi semnificative în agricultură și infrastructură.

— Capitolul 5: Climatul urban — provocări actuale pentru România

de Dr. Sorin Cheval, Drd. Vlad Fălcescu

Capitolul discută climatul urban și provocările asociate acestuia, cu un accent special pe România. Urbanizarea rapidă a dus la modificări semnificative ale peisajului și ale utilizării terenurilor, orașele devenind mai calde și mai uscate decât zonele învecinate. Efectul de Insulă de Căldură Urbană (ICU) este accentuat în orașele mari, cu diferențe de temperatură de 2-3°C între acestea și zonele rurale din apropiere, dar în unele cazuri poate ajunge la 7-8°C. În România, valurile de căldură și temperaturile extreme vor deveni mai frecvente până în 2040, cu un impact major în regiunile sudice. Aproximativ 50% din populația urbană este expusă la riscuri termice ridicate, în special în orașe precum București și Craiova. Adaptarea la aceste riscuri necesită politici urbane integrate, infrastructuri verzi și soluții bazate pe natură.

— Capitolul 6: Puncte critice climatice și sociale - Cum procesele globale au un impact local

de Dr. Mihai Dima

În studiile climatice, punctele critice se referă la praguri ireversibile care, odată depășite, pot produce efecte devastatoare asupra ecosistemelor naturale și a societăților. Un exemplu concret de prag ireversibil ce poate fi depășit în România este slăbirea circulației meridionale din Atlantic, care va duce la scăderea precipitațiilor și la intensificarea secetelor. Acest fenomen va afecta agricultura, securitatea alimentară și va reduce productivitatea ecosistemelor, având un impact direct asupra economiei și populației. Acest capitol subliniază importanța anticipării acestor schimbări prin dezvoltarea de metode de avertizare timpurie și prin limitarea emisiilor de gaze cu efect de seră.

— Capitolul 7: Politicile climatice în România - o privire de ansamblu pentru anul 2024

de Dr. Mihnea Cătuți

Datele meteorologice arată o creștere a suprafețelor afectate de secetă moderată, severă și extremă în România, cu puncte maxime înregistrate în perioadele 2018-2020 și 2021-2023. Seceta din 2018-2021 este cea mai lungă înregistrată, iar fenomenul continuă. De asemenea, se observă o extindere a aridității în mare parte a țării, cu efecte semnificative asupra agriculturii și securității alimentare. Secetele viitoare, agravate de încălzirea globală, vor influența profund ecosistemele și agricultura României.

— Capitolul 8: Emisiile de gaze cu efect de seră în sectorul energetic românesc. Perspective de decarbonizare

de Dr. Radu Dudău

Capitolul discută emisiile de gaze cu efect de seră (GES) din sectorul energetic românesc și perspectivele de decarbonizare, subliniind tranziția către neutralitate climatică până în 2050. Deși combustibilii fosili încă domină mixul energetic al României, capacitățile regenerabile (eolian, solar) și nucleare vor crește semnificativ până în 2050, cu accent pe electrificarea economiei. Dezvoltarea infrastructurii de stocare a energiei și integrarea surselor regenerabile sunt esențiale pentru această tranziție.

— Capitolul 9: Schimbările climatice: atitudini și percepții ale românilor în 2024

de Dr. Dan Mercea, Dr. Felipe G. Santos și Dr. Matthias Hoffmann

Acest capitol explorează percepțiile și atitudinile românilor față de criza climatică și impactul acesteia asupra politicilor publice. Deși schimbările climatice sunt recunoscute ca o problemă, doar 4% dintre români le consideră o prioritate națională. Problemele economice, precum inflația și costul vieții, sunt percepute ca fiind mai presante. Agricultură, alimentarea cu apă, economia și sănătatea sunt domeniile în care românii cred că schimbările climatice vor avea un impact negativ semnificativ.

— Capitolul 10: Rezumatul raportului

de Dr. Cristian Presură

În studiile climatice, punctele critice se referă la praguri ireversibile care, odată depășite, pot produce efecte devastatoare asupra ecosistemelor naturale și a societăților. Un exemplu concret de prag ireversibil ce poate fi depășit în România este slăbirea circulației meridionale din Atlantic, care va duce la scăderea precipitațiilor și la intensificarea secetelor. Acest fenomen va afecta agricultura, securitatea alimentară și va reduce productivitatea ecosistemelor, având un impact direct asupra economiei și populației. Acest capitol subliniază importanța anticipării acestor schimbări prin dezvoltarea de metode de avertizare timpurie și prin limitarea emisiilor de gaze cu efect de seră.

— Glosar de termeni

Schimbările Climatice: Recorduri de Temperatură și Praguri Critice în 2023

Dr. Bogdan Antonescu

Dr. Monica Ioniță



Sumar

Capitolul explorează criza climatică actuală, subliniind impactul acumulativ al creșterii concentrației gazelor cu efect de seră și gestionarea deficitară a resurselor naturale. Deși Acordul de la Paris din 2015 stabilește un obiectiv de a menține creșterea temperaturii globale sub 1,5°C, datele recente din 2023 indică o situație alarmantă, cu temperaturi record la nivel mondial. Conform datelor Copernicus, temperatura medie globală în 2023 a fost cu 1,48°C mai mare față de perioada preindustrială, iar aproape jumătate din zilele anului au avut temperaturi mai mari de 1,5°C.

Schimbările climatice au ajuns într-un punct critic, evidențiind impactul cumulativ al deceniilor de creștere a concentrației gazelor cu efect de seră, dar și al gestionării inadecvate a resurselor naturale. În acest context, atât comunitatea științifică cât și organizațiile internaționale, precum Organizația Națiunilor Unite sau Organizația Meteorologică Mondială, au continuat să atragă atenția asupra implementării urgente de măsuri concrete pentru a limita creșterea temperaturii globale sub pragul de 1,5°C, stabilit prin Acordul de la Paris din 2015. Cu toate acestea, datele și observațiile din ultimii ani arată că atingerea acestui obiectiv devine din ce în ce mai dificilă, având în vedere pe de o parte rata actuală a încălzirii globale și pe de altă parte lipsa unor politici ambițioase la scară largă.

Anul 2023 a înregistrat cele mai ridicate temperaturi din istoria măsurărilor meteorologice. Potrivit datelor Copernicus, temperatura medie globală în 2023 a fost de 14,98°C, cu 1,48°C mai mare decât media din perioada preindustrială 1850–1900 (Figura 1). Față de recordul anterior stabilit în 2016, 2023 a fost cu 0,17°C mai cald. Începând din iunie, fiecare lună din 2023 a depășit temperaturile lunilor corespunzătoare din toți anii precedenți (1940–2022), iar lunile iulie și august au înregistrat cele mai ridicate temperaturi din toate timpurile.

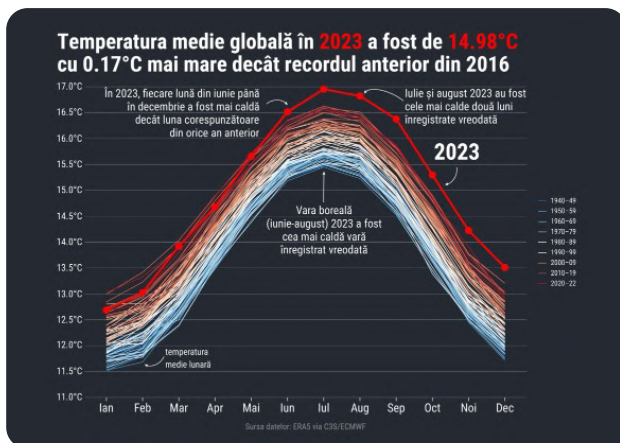


Figura 1. Temperatura medie globală lunară între ianuarie 1940 și decembrie reprezentată ca o serie de timp pentru fiecare an. Sursa datelor: ERA5 via CS3/ECMWF.

Această creștere a temperaturii medii globale cu 1,48°C în 2023 poate părea, la prima vedere, nesemnificativă. Totuși, chiar și variațiile aparent mici ale temperaturii globale au un impact considerabil, deoarece orice creștere ne aduce mai aproape de pragul critic de 1,5°C stabilit prin Acordul de la Paris. Pragul de 1,5°C nu este o limită simbolică, depășirea acestuia având implicații majore pentru stabilitatea sistemului climatic.

Este important de subliniat că acest prag, stabilit prin Acordul de la Paris, se referă la încălzirea pe termen lung și nu la fluctuațiile unui singur an. În fiecare an, schimbările de temperatură pot fi influențate atât de factorii antropici, cât și de variații climatice naturale pe termen scurt, cum vom explora mai departe. Cu toate acestea, atingerea unor valori foarte apropiate de acest prag în 2023 subliniază gravitatea situației.

Continuarea acestei tendințe ridică îngrijorări serioase, deoarece riscul de a depăși acest prag pe termen lung devine tot mai iminent, ceea ce ar putea declanșa efecte climatice ireversibile, precum pierderi masive de biodiversitate, creșterea nivelului mării și intensificarea dezastrelor naturale.

Figura 2. Distribuția anuală (1940—2023) a anomaliilor temperaturii medii globale față de perioada de referință 1991—2020. Pentru comparație sunt prezentate separat și distribuțiile anomaliilor temperaturii pentru 1940, 1980 și 2023.

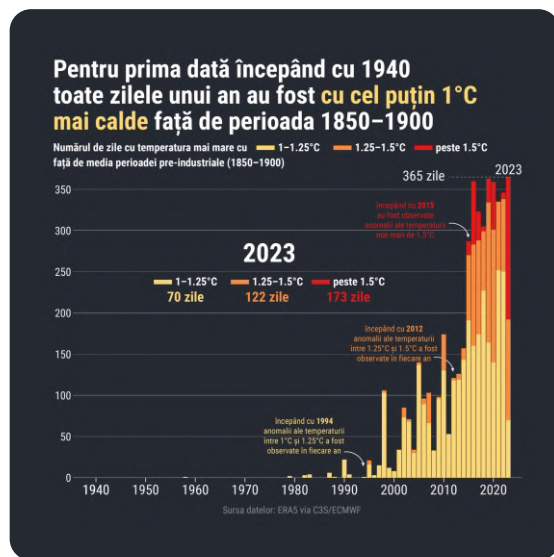
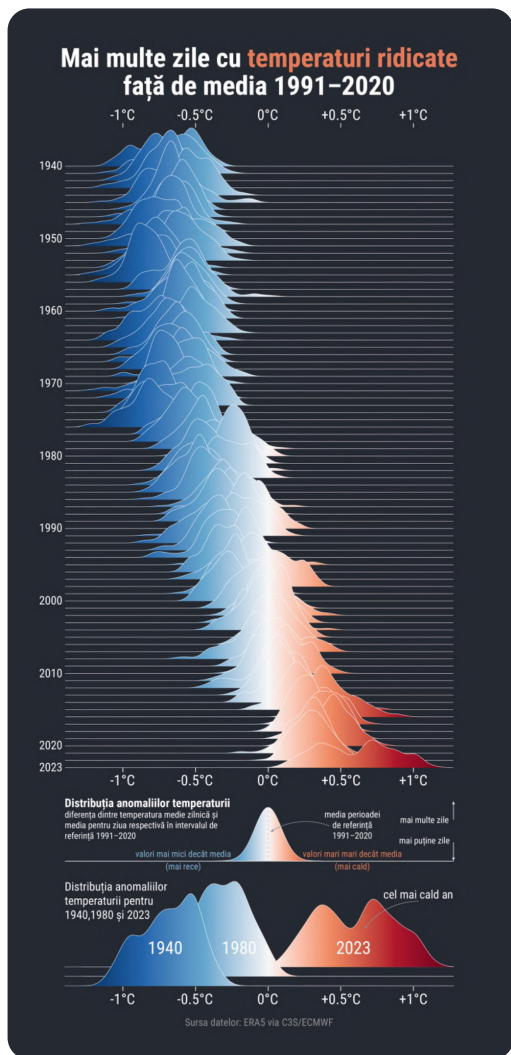


Figura 3. Distribuția anuală (1940—2023) a numărului de zile cu anomalii ale temperaturii medii globale față de perioada de referință 1991—2020 mai mari de 1°C.
Sursa datelor: ERA5 via CS3/ECMWF.

Majoritatea zilelor anului 2023 au avut temperaturi mai ridicate față de media 1991—2020 (Figura 3). Iar față de perioada preindustrială (1850—1900), 2023 a fost primul an în care anomalia temperaturii pentru fiecare zi a fost de cel puțin 1°C (Figura 4). Aproximativ 50% din zilele anului 2023 au avut anomalii mai mari de 1.5°C. Anul 2016 (anul în care a fost stabilit recordul precedent pentru temperatura medie globală) a avut aproximativ 20% din zile cu anomalii mai mari de 1.5°C.

Pentru o înțelegere mai profundă a modului în care clima noastră se modifică, trebuie să luăm în considerare și alți factori critici, cum ar fi conținutul de căldură al oceanului, care oferă o imagine mai cuprinzătoare. În 2023, conținutul de căldură al oceanului a atins 286 ZJ (zetajouli), comparativ cu perioada de referință 1981—2010 (Figura 4). Acesta este un indicator mai precis al schimbărilor climatice decât temperatura medie globală. Creșterea conținutului de căldură al oceanului începând cu 1998 reflectă acumularea constantă de energie termică în straturile superioare ale oceanului, între 0 și 2000 metri adâncime. Pe măsură ce gazele cu efect de seră rețin mai multă căldură în atmosfera Pământului, oceanul acționează ca un rezervor de căldură, absorbind o parte semnificativă din excesul de căldură.

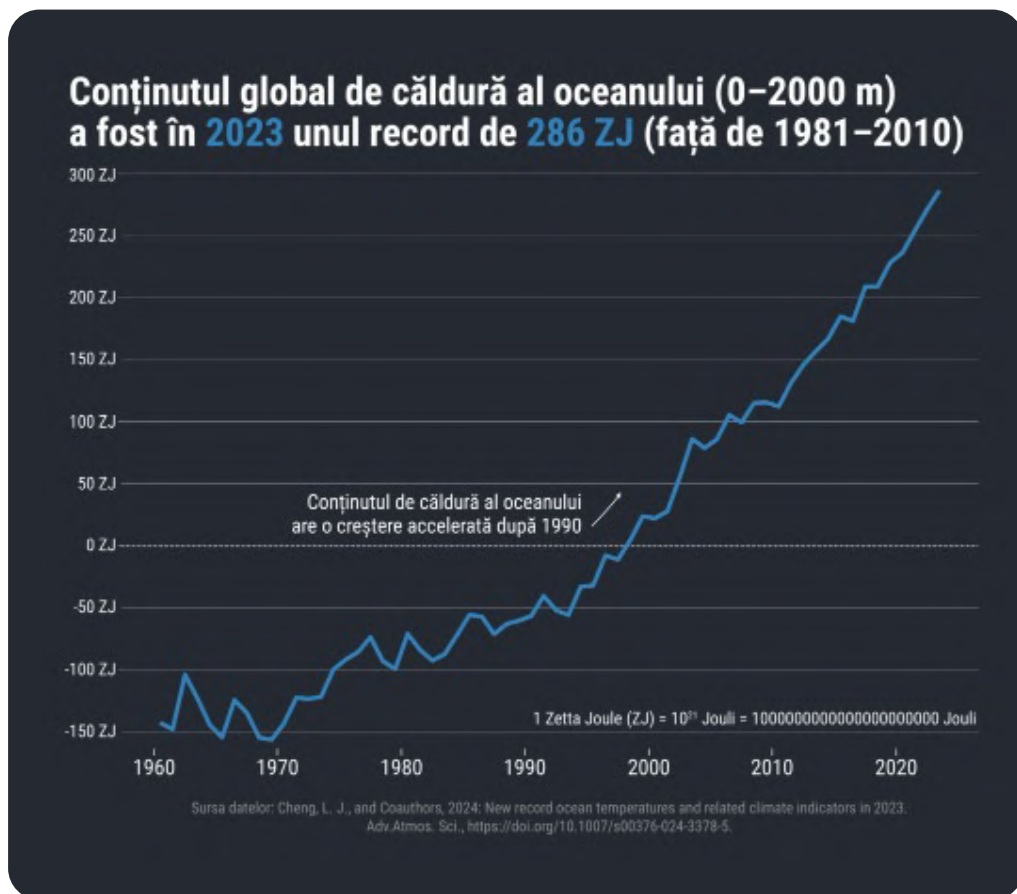


Figura 4. Conținutul de căldură al oceanului (în Zetta Joule, ZJ) din stratul 0—2000 m pentru intervalul 1960—2023 față de perioada de referință 1981—2010.

De asemenea, concentrațiile gazelor cu efect de seră au atins noi recorduri în 2023, cauzate în principal de activitățile umane, cum ar fi arderea combustibililor fosili, schimbările în utilizarea terenurilor și agricultura (Figura 5). Concentrația medie anuală a dioxidului de carbon (CO₂) a ajuns la 419 părți per milion (ppm), marcând o creștere de 2,4 ppm (+/- 0,4 ppm) față de 2022. CO₂ este responsabil pentru aproximativ 42% din creșterea globală a temperaturilor în comparație cu perioada preindustrială (1850—1900). În plus, concentrația de metan (CH₄) a crescut cu 11 părți per miliard (+/- 3 ppb) în 2023, ajungând la 1902 ppb. CH₄ contribuie la aproximativ 28% din creșterea temperaturilor globale. Potrivit Copernicus, nivelurile de CO₂ din atmosferă în 2023 au fost cele mai ridicate din ultimii cel puțin 2 milioane de ani, iar concentrația de CH₄ a atins cel mai înalt nivel din ultimii 800.000 de ani. Aceste cifre subliniază gravitatea situației și necesitatea unor măsuri urgente pentru reducerea emisiilor.

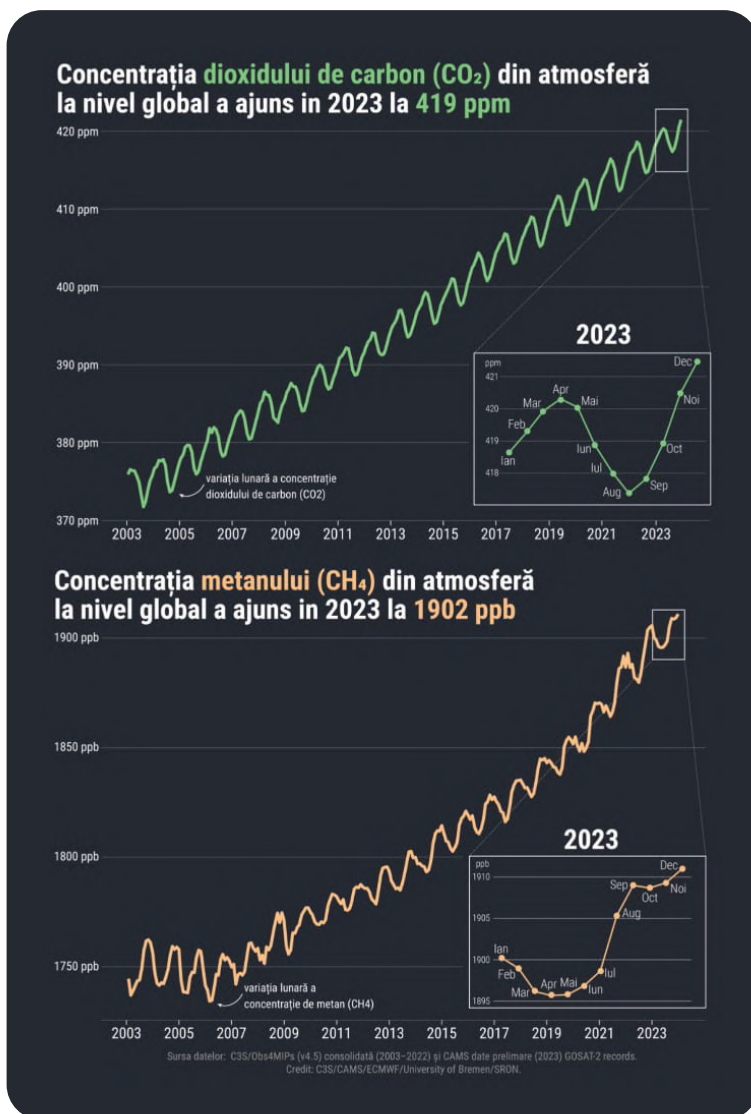


Figura 5. Concentrația lunară a dioxidului de carbon (sus, exprimată în părți per milion) și a metanului (jos, exprimată în părți per miliard) din atmosferă între ianuarie 2003 și decembrie 2023 (media pe coloană obținută din date satelitare).

Este esențial să luăm în considerare noul record al temperaturii medii globale din 2023, dar și mai important este să analizăm tendința de creștere pe termen lung a temperaturilor cauzată de activitățile umane. Conform unei analize efectuate de Berkeley Earth, dacă actuala tendință de încălzire din ultimii 40 de ani se menține, pragul de 1,5°C va fi atins în jurul anului 2032, iar pragul de 2,0°C în jurul anului 2057. Aceste estimări se bazează pe tendințele pe termen lung, nu pe variațiile anuale. Aceasta subliniază încă o dată urgența unor acțiuni rapide și continue de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră pentru a încetini ritmul schimbărilor climatice.

În concluzie, contextul climatic global ne arată o direcție clară de încălzire accelerată, cu consecințe profunde. Următoarele secțiuni vor explora modul în care aceste tendințe generale influențează România, cu accent pe fenomene precum valurile de căldură, seceta, furtunile, impactul asupra climei urbane, punctele critice ale sistemului climatic și politicile necesare pentru a răspunde acestor provocări.

Evoluția temperaturilor și a valurilor de căldură în România.

Dr. Monica Ioniță



Sumar

Acest capitol analizează evoluția valurilor de căldură în România și Europa de Est în ultimii aproximativ 70 de ani, utilizând două metodologii: una bazată pe praguri relative ale temperaturii și alta pe valori absolute fixe ale temperaturii. Astfel datele indică o creștere semnificativă din punct de vedere statistic atât a duratei cât și a frecvenței valurilor de căldură pentru perioada 1950-2023. Majoritatea regiunilor au înregistrat o creștere a duratei valurilor de căldură între 10 și 15 zile, în timp ce sud-vestul și estul țării (în apropierea Mării Negre) înregistrează o creștere mai mare de 25-30 de zile în decursul ultimilor 74 de ani.

În perioada 31 mai - 31 iulie 2024, România a fost lovită de cel mai lung și intens val de căldură din istoria recentă. În aceste 62 de zile, 46 au înregistrat condiții de val de căldură, reprezentând 75% din întreaga perioadă.

Primul val de căldură a avut loc între 31 mai și 13 iunie 2024, înregistrat la stația meteorologică București Filaret, și a durat 14 zile, cu o intensitate cumulată de 114,04°C. Al doilea val, desfășurat între 16 și 21 iunie, a avut o intensitate de 115,34°C și a durat 16 zile. Cel mai intens val de căldură a fost înregistrat între 6 și 21 iulie, cu o intensitate cumulată de 152,02°C, un record pentru ultimii 130 de ani.

Anul 2023 a înregistrat cele mai ridicate temperaturi din istoria măsurătorilor meteorologice. Potrivit datelor Copernicus, temperatura medie globală în 2023 a fost de 14,98°C, cu 1,48°C mai mare decât media din perioada preindustrială 1850—1900 (Figura 1). Față de recordul anterior stabilit în 2016, 2023 a fost cu 0,17°C mai cald. Începând din iunie, fiecare lună din 2023 a depășit temperaturile lunilor corespunzătoare din toți anii precedenți (1940—2022), iar lunile iulie și august au înregistrat cele mai ridicate temperaturi din toate timpurile.

În lunile iunie și iulie 2024, au fost înregistrate 57 de zile cu temperaturi maxime zilnice de peste 30°C, 28 de zile cu temperaturi de peste 35°C și 6 zile cu temperaturi de peste 40°C la stația București Filaret. Aceste valori sunt fără precedent în peste 130 de ani de observații la această stație. Valul de căldură din a doua jumătate a lunii iulie a afectat toată țara, cele mai ridicate temperaturi fiind înregistrate în regiunile extracarpatice. Pe 16 iulie 2024, la 24 de stații meteorologice s-au înregistrat temperaturi de peste 40°C, iar pe 17 iulie la 17 stații. În perioada 1-18 iulie 2024, la 26 de stații s-a egalat sau depășit temperatura maximă absolută lunară, cu exemple precum Botoșani (+39,4°C) și Târgu Mureș (+39,0°C). Chiar și zonele de munte au fost afectate, cu Brașov înregistrând +36,6°C și Predeal +31,4°C.

La nivel global, datele din analizele atmosferice operate de sateliții Copernicus indică faptul că 22 iulie 2024 a fost cea mai caldă zi din lume, cel puțin din 1940, cu o temperatură medie globală de +17,16°C. Aceasta a fost urmată îndeaproape de 23 iulie, cu +17,15°C. Înainte de iulie 2023, recordul anterior era de +16,8°C, stabilit pe 13 august 2016. Între 3 iulie 2023 și 23 iulie 2024, acest record a fost depășit de 59 de ori.

Acest val de căldură din 2024 nu este o anomalie, ci reflectă o evoluție confirmată de date empirice. Pentru a înțelege mai bine cum au evoluat temperaturile și incidența valurilor de căldură am analizat perioada cuprinsă între lunile mai și septembrie din perioada 1950-2023. Datele analizate și prezentate în Figura 1 indică o creștere semnificativă a numărului de zile cu temperaturi excesive, cu aproximativ 14,2 zile în perioada 1950-2023. Anul 2012 a fost cel mai afectat, cu 51 de zile de caniculă la nivel național. De asemenea, numărul total de valuri de căldură a crescut într-un mod similar, cu o medie de aproximativ două valuri suplimentare în perioada analizată.

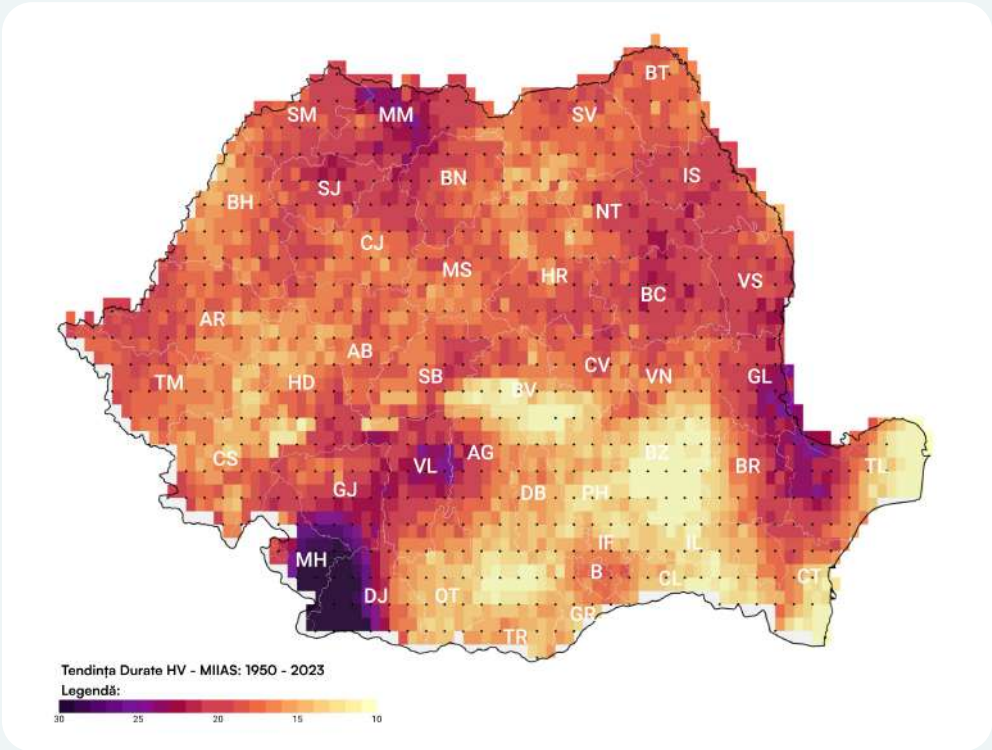


Figura 1. Evoluția, la nivel de țară, a duratei (a) și frecvenței (b) valurilor de căldură pentru perioada 1951-2023. Perioada analizată 1950-2023. Sursa datelor: EOBS 29.0e (Corney et al. 2018)





Perioada 1950-2023 - o analiză a evoluției în timp

Datele arată că în România se înregistrează o creștere semnificativă din punct de vedere statistic atât a duratei cât și a frecvenței valurilor de căldură (Figura 2). Majoritatea regiunilor au înregistrat o creștere a duratei valurilor de căldură între 10 și 15 zile, în ultimii 74 de ani, în timp ce în sud-vestul și estul țării (în apropierea Mării Negre) s-a înregistrat o creștere mai mare de 25-30 de zile în decursul anilor 1950-2023 (Figura 2a). În ceea ce privește frecvența valurilor de căldură (Figura 2b), se înregistrează o creștere semnificativă în toată țara, cele mai afectate județe fiind Mehedinți, Dolj, Brăila, Galați, Maramureș, Bacău și Neamț. De exemplu, în județele Mehedinți și Dolj se înregistrează o creștere de 4 valuri de căldură pe durata ultimilor 74 de ani.

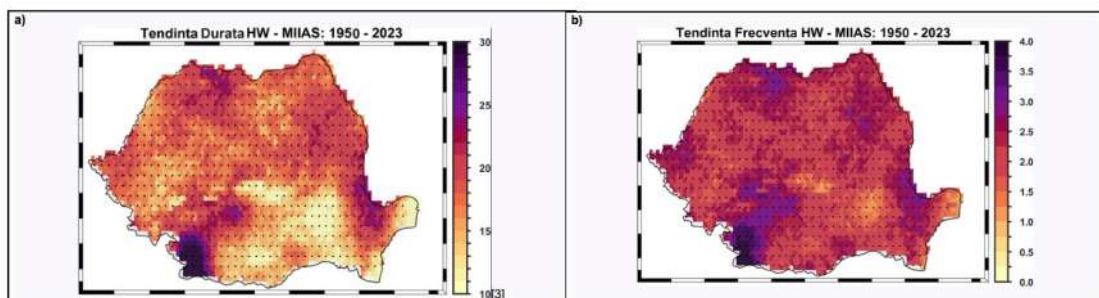


Figura 2. Tendința liniară a duratei (a) și frecvenței (b) valurilor de căldură / HW(heatwaves) pentru sezonul extins Mai — Septembrie. Punctele indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic. Perioada analizată 1950-2023. Sursa datelor: EOBS 29.0e (Cornes et al. 2018)

Pentru a avea o imagine mai clară a frecvenței și duratei valurilor de căldură, am analizat schimbările în parametrii valurilor de căldură pentru două perioade distincte (1961-1990 și 1991-2023) la 10 stații meteorologice de pe teritoriul României. Durata (Figura 3a) și frecvența valurilor de căldură (Figura 3b) prezintă creșteri notabile în ultima perioadă comparativ cu cea anterioară.

Cele mai pronunțate creșteri s-au constatat la stația meteorologică București Filaret (+461% durată, +400% frecvență), urmată de stația Arad (+396% durată, +329% frecvență) și Drobeta Turnu Severin (+388% durată, +373% frecvență). Toate stațiile au înregistrat creșteri semnificative din punct de vedere statistic atât în ceea ce privește durata cât și frecvența între cele două perioade ($p < 0,001$, testul Wilcoxon). O evoluție similară poate fi observată și pentru intensitatea cumulată a valurilor de căldură (Figura 3c), cu cea mai mare diferență între perioadele analizate observată la București Filaret (+492%) și Arad (+424%), în timp ce, cele mai mici diferențe au fost observate la Târgu Măgurele (+303%) și Vârful Omu (+157%). Aceeași analiză a fost efectuată la 31 stații meteorologice de pe teritoriul României și toate stațiile examinate prezintă o creștere de cel puțin 250% a duratei, frecvenței și intensității cumulate în perioada 1991-2023 comparativ cu perioada 1961-1990, stațiile din sud și est fiind cele mai afectate.

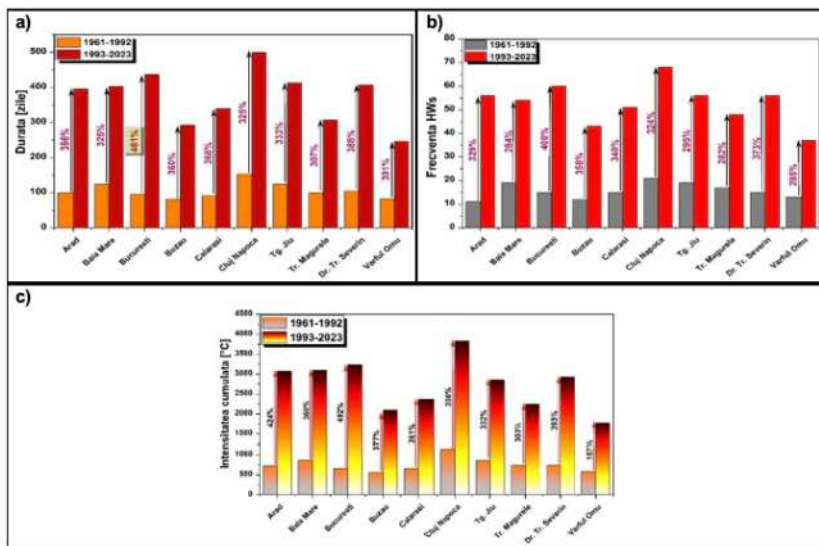


Figura 3. a) Distribuția duratei (adică suma tuturor zilelor afectate de un HW) pe două perioade, 1961-1990 (bare portocalii) și 1991-2023 (bare roșii); b) Distribuția numărului de HW (adică suma tuturor zilelor) pe două perioade, 1961-1990 (bare gri) și 1991-2023 (bare roșii) și c) Distribuția anomaliilor cumulate (adică suma anomaliilor temperaturii maxime zilnice pentru toate zilele afectate de un HW) pe două perioade, și anume 1961-1990 (bare gri spre portocaliu) și 1991-2023 (bare galben spre roșu). Săgețile negre și roșii din a), b) și c) indică rata de schimbare (ca %) între cele două perioade analizate.

Predicții ale temperaturii medii și a valurilor de căldură în secolul 21

Această analiză examinează predicțiile¹ privind schimbările climatice în România pentru două perioade viitoare: 2031-2050 și 2071-2100, comparativ cu perioada de referință 1971-2000. Aceste previziuni sunt realizate folosind mai multe modele climatice și sunt prezentate în contextul a două scenarii de emisii: unul cu emisii medii (RCP4.5²) și altul cu emisii ridicate (RCP8.5³). Scenariul cu emisii medii presupune o reducere substanțială a emisiilor până la sfârșitul secolului, în timp ce scenariul cu emisii ridicate presupune o continuă creștere a acestora.

Aceste două scenarii ne permit să analizăm diferențele de impact asupra climei în funcție de nivelul de emisii. În perioada 2031-2050, diferențele dintre cele două scenarii sunt relativ mici, permițând o comparație pe termen scurt. Însă, până la sfârșitul secolului (2071-2100), răspunsurile climatice ale celor două scenarii devin semnificativ diferite. Pe termen lung, vom avea nevoie de măsuri agresive de atenuare a emisiilor pentru a reduce impactul schimbărilor climatice.

1 Proiecțiile schimbărilor climatice viitoare sunt derivate din Modelele Sistemelor Pământului (ESM), cunoscute și ca modele climatice globale. Aceste modele simulează diferite scenarii care încorporează gaze cu efect de seră (GES), aerosoli și modificări ale utilizării terenurilor. Scenariile climatice din acest capitol se bazează pe proiecții climatice zilnice pentru secolul 21, provenite din inițiativa EURO-CORDEX și detaliate în IPCC, (2013) și au o rezoluție spațială de 0.11°.[1] Pentru acest studiu am analizat temperatura medie, minimă și maximă zilnică a aerului, precum și cantitățile de precipitații, pentru perioada istorică și pentru viitor (1971-2100). Aceste date sunt extrase din 10 simulări ale modelelor climatice regionale (RCM) extrase din diferite modele de circulație globală (GCM). Cei patru parametri climatici (temperatura maximă, medie și minimă a aerului și cantitatea de precipitații) din 10 modele climatice regionale, furnizate de EURO-CORDEX au fost ajustați/corecți folosind ca referință setul de date ROCADA (Dumitrescu și Birsan 2015). O descriere completă a acestui set de date se poate găsi în Dumitrescu et al., (2023).

2 Scenariul RCP4.5, elaborat de IPCC, descrie o traiectorie intermediară a schimbărilor climatice, în care politicile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră sunt implementate treptat. Acesta prevede o stabilizare a concentrației de dioxid de carbon la aproximativ 650 ppm până în anul 2100, ceea ce va duce la o forță radiativă de 4,5 W/m². În acest context, temperaturile globale ar putea crește cu 2,1-2,6°C față de nivelurile preindustriale, iar impacturile climatice, deși mai moderate comparativ cu scenariul precum RCP8.5, vor rămâne semnificative. Se așteaptă ca fenomenele extreme, precum valurile de căldură și precipitațiile abundente, să fie frecvente, însă mai puțin intense decât în scenariile cu emisii mai mari. RCP4.5 presupune o tranziție globală spre un model de dezvoltare sustenabilă, cu o reducere graduală a dependenței de combustibili fosili și o adaptare socio-economică în favoarea protecției climei.

3 Scenariul RCP8.5, cunoscut ca cel mai pesimist dintre scenariile IPCC, descrie o traiectorie în care emisiile de gaze cu efect de seră continuă să crească semnificativ de-a lungul secolului XXI, fără implementarea unor măsuri de atenuare. În acest scenariu, concentrația de dioxid de carbon în atmosferă depășește 1.370 ppm până în 2100, ceea ce va genera o forță radiativă de 8,5 W/m². Creșterea temperaturii globale este proiectată să fie de 4,3-5,4°C față de nivelurile preindustriale, ceea ce va duce la impacturi climatice severe și generalizate. Se așteaptă ca frecvența și intensitatea evenimentelor meteorologice extreme, cum ar fi valurile de căldură, secetele și furtunile intense, să crească dramatic. RCP8.5 presupune un viitor fără acțiuni semnificative de reducere a emisiilor, cu o dependență continuă de combustibili fosili, ceea ce face ca efectele schimbărilor climatice să fie mai grave, afectând ecosistemele, societățile umane și resursele naturale la nivel global.

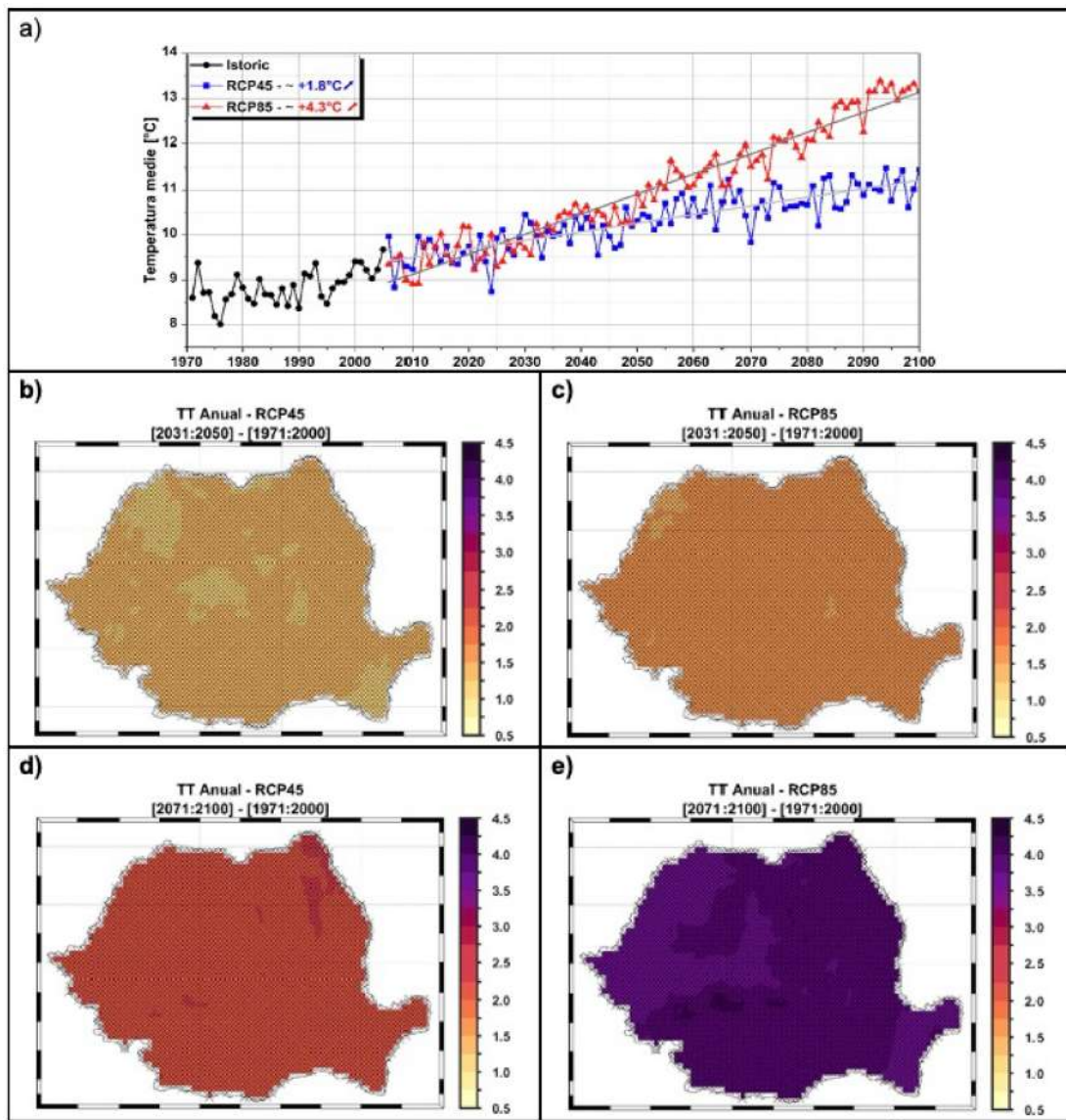


Figura 4. a) Evoluția temporală și b), c), d) și e) - schimbările temperaturii medii anuale. În b) și c) hărțile arată schimbările de temperatură pentru perioada 2031-2050, iar în d) și e) hărțile arată schimbările de temperatură pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). În b), c), d) și e) schimbările sunt raportate la perioada 1971- 2000. Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație).

Figura 4 prezintă fluctuațiile anuale ale anomaliilor temperaturii medii anuale în România între 1971 și 2100. Aceste anomalii reflectă abaterile temperaturilor anuale față de media pe termen lung (1971-2100), calculate la nivel național. Pe termen scurt (2031-2050), diferențele dintre cele două scenarii (cel cu emisii medii - RCP4.5) și cel cu emisii ridicate - RCP8.5) sunt relativ mici, cu variații de temperatură cuprinse între +0.5°C și +1°C. Totuși, până la sfârșitul secolului (2071-2100), aceste diferențe devin semnificative. În scenariul cu emisii ridicate, creșterea temperaturii în România este, în medie, cu aproximativ +3°C mai mare decât în scenariul cu emisii scăzute, cu un impact deosebit în regiunile estice și sudice ale țării.

Este evident că România a experimentat deja o tendință semnificativă de încălzire, iar previziunile sugerează că această tendință va continua. Temperaturile medii anuale și cele lunare (Figura 5) sunt așteptate să crească în toată țara, cu creșteri semnificativ mai mari în estul și sudul României (Figura 4b).

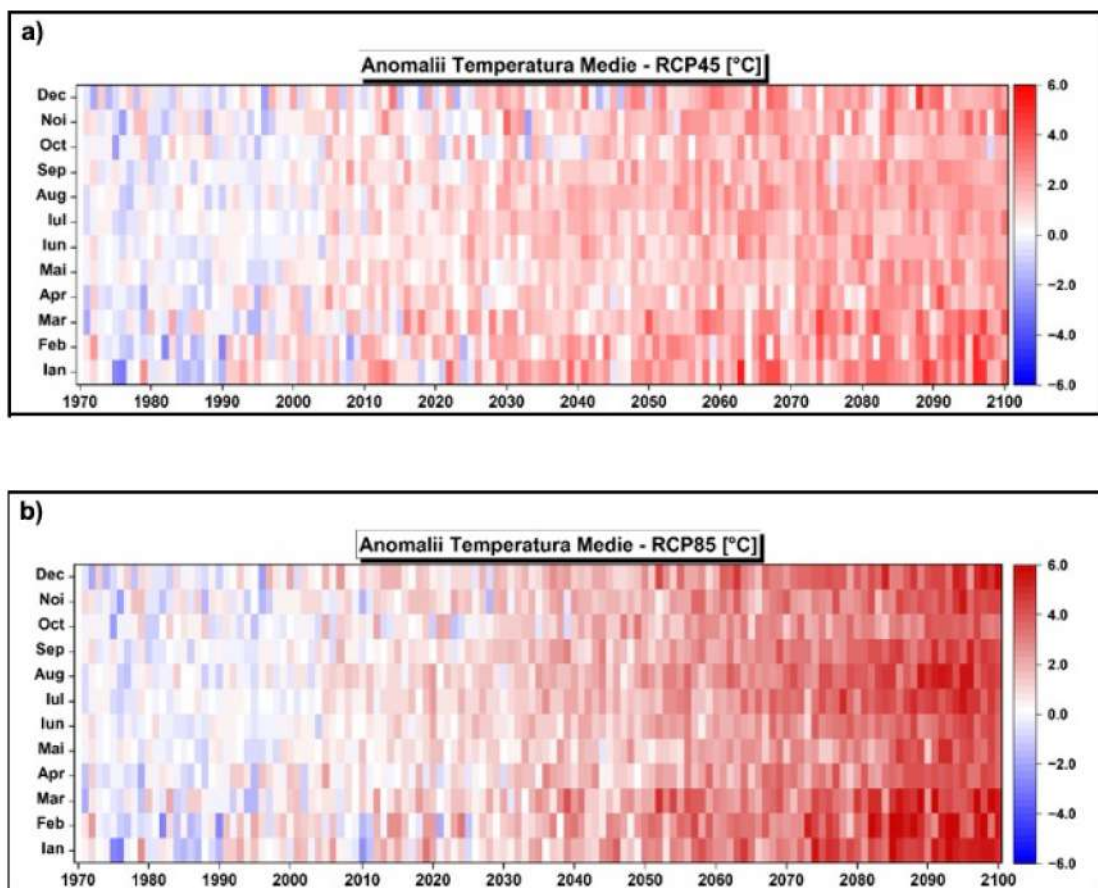


Figura 5. a) Evoluția temporală a temperaturii medii lunare, mediată la nivelul României, pentru scenariul cu emisii medii (RCP45) și b) pentru scenariul cu emisii ridicate (RCP85). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).
Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Atât durata cât și frecvența valurilor de căldură, la nivelul României, a crescut semnificativ în ultimii 70 de ani, cu schimbări semnificative mai ales în ultimii 20 de ani (Nagavciuc et al. 2022b). Experții estimează că această tendință de creștere a numărului și duratei valurilor de căldură va continua până la sfârșitul secolului 21. Scenariile moderate privind schimbările climatice arată o creștere semnificativă a duratei (Figura 6) și numărului de valuri de căldură în diferite regiuni (Figura 7).

În cazul scenariului cu emisii medii (RCP4.5), în zonele vestice și nordice, s-ar putea înregistra până la 2-3 valuri de căldură suplimentare până în 2050 (Figura 6a) și o durată suplimentară de până la 20 de zile (Figura 7a), în timp ce în sud și sud-est s-ar putea înregistra până la 6 valuri de căldură suplimentare cu o durată de până la 40 de zile. Până în 2100, aceste cifre ar putea crește la 6 și, respectiv, 8 valuri de căldură suplimentare, comparativ cu nivelurile anterioare anului 2000 și la o durată de până la 60-80 de zile în sudul României (Figura 7b).

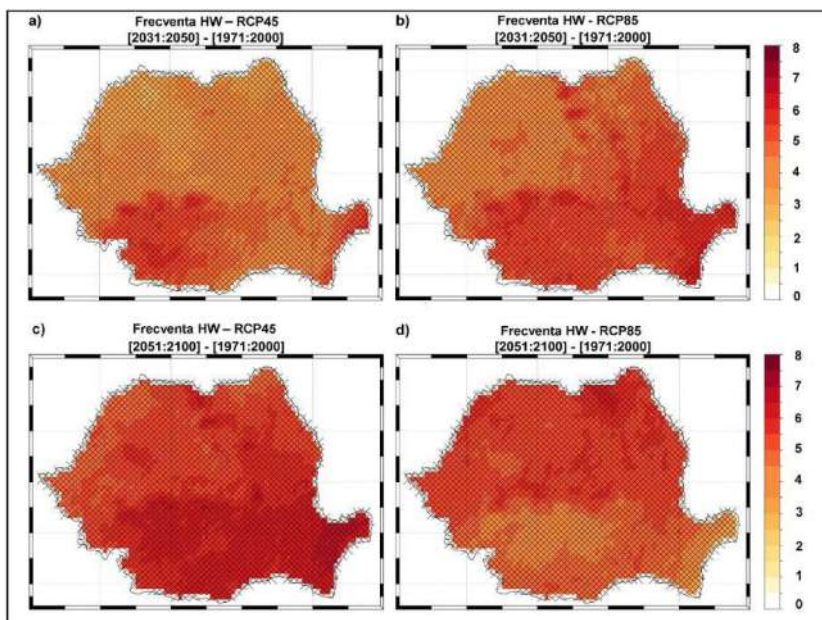


Figura 6. Hărțile corespunzătoare schimbărilor în frecvența valurilor de căldura. Modificările sunt raportate la perioada 1971 – 2000. Hărțile din partea superioară arată schimbările în frecvența valurilor de căldura pentru perioada 2031-2050, iar hărțile din partea inferioară, pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările care rezultă din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație). Sursă date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

În cazul scenariului pesimist, aceste schimbări sunt amplificate atât regional, cât și la nivelul țării. De exemplu, durata valurilor de căldură este preconizată să crească până la 150 - 160 zile/an în zona de sud și sud-est a României și până la 100 zile/an în zona centrală și de nord (Figura 7c). Acest lucru se traduce printr-o creștere dramatică a numărului de zile consecutive cu temperaturi record, ceea ce va avea consecințe profunde atât pentru ecosistemele naturale, cât și pentru așezările umane.

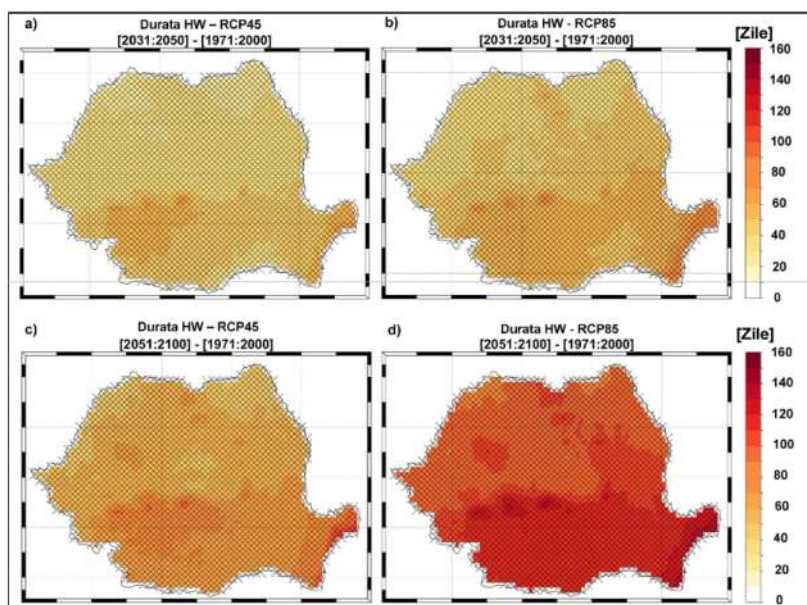


Figura 7. Similar cu Figura 6, dar pentru schimbările în durata valurilor de căldură.

Concluzii

România a fost martora unei creșteri notabile a temperaturilor medii în ultimele decenii, în conformitate cu tendința de încălzire globală. Din 1958 până în 2023, **temperatura medie anuală a României** a crescut cu aproximativ **+2.11°C**, o creștere cu **+0.30°C** mai mare decât temperatura medie globală (+1.81°C) și cu **+0.12°C** mai mare decât temperatura medie în Europa (1.99°C). Regiunile din nordul țării au fost cele mai afectate de creșterea temperaturii medii anuale. Această tendință de încălzire a condus la valuri de căldură mai frecvente și mai prelungite, în special în timpul lunilor de vară. Valurile de căldură au consecințe grave asupra sănătății umane, crescând riscul de insolamție, deshidratare și probleme cardiovasculare, în special în rândul vârstnicilor și copiilor. De asemenea, acestea afectează agricultura, punând în pericol siguranța alimentară, agravează seceta, epuizează resursele de apă și cresc riscul incendiilor de vegetație. Aceste provocări subliniază necesitatea unor măsuri urgente și strategii eficiente de atenuare pentru a proteja atât populația, cât și mediul înconjurător.

Previziunile climatice pentru România indică o continuare a tendinței de încălzire și o creștere a frecvenței și intensității evenimentelor extreme, în special a valurilor de căldură și a secetei. Acest lucru ridică provocări semnificative pentru eforturile de adaptare și atenuare, necesitând măsuri anticipative pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, creșterea rezilienței la evenimentele extreme și protejarea ecosistemelor și populațiilor vulnerabile. România este în prima linie în ceea ce privește impactul schimbărilor climatice, cu temperaturi în creștere, valuri de căldură mai frecvente și mai intense și secete tot mai dese și de lungă durată. Aceste schimbări au consecințe profunde pentru mediu, agricultură și bunăstarea oamenilor. Înțelegerea dovezilor științifice de bază și a potențialelor efecte viitoare este esențială pentru elaborarea unor strategii eficiente de atenuare și adaptare la schimbările climatice din țara noastră.

Având în vedere progresele slabe înregistrate în ceea ce privește atenuarea schimbărilor climatice, este puțin probabil să reușim să limităm încălzirea la +1.5°C, așa cum a fost stipulat în Acordul de la Paris. Suntem pe cale să depășim acest prag înainte de sfârșitul acestui secol, iar acest lucru înseamnă că trebuie să ne pregătim pentru un cumul de consecințe: veri mult mai călduroase, creșterea frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme și o regândire drastică a modului în care gestionăm resursele. Apa, de exemplu, va deveni o resursă incredibil de prețioasă, mai valoroasă decât aurul. Va trebui să revoluționăm practicile agricole pentru a face față penuriei de apă, deoarece sistemele tradiționale de irigare nu vor mai fi eficiente. În plus, va trebui să punem în aplicare măsuri robuste de sănătate publică pentru a face față valurilor de căldură.

Secete, aridizare și precipitații în România: Evoluții până în 2023 și perspective de viitor.

Dr. Monica Ioniță



Sumar

Datele meteorologice arată o creștere a suprafețelor afectate de secetă moderată, severă și extremă în România, cu puncte maxime înregistrate în perioadele 2018-2020 și 2021-2023. Seceta din 2018-2021 este cea mai lungă înregistrată, iar fenomenul continuă. De asemenea, se observă o extindere a aridizării în mare parte a țării, cu efecte semnificative asupra agriculturii și securității alimentare.

Precipitațiile, deși variabile în funcție de regiune și anotimp, nu prezintă o tendință clară la nivel național. Scenariile climatice pentru secolul 21 sugerează o creștere a precipitațiilor în jumătatea nordică a țării, în timp ce în sud va predomină deficitul de precipitații.

Concluziile subliniază necesitatea unor măsuri de adaptare și atenuare a impactului schimbărilor climatice, având în vedere riscul crescut al secetelor și valurilor de căldură. Secetele viitoare, agravate de încălzirea globală, vor influența profund ecosistemele și agricultura României.

În ultimul deceniu, Europa a trecut prin mai multe veri extrem de secetoase, cum ar fi cele din 2015, 2018 și 2019, documentate pe larg în cercetările anterioare (Bakke et al. 2020; Hari et al. 2020; Ioniță et al. 2017; Laaha et al. 2017). Pentru a înțelege mai bine impactul secetelor recente în România și a le pune într-o perspectivă istorică, am analizat suprafața țării afectată de trei tipuri de secetă: moderată, severă și extremă.

Rezultatele arată o creștere semnificativă a suprafeței afectate de toate aceste tipuri de secetă, cu vârfuri înregistrate în perioadele 2018-2020 și 2021-2023. Astfel cea mai lungă secetă din istoria recentă a avut loc între octombrie 2018 și martie 2021, a durat 30 de luni și a atins apogeul în mai 2020. Un alt eveniment sever a avut loc între martie 2022 și decembrie 2023, cu o durată de 22 de luni și un maxim în august 2022. **La momentul redactării acestui capitol (august 2024), seceta continuă în România, și există posibilitatea ca aceasta să devină cea mai lungă și intensă din ultimii 124 de ani.**

În timp ce seceta reprezintă o abatere temporară de la tiparele normale de precipitații, ariditatea descrie o stare climatică pe termen lung, caracterizată prin precipitații medii scăzute și evapotranspirație ridicată. Ariditatea influențează în mod constant ecosistemele și utilizarea terenurilor într-o regiune. Datele meteorologice arată o extindere a fenomenului de ariditate în România. Dacă în deceniile 1971-1980, 1981-1990 și 1991-2000, ariditatea era prevalentă în sud, est și parțial în vest, în deceniul 2011-2022, acest fenomen s-a extins în majoritatea zonelor de câmpie și deal, cu excepția zonelor muntoase.

Suprafața afectată de ariditate a crescut semnificativ, de la 10,9% în perioada 1971-1980, la 40,8% în perioada 2011-2020, și la 41,5% în ultimii trei ani. Aridizarea are efecte multiple și de amploare, afectând grav productivitatea agricolă, prin diminuarea resurselor de apă necesare culturilor. Aceasta poate duce la pierderi de recolte și animale, amenințând siguranța alimentară și mijloacele de subsistență ale populației. Acest capitol studiază evoluția secetei și aridității în România, evaluează posibilul impact al schimbărilor climatice și prezintă o serie de scenarii pentru deceniile următoare.





Ce este seceta și cum o măsurăm?

Seceta este un fenomen natural caracterizat printr-o disponibilitate de apă sub medie pe o perioadă extinsă.

Există cinci tipuri principale de secetă: **seceta meteorologică** (deficit de precipitații), **seceta agricolă** (insuficiența apei în sol în timpul sezonului de vegetație), **seceta hidrologică** (deficite în debitele râurilor și în alimentarea apelor subterane), **seceta ecologică** (deficit de apă care afectează ecosistemele și serviciile ecosistemice), și **seceta socio-economică** (impactul secetei asupra cererii și ofertei de bunuri economice).

Pentru a putea defini și măsura seceta avem la îndemână o varietate de indici, conform Atlasului Indicilor de Secetă (WMO și GWP 2016), care include 41 de indici utilizați de agențiile de monitorizare globală. Fiecare indice are propriile avantaje și limitări, variind în complexitate și factorii analizați. Totuși, pentru analiza de față, vom folosi indicele standardizat de precipitații-evapotranspirație, SPEI, (Vicente-Serrano et al. 2010) care oferă o evaluare mai completă a secetei, luând în considerare echilibrul dintre precipitații și evapotranspirația potențială, PET.

Conform SPEI, temperaturile ridicate cresc evapotranspirația și agravează condițiile de secetă, chiar și în zonele unde precipitațiile sunt normale. Acest lucru face ca SPEI să fie deosebit de util pentru evaluarea secetei agricole, deoarece temperaturile ridicate accelerează consumul de apă al culturilor, crescând vulnerabilitatea acestora la secetă. Importanța temperaturii în evaluarea secetei a devenit și mai evidentă în ultimele decenii, datorită impactului schimbărilor climatice.



Ce se întâmplă cu secetele în România?

Datele pentru România indică că cea mai mare parte a țării prezintă o tendință semnificativă de uscare în ultimii 76 de ani (Figura 1). Dacă ne uităm la datele ce caracterizează condițiile de secetă acumulate pe o perioadă de 12 luni putem observa că cele mai afectate zone, în care tendința de uscare este semnificativă din punct de vedere statistic, sunt cele din afara Arcului Carpat, și anume partea de sud și de est a țării.

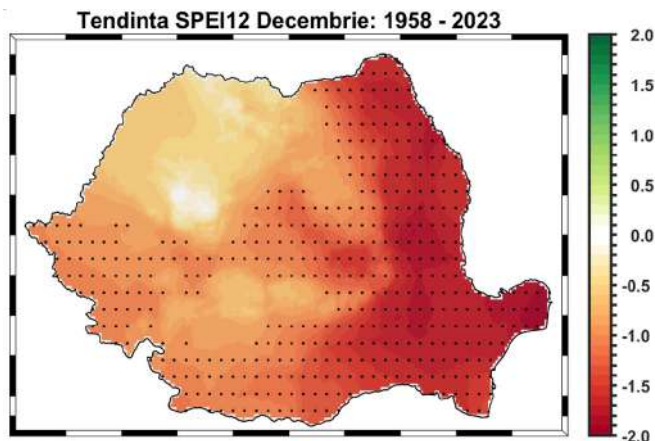


Figura 1. O tendință generală de uscare pe întreg teritoriul României în decursul ultimilor 66 de ani. Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (nivel de încredere de 99 %). Perioada analizată: 1958 - 2023. Unități: scoruri z/66 ani. Sursa date: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018) partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). În b), c), d) și e) schimbările sunt raportate la perioada 1971- 2000. Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Astfel, conform datelor meteorologice, în România se observă o creștere semnificativă a suprafeței afectate de toate tipurile de secetă. Cele mai extinse suprafețe afectate de secetă au fost înregistrate în ultimele două decenii, cu vârfuri notabile în perioadele 2018-2020 și 2021-2023 (Figura 2).

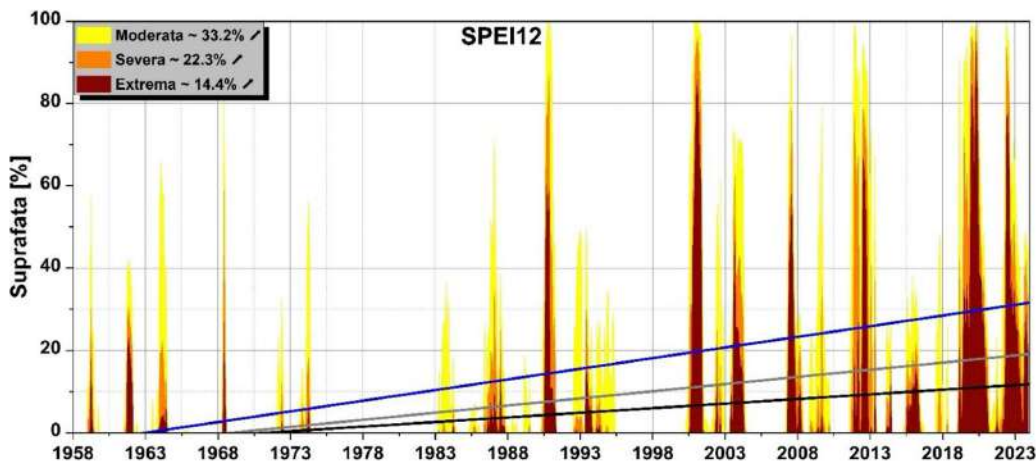


Figura 2. Evoluția temporală a procentului de suprafață afectată de secetă la nivelul României pentru a) SPEI12, pentru trei categorii de severitate a secetei: moderată (galben), severă (portocaliu) și extremă (roșu închis).

Am analizat evoluția perioadelor de secetă în România între 1901 și 2023 pe baza datelor de la 19 stații meteorologice care au observații de temperatură și precipitații pe termen lung. În Figura 3 sunt reprezentate doar perioadele de secetă. Precum în cazurile precedente am evaluat trei tipuri de secetă: moderată, severă și extremă, și ne-am concentrat pe fenomenul de secetă pe termen lung.

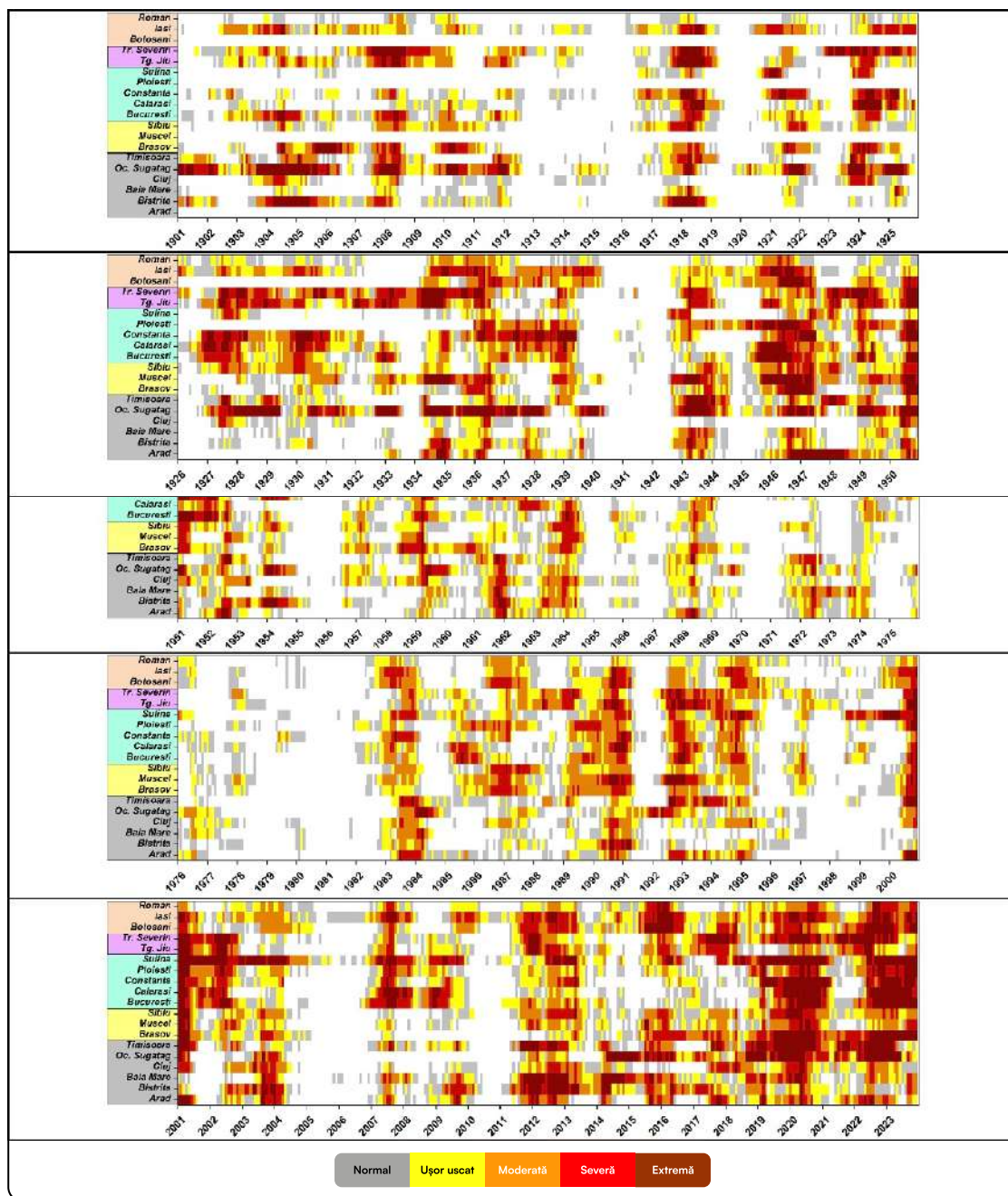


Figura 3. Evoluția temporală a fenomenului de secetă, pe trei categorii (moderată, severă și extremă), pe baza indicelui SPEI12 la 19 stații cu observații pe termen lung de pe teritoriul României. Numele stațiilor analizate este indicat în fiecare panel. Fiecare panel arată evoluția fenomenului de secetă pe o perioadă de câte 25 de ani. a) Perioada 1901 – 1925; b) Perioada 1926 – 1950; c) Perioada 1951 – 1975; d) Perioada 1976 – 2000 și e) Perioada 2001 – 2023.

Multe din secetele identificate de-a lungul ultimilor 120 de ani au afectat întreaga țară. De asemenea este evidentă tendința de concentrare în timp a secetelor grave. Creșterea frecvenței secetelor grave în ultimele decenii este evidentă la fiecare stație (Figura 3).

La nivel național, cea mai lungă secetă a fost înregistrată între octombrie 2018 și martie 2021, atingând apogeul în mai 2020. Al doilea cel mai grav eveniment a avut loc între martie 2022 și decembrie 2023, cu o durată de 22 de luni, maximul fiind atins în august 2022. Este important de menționat că, la momentul redactării acestui capitol (august 2024), seceta în România continuă, ceea ce ar putea transforma acest eveniment în cel mai lung și intens din ultimii 124 de ani. Al treilea cel mai grav eveniment, ca durată (22 luni), a avut loc între octombrie 1945 și iulie 1947. Toate aceste evenimente au fost însoțite de valuri de căldură foarte lungi și intense, mai ales în perioadele de vârf ale secetei (Ionita et al. 2024).

Seceta la nivel European

În perioada 2018-2020, Europa s-a confruntat cu o serie de condiții meteorologice calde și uscate, cu consecințe socio-economice și de mediu semnificative. În 2018, seceta a afectat Europa Centrală și de Nord, cu un bilanț hidric excepțional de negativ în primăvară/vară. În Europa Centrală, peste 34% din masa terestră este utilizată pentru agricultură, iar 52% din întreaga regiune a suferit de secetă severă până la extremă, în timp ce 20% a fost afectată de secetă extremă. Început în 2018 în centrul Europei, acest eveniment s-a deplasat către estul Europei, ajungând în primăvara/vara anului 2020 la categoria de secetă extremă la nivelul țării noastre (Figura 4b). Pe scări temporale mai lungi (cum ar fi SPEI12), evoluția acestui eveniment a început spre sfârșitul anului 2018 și a fost determinată în principal de temperaturile record și de creșterea evaporării în regiunea europeană pe parcursul verii 2018 (Bakke et al. 2020, 2023; Blauhut et al. 2022). În octombrie 2018, teritoriul României a fost afectat în proporție de 100% de secetă moderată (pe baza SPEI12), 96% de secetă severă și în proporție de 67% de secetă extremă (Figura 2). Acest eveniment a durat 30 de luni, perioadă în care s-au înregistrat pagube semnificative pentru agricultură și economie, atât la nivelul României, cât și la nivelul Europei (Bakke et al. 2020). În mai 2020, la momentul maxim la intensității calculate pe baza datelor la nivelul României, acest eveniment afecta atât Europa centrală, cât și cea de est, având intensitatea maximă în nord-vestul României și vestul Ucrainei (Figura 4b).

Începând cu primăvara anului 2022, regiuni întinse din Europa s-au confruntat cu secete severe care au afectat negativ atât viața oamenilor, cât și mediul (Faranda et al. 2023). Temperaturile de vară din 2022 și 2023 au atins niveluri fără precedent pe întregul continent, conform Copernicus Climate Change Service, 2023. Începuturile secetei au fost evidente încă din iarna 2021-2022, care a fost anormal de caldă și uscată în sudul și estul Europei (Bakke et al. 2023). Temperaturile calde de primăvară din cea mai mare parte a Europei (Faranda et al. 2023) au înrăutățit condițiile de secetă. Cele mai afectate zone au fost Franța, Italia, Germania, Polonia, Cehia și țările balcanice. Temperaturile ridicate au accelerat evaporarea din sol și din corpurile de apă, dăunând ecosistemelor și crescând nevoia de irigații. Această vreme caldă și uscată timpurie a pus presiune pe resursele de apă deja scăzute, ridicând îngrijorări pentru lunile următoare.

În timpul verii, un sistem persistent de presiune ridicată deasupra Europei a creat un dom de căldură, capturând aerul cald și blocând sistemele care transportă umiditatea (Bakke et al. 2023). Temperaturile au atins valori record, uscând solul, dăunând culturilor și alimentând incendiile de vegetație. În România, maximul secetei a fost atins în iulie 2022 (Figura 4c), când 96% din suprafața țării era acoperită de secetă moderată, 87% era acoperită de secetă severă și 73% era acoperită de secetă extremă. Acest eveniment a început în martie 2022, și continuă și în prezent (la momentul scrierii capitolului - Aug. 2024). Atât în cazul secetei din 2018/2020, cât și în cazul secetei din 2022/2023, mai mult de 50% din continentul European s-a confruntat cu condiții de secetă cel puțin moderate.

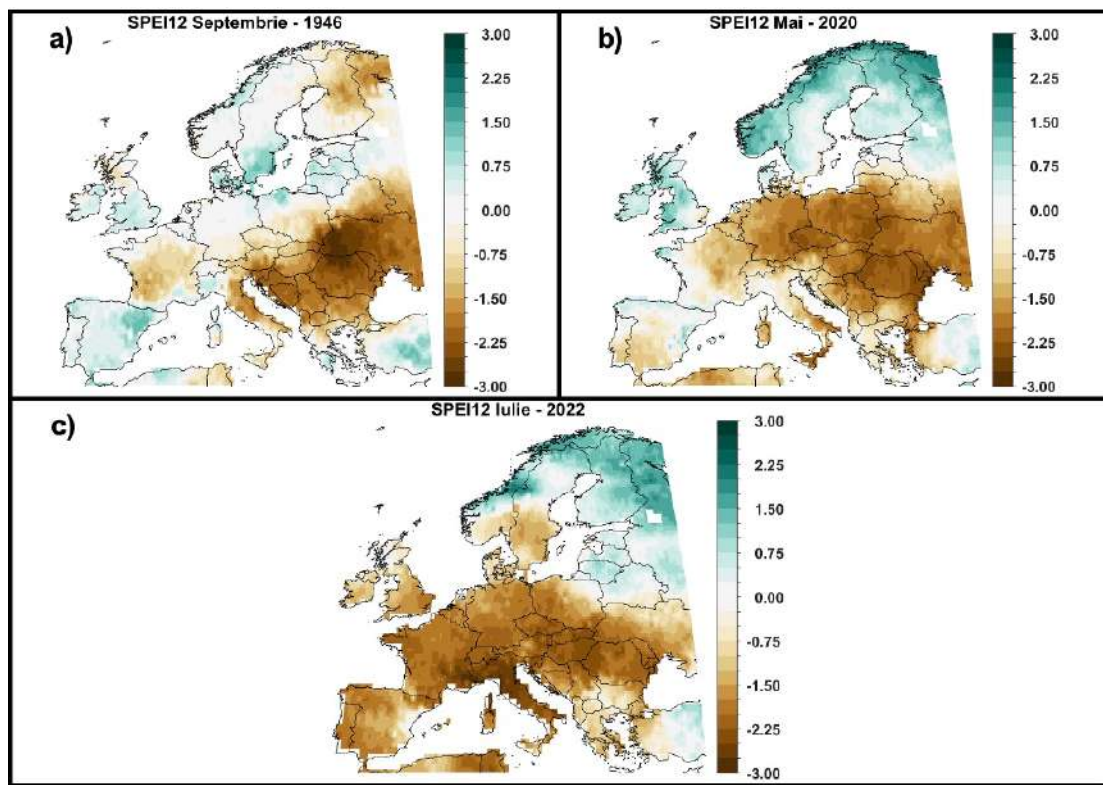


Figura 4. Comparație spațială a principalelor secete la nivelul României. Prezentate sunt doar lunile când s-a atins maximum, în termeni de intensitate, pentru primele 3 evenimente analizate pentru perioada 1901 — 2023. a) SPEI12 - Septembrie 1946; b) SPEI12 - Mai 2020 și c) SPEI12 - Iulie 2022. Valorile de culoare albastră indică regiunile afectate de un excident de umezeală/precipitații, în timp ce valori de culoare maro indică regiunile afectate de secetă.

În ultimul mileniu, pe bază de date proxy (de exemplu, compoziția izotopului stabil de oxigen în celuloza inelelor anuale din pădurile din Munții Călimani) s-a arătat că tendința de uscare din estul Europei din secolele 20 și 21 este fără precedent în ultimii 700 de ani (Nagavciuc et al. 2022a) și că această tendință a fost indusă de o schimbare semnificativă în circulația atmosferică și de creșterea temperaturii.

Scenarii de viitor - seceta în România

Datele climatice istorice recente relevă o tendință îngrijorătoare: secetele devin mai frecvente, mai severe și mai prelungite în multe părți ale lumii din cauza creșterii temperaturilor, inclusiv în România (Nagavciuc et al. 2022b; Balting et al. 2021; Ionita and Nagavciuc 2021). Această schimbare a tiparelor hidroclimatice provoacă schimbări semnificative, cu consecințe profunde atât pentru ecosistemele naturale, cât și pentru societățile umane (IPCC 2021a).

Modificările preconizate ale caracteristicilor secetei, până la sfârșitul secolului 21, sunt strâns legate de modificările temperaturii și a evapotranspirației (Nagavciuc et al. 2024). Pentru a înțelege mai bine aceste evoluții, ca și în cazul temperaturii medii și a valurilor de căldura, ne vom axa pe schimbările induse de scenariul cu emisii medii (RCP4.5) și scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5).

Schimbările viitoare ale condițiilor de secetă din România, pe baza indicelui SPEI (care ia în considerare atât efectul precipitațiilor, cât și al temperaturii) variază în funcție de scenariul utilizat și de intervalul de timp. Pentru viitorul apropiat (2031 - 2025), ambele scenarii indică o uscare semnificativă peste regiuni mici, în principal în partea de sud a țării (Figura 5a și 5b).

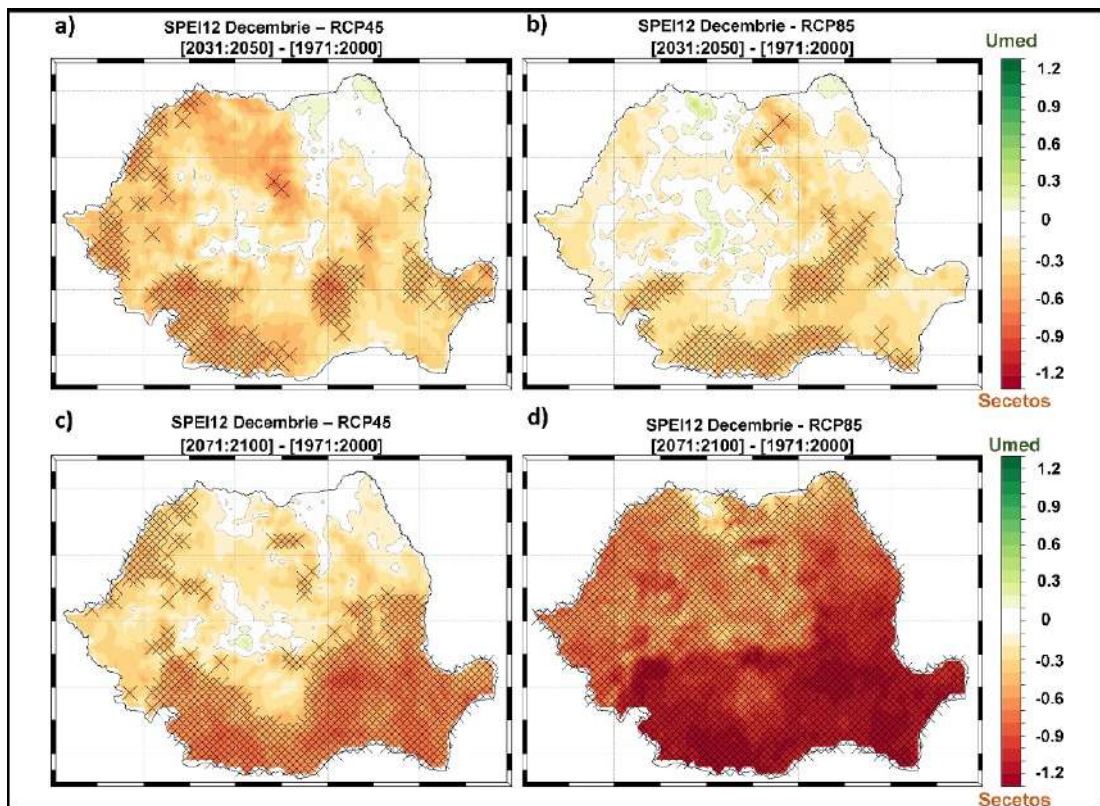


Figura 5. Anomaliile medii ale indicelui de secetă SPEI12 Decembrie. În a) și b) hărțile arată schimbările SPEI12 Decembrie pentru perioada 2031-2050, iar în c) și d) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2051-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). În a), b), c) și d) schimbările sunt raportate la perioada 1971 – 2000. Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Spre sfârșitul secolului 21, schimbările observate pe baza scenariului moderat indică o uscare semnificativă în jumătatea sudică a țării și o uscare slabă, dar nesemnificativă, în jumătatea nordică. Schimbările obținute pentru scenariul cu emisii ridicate indică o tendință generală de uscare semnificativă în întreaga țară, cu cea mai mare magnitudine în jumătatea de sud a țării.

În general, regiunile cele mai afectate de secetă, mai ales în a doua jumătate a secolului 21, sunt aceleași care în viitor vor înregistra temperaturi mult mai ridicate și mai multe valuri de căldură. Temperaturile mai ridicate din viitor vor duce probabil la creșterea frecvenței și a magnitudinii secetelor agricole pe întreg teritoriul României, deoarece creșterile evapotranspirației rezultate vor depăși creșterile prognozate ale precipitațiilor.

Având în vedere că temperatura joacă un rol din ce în ce mai important în secetele moderne și viitoare (Cook et al. 2022; Ionita et al. 2021b; Balting et al. 2021), secetele din trecut sunt probabil analogii imperfecte a evenimentelor viitoare. În timp ce secetele istorice au fost cauzate de deficitul de precipitații, temperaturile mai ridicate contribuie din ce în ce mai mult la secarea solului, la debitul cursurilor de apă și la riscul și exacerbarea fenomenului de secetă.

Precipitații

Evoluția precipitațiilor în perioada 1961-2020

Maximul anual al precipitațiilor în România se înregistrează în lunile mai-iunie, cu un ușor decalaj în zona montană, unde vârful este atins în lunile iunie-iulie. În contrast, minimul anual de precipitații apare în lunile de iarnă, în special în ianuarie și februarie (Figura 6). Spre deosebire de temperatură, cantitatea de precipitații nu a prezentat variații semnificative în ultimii 66 de ani, atât din punct de vedere climatologic, cât și la nivel interanual (Figura 7). Analiza cantității de precipitații arată că, deși există o variabilitate între perioadele analizate, aceasta se manifestă atât în media multianuală, cât și în fiecare lună în parte (Figura 6).

Analiza datelor lunare indică o ușoară scădere a cantității de precipitații în perioada 1991-2020 comparativ cu 1961-1990 pentru unele luni, cum ar fi ianuarie, februarie, aprilie, mai, iunie, august, noiembrie și decembrie. Pe de altă parte, în lunile martie, iulie, septembrie și octombrie s-a înregistrat o creștere semnificativă a precipitațiilor, cele mai mari creșteri fiind observate în septembrie (de la 43,5 mm în perioada 1961-1990, la 53,4 mm în perioada 1991-2020) și în octombrie (de la 35,3 mm în perioada 1961-1990, la 48,8 mm în perioada 1991-2020) (Figura 6).

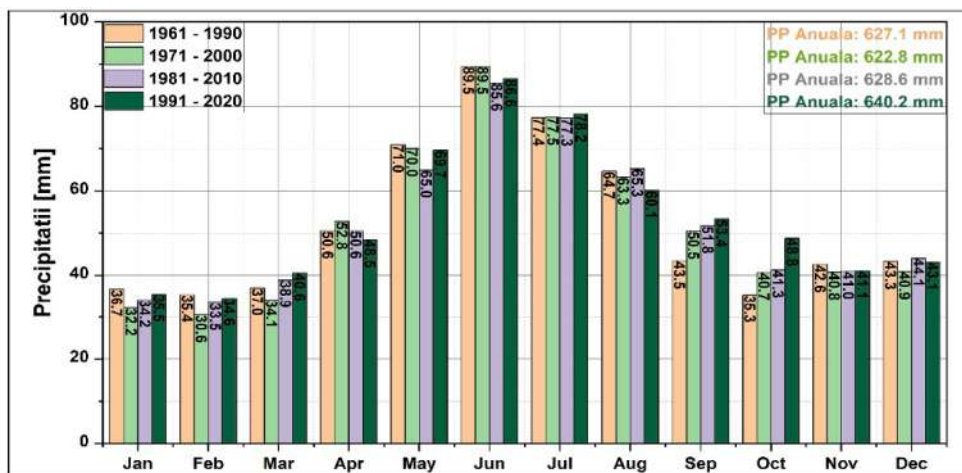


Figura 6. Ciclul anual al cantităților de precipitații pentru patru perioade climatologice: 1961 — 1990 (portocaliu); 1971 — 2000 (verde deschis), 1981 — 2010 (gri) și 1991 — 2020 (verde închis). De asemenea, este indicată și cantitatea anuală de precipitații pentru fiecare perioadă climatologică în partea dreapta de sus. Sursa datelor: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018)

La nivel regional, partea de est și nord-est a țării a înregistrat un deficit de precipitații în ultimii 66 de ani, în timp ce sud-vestul, vestul și centrul țării au înregistrat un excedent. Totuși, aceste tendințe nu sunt semnificative din punct de vedere statistic.

Precipitațiile sezoniere nu arată tendințe clare sau constante. Astfel, dacă ne uităm la cele patru anotimpuri, putem vedea că:

Iarna: Cel mai umed sezon de iarnă a fost înregistrat în anul 1970, cu 200,5 mm de precipitații, urmat de iarna din 2010, care a înregistrat 187,1 mm (Figura 7b). În schimb, cea mai uscată iarnă a avut loc în 2002, cu doar 60 mm de precipitații, urmată de iarna din 1974, cu 62,4 mm (Figura 7c). În ultimii 66 de ani, tendința generală pentru iarnă arată o creștere a cantităților de precipitații, în special în sudul și nord-vestul țării, în timp ce în estul României se observă o ușoară scădere (Figura 7d).

Primăvara: În ceea ce privește primăvara, nu există schimbări semnificative ale cantităților de precipitații în ultimii 66 de ani (Figura 7e). La nivel regional, se observă o tendință ușor negativă, dar nesemnificativă, în estul și sudul țării, și o tendință pozitivă, dar nesemnificativă, în interiorul arcului carpatic (Figura 7f).

Vara: Vara este singurul sezon care arată o tendință negativă clară în cantitățile de precipitații, atât la nivel național, cât și regional (Figura 7g și 7h). Cea mai ploioasă vară de la 1958 încoace a fost în 1969, cu 348,8 mm de precipitații, în timp ce cea mai secetoasă vară a fost în anul 2000, cu doar 129,1 mm (Figura 7g). Zonele cele mai afectate de deficitul de precipitații se află în nordul și nord-estul țării (Figura 7h).

Toamna: Spre deosebire de vară, toamna prezintă o tendință pozitivă a cantităților de precipitații, atât la nivel național (Figura 7i), cât și regional. Cele mai mari excedente de precipitații, de aproximativ 50 mm în decurs de 66 de ani, sunt înregistrate în interiorul arcului carpatic (Figura 7j).

Este important de menționat că, deși există aceste tendințe sezoniere, ele nu sunt semnificative din punct de vedere statistic. Cu toate că nu se observă creșteri notabile în cantitățile sezoniere de precipitații, diferențele regionale sunt influențate în mare măsură de configurația Munților Carpați.

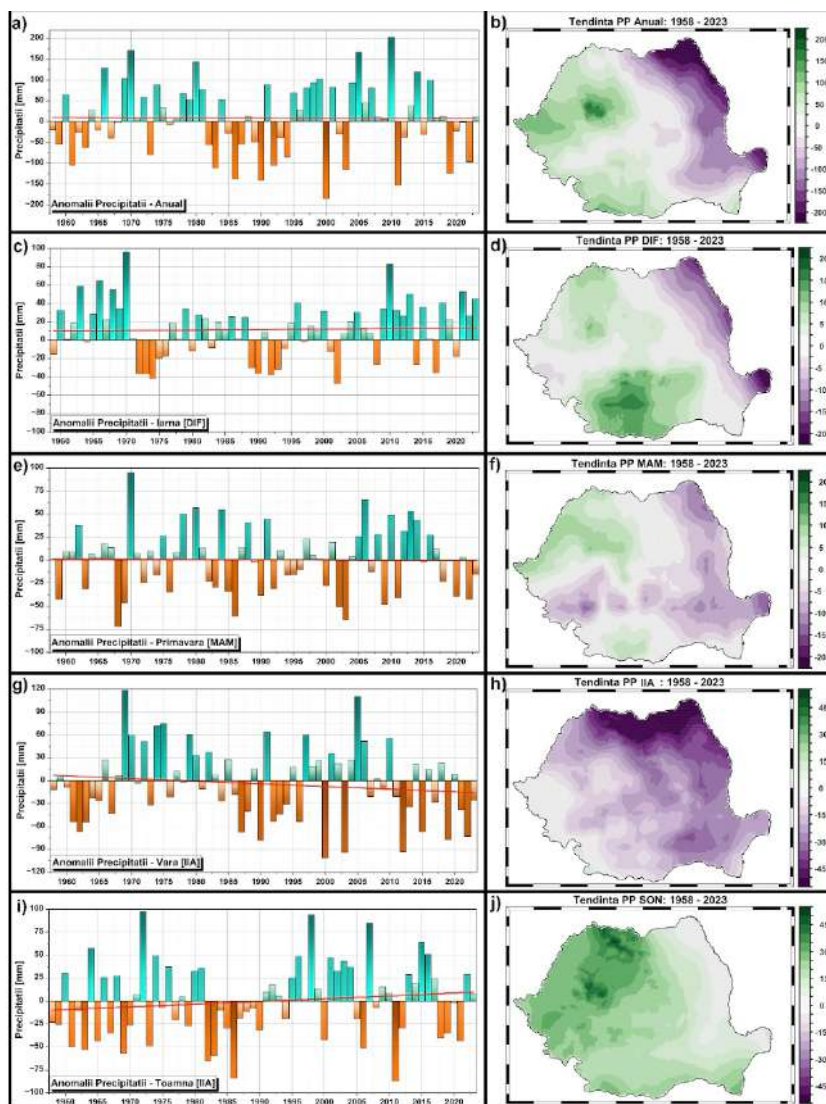


Figura 7. a) Evoluția temporală a cantităților de precipitații medii anuale, mediate la nivelul României și tendința liniară corespunzătoare (linia roșie); b) Tendința liniară a cantităților de precipitații la nivel de țară; c) ca în a) dar pentru sezonul de iarnă (DIF); d) ca în b) dar pentru sezonul de iarnă (DIF); e) ca în a) dar pentru sezonul de primăvară (MAM); f) ca în b) dar pentru sezonul de primăvară (MAM); g) ca în a) dar pentru sezonul de vară (JJA); h) ca în b) dar pentru sezonul de vară (JJA); i) ca în a) dar pentru sezonul de toamnă (SON); j) ca în b) dar pentru sezonul de toamnă (SON). În b), d), f) și h) zonele hașurate indică o tendință semnificativă din punct de vedere statistic, la nivelul de semnificație de 99%. Sursa datelor: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018).

Precipitațiile în România până la finalul secolului 21

Semnalul recent al încălzirii globale joacă un rol crucial în modul în care definim și înțelegem seceta. În mod tradițional, seceta a fost asociată în principal cu un deficit de precipitații. Cu toate acestea, creșterea temperaturilor determinată de schimbările climatice amplifică condițiile de secetă prin creșterea ratelor de evaporare și reducerea umidității solului, chiar și atunci când precipitațiile rămân relativ stabile. Aceasta înseamnă că anumite zone se pot confrunta cu condiții similare secetei chiar și fără o scădere semnificativă a precipitațiilor. În consecință, încorporarea temperaturii în definițiile secetei este vitală pentru evaluarea precisă a gravității și a impactului secetei, precum și pentru elaborarea unor strategii eficiente de adaptare și atenuare.

În România, modificările preconizate ale precipitațiilor anuale și lunare, până la sfârșitul secolului 21, variază de la scăderi semnificative la creșteri semnificative, în funcție de regiune.

Figura 8 ilustrează fluctuațiile anuale ale cantităților de precipitații anuale în România din 1971 până în 2100, pentru scenariul RCP cu emisii medii (RCP4.5, linia verde) și scenariul RCP cu emisii ridicate (RCP8.5, linia albastră). Spre deosebire de variabilitatea și schimbările obținute în cazul temperaturii medii în cazul cantităților de precipitații nu există diferențe semnificative între cele două scenarii în ceea ce privește evoluția cantităților de precipitații până la sfârșitul secolului 21 (Figura 8a).

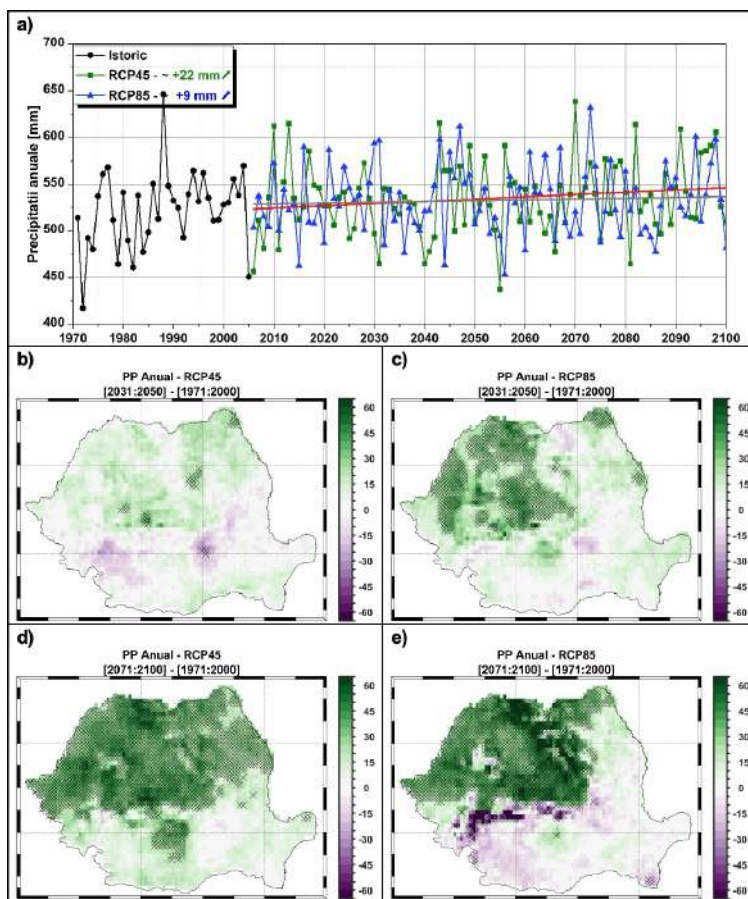


Figura 8. a) Evoluția temporală și b), c), d) și e) - schimbările cantităților de precipitații anuale. În b) și c) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2031-2050, iar în d) și e) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP45), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP85). În b), c), d) și e) schimbările sunt raportate la perioada 1971 – 2000. Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație). Sursa datelor: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Ambele scenarii indică o creștere a cantităților anuale de precipitații până la sfârșitul secolului 21, dar această creștere nu este semnificativă din punct de vedere statistic. În cazul scenariului mediu, se preconizează o creștere a cantităților anuale de precipitații în jumătatea nordică a țării, această creștere fiind mai pronunțată în ultima parte a secolului 21 (de exemplu, 2017 — 2100). În ceea ce privește scenariul RCP8.5, creșterile în cantitățile anuale de precipitații sunt mai mari în raport cu RCP4.5 în partea nordică a țării, în timp ce în partea sudică, scenariul RCP8.5 indică o scădere, nesemnificativă, a precipitațiilor anuale. Această analiză ne indică că partea de nord a țării va deveni mai umedă pe măsură ce clima globală se va încălzi, în timp ce în partea sudică vom avea un deficit de precipitații.

La nivel lunar, cele mai mari creșteri se preconizează în timpul lunilor de vară, mai ales în luna iunie (Figura 9a și 9b), însă, la nivel de țară, nu există schimbări semnificative din punct de vedere statistic până la sfârșitul secolului 21. De asemenea, nu există diferențe semnificative în funcție de scenariul folosit.

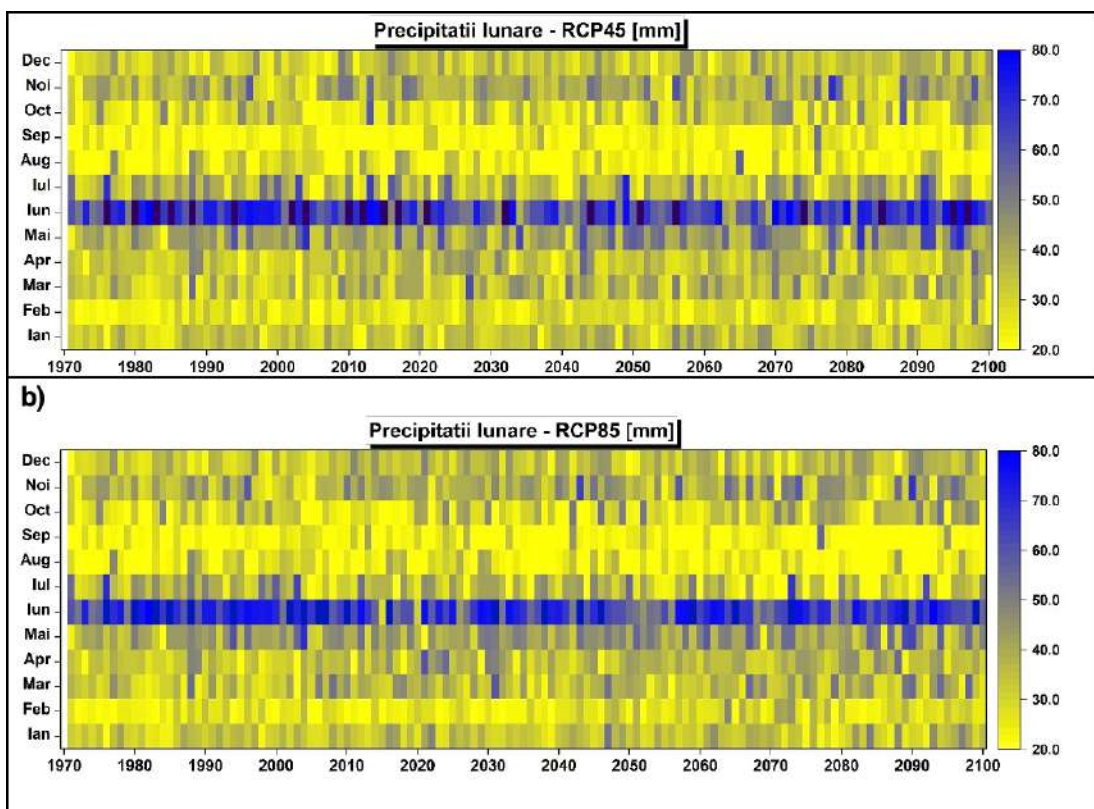


Figura 9. a) Evoluția temporală a cantităților de precipitații lunare, mediată la nivelul României, pentru scenariul cu emisii medii (RCP45) și b) pentru scenariul cu emisii ridicate (RCP85). Sursa datelor: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Pe măsură ce clima se încălzește, va crește inevitabil probabilitatea ca precipitațiile să cadă mai mult sub formă de ploaie decât de zăpadă. Această tendință este confirmată de scăderea semnificativă a stratului de zăpadă observată în România în ultimii 60 de ani (Amihăesei et al. 2024). Aceste constatări sunt în concordanță cu cea de-a șasea evaluare a raportului IPCC (IPCC 2021b), care prevede o creștere a precipitațiilor medii anuale la latitudini înalte și medii până la sfârșitul secolului, în scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). Creșterea preconizată a precipitațiilor la aceste latitudini este o caracteristică comună a modelelor climatice și poate fi explicată prin creșterea semnificativă a vaporilor de apă în atmosferă, care se așteaptă să fie cauzată de încălzirea globală (Collins et al. 2013).

Concluzii

România a experimentat o creștere semnificativă a temperaturilor medii în ultimele decenii, în linie cu fenomenul global de încălzire. Între 1958 și 2023, temperatura medie anuală a crescut cu aproximativ 2,11°C, depășind media globală (+1,81°C) cu 0,30°C și pe cea europeană (1,99°C) cu 0,12°C. Regiunile nordice ale țării sunt cele mai afectate de această creștere. Aceste schimbări au dus la valuri de căldură mai frecvente și prelungite, în special în lunile de vară, caracterizate prin temperaturi extrem de ridicate și umiditate crescută, care afectează sănătatea, agricultura și ecosistemele (Ma et al. 2024). În plus, riscul de secetă a crescut semnificativ, majoritatea valurilor de căldură din ultimele două decenii fiind însoțite de secete severe, exacerbând dificultățile economice și impactul asupra biodiversității (Nagavciuc et al. 2022b). Seceta, prin precipitații reduse, influențează agricultura, producția de energie și aprovizionarea cu apă. Combinația dintre temperaturile ridicate și secetă agravează deficitul de apă, punând în pericol ecosistemele și producția agricolă.

Schimbările climatice din România sunt susținute de date științifice robuste, precum măsurători meteorologice pe termen lung, modele climatice și studii de atribuire (Antonescu et al. 2023; World Weather Attribution 2024; Ionita et al. 2024; Nagavciuc et al. 2022b). Aceste cercetări indică faptul că emisiile de gaze cu efect de seră, generate de activitățile umane, împreună cu variabilitatea naturală, sunt printre cauzele principale ale încălzirii și creșterii fenomenelor extreme. Valurile de căldură și seceta provoacă stres în culturi, reducând randamentele și amplificând riscul incendiilor, iar deficitul de apă poate afecta grav agricultura și ecosistemele vulnerabile, cum ar fi pădurile și zonele umede, cu un impact direct asupra biodiversității.

Proiecțiile climatice sugerează o continuare a încălzirii și o intensificare a fenomenelor extreme, inclusiv valuri de căldură și secete, ceea ce va impune eforturi semnificative de adaptare și reducere a emisiilor. Este necesară adoptarea unor măsuri proactive pentru a proteja ecosistemele și comunitățile vulnerabile. România este printre țările afectate profund de schimbările climatice, iar consecințele asupra mediului, agriculturii și sănătății umane sunt semnificative. Înțelegerea cercetărilor științifice și a efectelor potențiale este esențială pentru dezvoltarea unor strategii eficiente de atenuare și adaptare.

Având în vedere ritmul lent al măsurilor de combatere a schimbărilor climatice, este improbabil să limităm încălzirea la 1,5°C, conform Acordului de la Paris. Depășirea acestui prag până la sfârșitul secolului pare inevitabilă, iar acest lucru va duce la veri mult mai călduroase, fenomene meteorologice extreme mai frecvente și o necesitate urgentă de a regândi gestionarea resurselor, în special a apei. Apa va deveni o resursă extrem de prețioasă, iar practicile agricole vor trebui revizuite pentru a face față acestei penurii. În același timp, vor fi necesare măsuri solide de sănătate publică pentru a face față noilor condiții climatice. Impactul schimbărilor climatice este deja semnificativ și va continua să se agraveze.

Adaptarea la schimbările climatice presupune măsuri pentru reducerea vulnerabilității și exploatarea oportunităților potențiale, însă există numeroase obstacole, precum lipsa informațiilor locale relevante, a finanțării și a tehnologiilor necesare, precum și atitudinile sociale.

Furtunile severe din România în contextul schimbărilor climatice

Dr. Bogdan Antonescu



Sumar

Furtunile severe, cele care produc grindină de mari dimensiuni, vânt intens și tornade, sunt fenomene meteorologice extreme care au un impact major asupra infrastructurii, agriculturii și asupra comunităților din România. Observațiile istorice și previziunile climatice indică o creștere a frecvenței de apariție și intensității acestor fenomene în următoarele decenii, în contextul schimbărilor climatice. În perioada 1940-2023, s-a observat o creștere a orelor cu condiții favorabile pentru furtuni severe în toată țara, în special în partea de est. Fenomene precum grindina de mari dimensiuni și vânturile intense devin tot mai frecvente. În zonele urbane mari, furtunile pot provoca daune importante infrastructurii și vehiculelor, iar în zonele agricole pot distruge culturile, afectând grav economia locală. Previziunile pentru viitorul apropiat (2025-2050) și pentru sfârșitul secolului (2071-2100) indică o intensificare a acestor fenomene, în special în nordul României, unde riscul de grindină și furtuni violente este așteptat să crească semnificativ. Aceste schimbări sunt atribuite în principal creșterii umidității atmosferice, ceea ce contribuie la o mai mare instabilitate atmosferică. Impactul social și economic al acestor furtuni poate fi devastator, cu costuri ridicate pentru repararea construcțiilor afectate, și pierderi semnificative în agricultură și infrastructură. În plus, creșterea urbanizării și modificările în utilizarea terenurilor, cum ar fi irigarea, pot exacerba frecvența acestor fenomene. Pentru a atenua aceste riscuri, este esențial ca România să adopte măsuri adecvate, inclusiv consolidarea infrastructurii, dezvoltarea unor sisteme eficiente de avertizare timpurie și educarea publicului despre măsurile de siguranță în fața fenomenelor meteo extreme. Fără acțiuni decisive, țara se va confrunta cu consecințe semnificative asupra mediului, economiei și societății în general.

Ce sunt furtunile severe și de ce vorbim despre acestea?

Furtunile severe sunt sisteme atmosferice care pot genera fenomene meteorologice extreme, inclusiv tornade, grindină de mari dimensiuni, precipitații și vânt intens, și descărcări electrice atmosferice. Aceste furtuni pot avea un impact devastator asupra comunităților, provocând distrugerii de infrastructură, întreruperi ale alimentării cu energie electrică, și chiar pierderi de vieți omenești. Grindina mare poate distruge culturi agricole și poate avaria vehicule și acoperișuri, în timp ce tornadele pot (în cazurile extreme) distruge complet infrastructura (e.g., case, căi ferate). Precipitațiile intense pot duce la inundații rapide, afectând drumurile și proprietățile și punând în pericol viețile oamenilor. Trăsnetele reprezintă un pericol suplimentar, putând provoca incendii de vegetație și pierderi de vieți omenești (în prezent, România are una dintre cele mai mari rate de decese provocate de trăsnete din Europa după Bulgaria și Republica Moldova, Kuhne et al. 2024).

Condițiile pentru apariția furtunilor - 1940-2023

În general, tendințele pentru România indică o interacțiune complexă între creșterea instabilității atmosferice și creșterea inhibiției convective (care împiedică dezvoltarea furtunilor), ceea ce ar putea duce la un număr mai mic de furtuni, în ciuda unei atmosfere mai instabile. Analiza condițiilor de mediu care susțin apariția furtunilor cu descărcări electrice între 1940 și 2023 folosind setul de date ERA5, arată că cele mai multe ore (>200 ore în medie pe an, Figura 1a) cu astfel de condiții sunt înregistrate în vestul și centrul României. Zonele cele mai puțin expuse la furtuni cu descărcări electrice sunt în partea de est și în zona de litoral a României (<100 de ore în medie pe an).

Între 1940 și 2023, numărul orelor cu condiții pentru furtuni însoțite de descărcări electrice a crescut pe întreg teritoriul României. Cea mai mare creștere (6 ore în 10 ani, Figura 1c) a fost observată în partea de est a României, unde creșterea este și semnificativă din punct de vedere statistic. Furtunile severe (asociate cu grindină de mari dimensiuni și vânt intens) au o probabilitate mai mare de apariție (>25 de ore pe an, Figura 1b) în toate regiunile țării cu excepția unei părți din estul României. Începând cu 1940 a crescut numărul de ore cu condiții pentru apariția furtunilor severe pe întreg teritoriul României (Figura 1d).

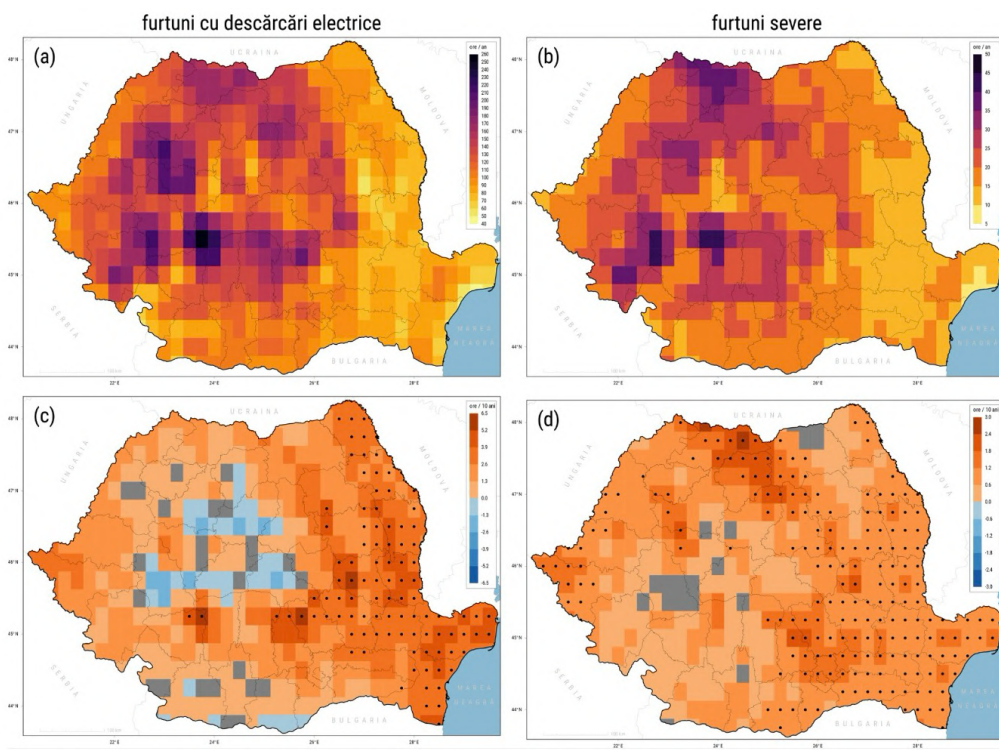


Figura 1. Distribuția numărului de ore cu condiții pentru apariția furtunilor însoțite de descărcări electrice și a furtunilor severe (furtuni care pe lângă descărcări electrice pot să producă grindină de mari dimensiuni, vânt și precipitații intense) în România între 1940 și 2023: (a) și (b) numărul mediu anual (ore pe an) și (c) și (d) schimbarea în numărul mediu anual (ore în 10 ani). Punctele indică regiunile în care creșterea este semnificativă din punct de vedere statistic.

Pentru a înțelege tendințele pe termen lung (1950-2021) pentru furtunile care produc grindină de mari dimensiuni (≥ 2 cm) și foarte mari dimensiuni (≥ 5 cm) o echipă de cercetători de la European Severe Storms Laboratory au realizat recent un studiu bazat pe modele avansate de regresie logistică aditivă, date reanalizate și observații istorice (Battaglioli et al. 2023). Au putut astfel estima probabilitatea de apariție a acestor fenomene și schimbările pe termen lung. În Europa, a fost observată o creștere semnificativă a frecvenței grindinei de mari dimensiuni (dar și a descărcărilor electrice), în special în nordul Italiei, unde grindina foarte mare a devenit de trei ori mai frecventă decât în anii 1950. Această creștere este în mare parte atribuită creșterii umidității la nivelul straturilor inferioare ale atmosferei, ceea ce a condus la o

creștere a valorilor pentru CAPE⁴ pentru formarea furtunilor severe. Studiul subliniază că aceste schimbări climatice au avut un impact semnificativ asupra intensificării fenomenelor meteorologice extreme în Europa.

Atât în cazul grindinei mari, cât și al grindinei foarte mari, regiunea de sud-est a României are cel mai mare număr mediu de ore pentru perioada 1950-2021 (Figura 2a și 2b). Deși distribuția numărului mediu anual de ore cu grindină este similară pentru ambele tipuri de grindină, analiza tendințelor arată diferențe. În mod specific, se observă o tendință de creștere a grindinei mari în majoritatea regiunilor din România, cu excepția sudului țării (Figura 2c). În cazul grindinei foarte mari, tendința este crescătoare pe aproape întreg teritoriul României (Figura 2d).

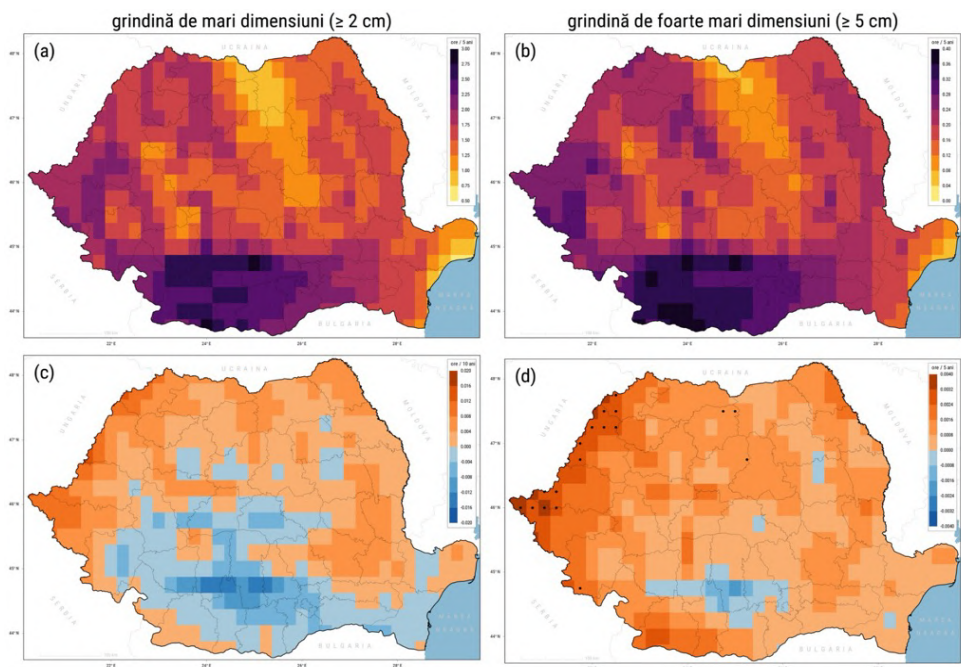


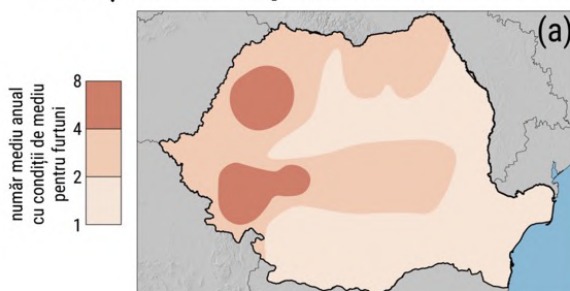
Figura 2. Distribuția numărului mediu anual de ore per 5 ani cu (a) grindină de mari dimensiuni (> 2 cm) și (b) foarte mari dimensiuni (> 5 cm) pentru intervalul 1950-2021 pe baza setului de date dezvoltat de Battaglioli et al. (2023). De asemenea este reprezentat și trendul (număr de ore per 10 ani) pentru (c) grindină de mari dimensiuni și (d) grindină de foarte mari dimensiuni. Scara de culori este definită separat pentru fiecare dintre cele patru hărți.

Previzuni climatice privind furtunile severe

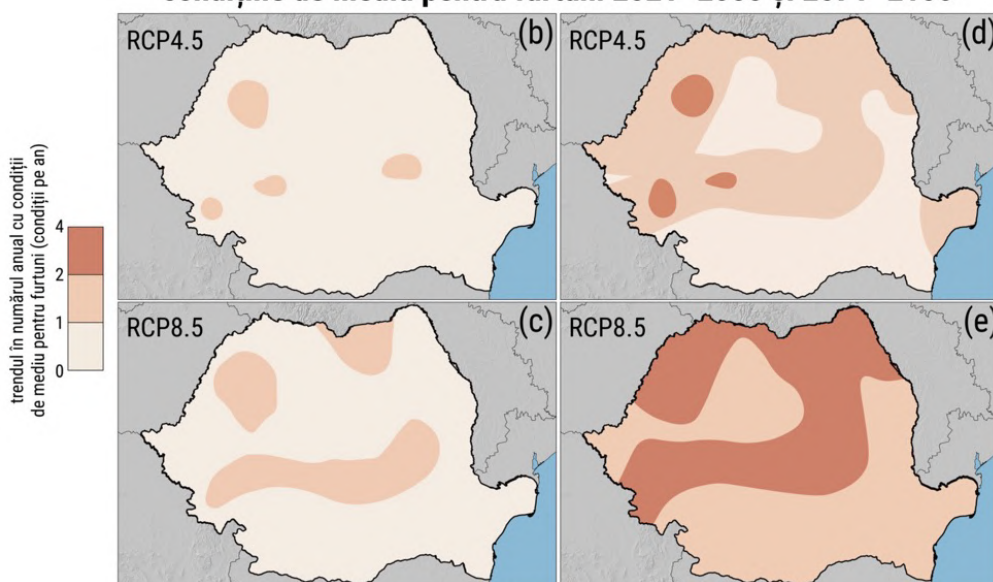
Studiile recente, cum ar fi cele realizate de Púčik et al. (2017) și Rädler et al. (2019), oferă o înțelegere aprofundată a modului în care diferite scenarii climatice pot influența condițiile de mediu care susțin apariția furtunilor severe în Europa. Púčik et al. (2017) au analizat schimbările condițiilor de mediu care susțin apariția furtunilor severe din Europa, utilizând un ansamblu de 14 modele regionale climatice și două scenarii climatice (i.e., RCP4.5 și RCP8.5). Rezultatele indică o creștere a frecvenței de apariție a mediilor instabile în Europa centrală, în special în scenariul RCP8.5 până în 2100, determinată de valori mai mari ale umidității în regiunile joase ale atmosferei. Pentru România, previziunile climatice indică creșterea frecvenței de apariție a mediilor care susțin apariția furtunilor severe, în special în cazul scenariului RCP8.5 (Figura 3). Conform acestor previziuni climatice ne putem aștepta la mai multe fenomene meteorologice extreme în viitorul apropiat în special în jumătatea de nord a României.

4 CAPE (Convective Available Potential Energy) este o măsură utilizată în meteorologie pentru a cuantifica cantitatea de energie potențială disponibilă pentru convecție atmosferică, adică procesul prin care aerul cald se ridică și se răcește. CAPE este un indicator important pentru dezvoltarea furtunilor convective

Condiții de mediu pentru furtuni între 1971–2000



Proiecții climatice pentru condițiile de mediu pentru furtuni 2021–2050 și 2071–2100



Figură adaptată după Figura 12 din Púčik, T., and Coauthors, 2017: Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. J. Climate, 30, 6771–6794, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0777.1>.

Figura 3. Distribuția numărului mediu de zile cu condiții pentru furtuni (a) pentru perioada istorică 1971–2020 și previziunile (schimbarea pentru numărul anual de condiții pentru furtuni) pentru 2021–2050 (b) și (c) și pentru 2071–2100 (d) și (e). Au fost utilizate două scenarii climatice RCP4.5 (b) și (d) și RCP8.5 (c) și (e). Figura este adaptată după Figura 12 din Púčik et al. (2017).

Condițiile de mediu în care se dezvoltă furtunile severe din Europa au fost analizate și de Rädler et al. (2019) care au arătat că există o creștere semnificativă a frecvenței furtunilor cu descărcări electrice în special în nordul și estul Europei. Pentru România, această creștere este statistic semnificativă pentru scenariul climatic RCP 8.5 în special pentru jumătatea de nord a țării până la sfârșitul secolului. Apariția furtunilor cu grindină de mari dimensiuni și vânt intens sunt anticipate să crească chiar mai mult decât în cazul furtunilor cu descărcări electrice, probabilitate pentru apariția grindinei de mari dimensiuni crescând cu 40–80% în Europa centrală și de est până la sfârșitul secolului. Pentru România, previziunile climatice indică o creștere semnificativă a condițiilor pentru grindină de mari (>2 cm) și foarte mari dimensiuni (>5 cm) pentru întreg teritoriul, dar în particular pentru nord-estul României (Figura 4). Cercetătorii anticipează că furtunile cu vânt intens (>25 m s⁻¹) vor fi observate mai frecvent în sudul României.

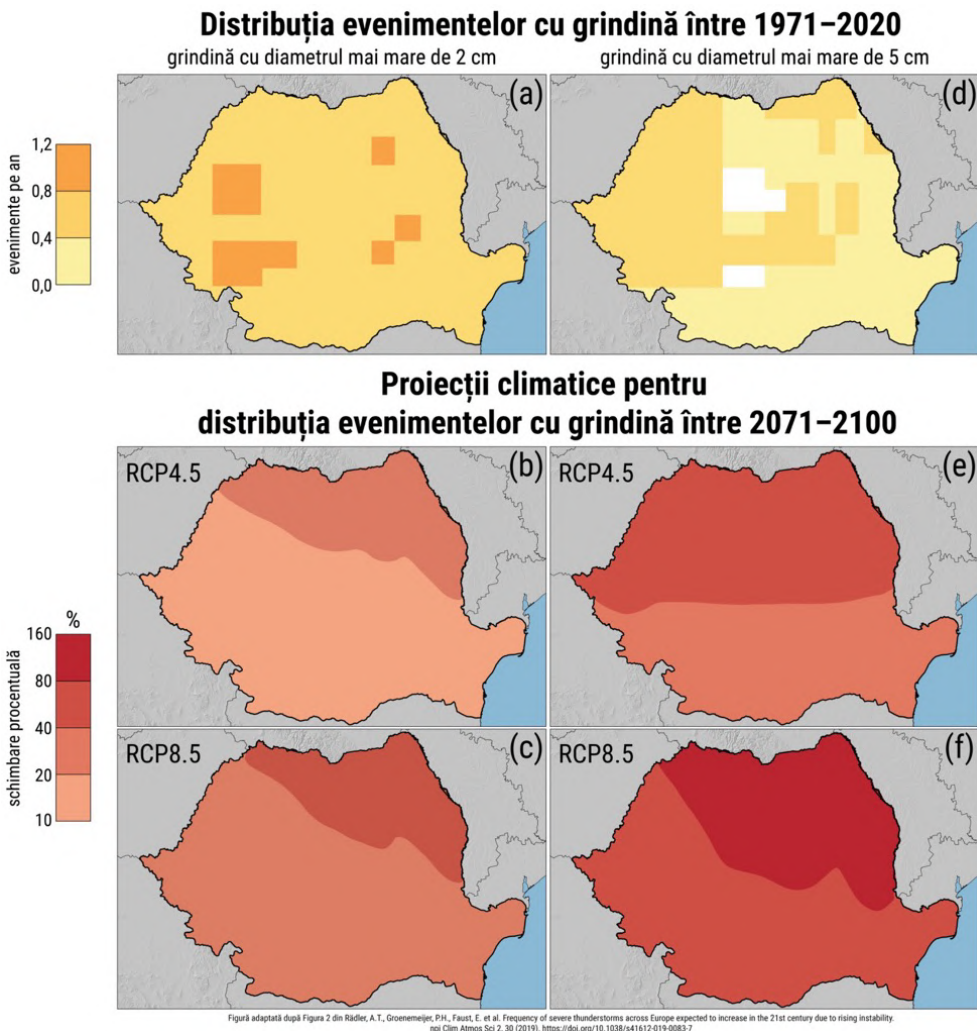


Figura 4. Distribuția mediilor care susțin apariția furtunilor cu grindină de mari dimensiuni (a)–(c) pentru grindină cu diametrul mai mare de 2 cm și (d)–(f) pentru grindină cu diametrul mai mare de 5 cm. (a) și (d) prezintă distribuția evenimentelor cu grindină (evenimente pe an) pentru perioada 1971–2020. Schimbarea procentuală față de perioada istorică este prezentată în (b) și (e) pentru scenariul RCP45, iar în (c) și (f) pentru scenariul RCP85. Figura este adaptată după Figura 2 din Rädler et al. (2019).

Rezultatele acestor studii indică o creștere a frecvenței și intensității furtunilor severe în Europa centrală și de est, determinată de creșterea umidității în regiunile joase ale atmosferei. În contextul României, aceste previziuni sugerează o creștere semnificativă a riscului de evenimente meteorologice extreme. De asemenea, există variații regionale notabile, cu un impact mai pronunțat în jumătatea de nord a țării și o creștere a frecvenței grindinei de mari dimensiuni și a vânturilor intense în diverse zone. Aceste studii subliniază necesitatea unei pregătiri adecvate pentru a gestiona riscurile meteorologice viitoare și pentru a adapta strategiile de reducere a emisiilor gazelor cu efect de seră, luând în considerare diversitatea climatică și geografică a României.

Impact și consecințe

Furtunile severe, cum ar fi tornadele, precipitațiile intense și grindina de mari dimensiuni, prezintă un risc major pentru mediu, societate și economie. Previziunile climatice indică o creștere a frecvenței acestor fenomene în România, în special între 2025 și 2050, subliniind necesitatea înțelegerii și gestionării impactului lor viitor.

Impactul în mediul urban

În orașele mari, grindina de mari dimensiuni poate provoca daune semnificative clădirilor, autovehiculelor și altor proprietăți. Acoperișurile clădirilor, ferestrele și fațadele vor fi expuse riscului de distrugere, ceea ce va genera costuri ridicate pentru reparații și înlocuiri. Autovehiculele parcate în aer liber vor suferi avarii considerabile, afectând proprietarii și companiile de asigurări. Vântul intens, asociat furtunilor severe, poate avea un impact devastator asupra infrastructurii urbane. Clădirile înalte, stâlpii de electricitate, panourile publicitare și alte structuri pot fi avariate sau distruse de vânturile puternice. De asemenea, vântul intens poate smulge copaci din rădăcini, provocând blocaje de trafic și deteriorarea rețelilor de transport public. Aceste probleme vor genera perturbări semnificative în viața cotidiană a locuitorilor și vor afecta activitățile economice. În plus, grindina și vântul intens pot deteriora rețelele de utilități publice, cum ar fi cele de alimentare cu apă, gaz și energie electrică. Companiile vor trebui să investească în reparații și în consolidarea infrastructurii pentru a preveni daunele viitoare.

Impactul social și economic

Furtunile severe pot provoca daune majore infrastructurii, inclusiv clădirilor, drumurilor, podurilor și rețelilor de electricitate. Tornadele și vânturile intense pot distruge infrastructura, iar grindina poate deteriora acoperișurile și ferestrele. Costurile de reparație și reconstrucție pot fi extrem de ridicate, afectând bugetele locale și naționale. Agricultură este una dintre cele mai vulnerabile sectoare în fața furtunilor severe. Grindina și precipitațiile intense pot distruge culturile și plantațiile, ducând la pierderi de producție și la reducerea veniturilor pentru fermieri. În plus, eroziunea solului și poluarea apelor pot avea efecte pe termen lung asupra productivității agricole. Furtunile severe pot întrerupe activitățile economice prin distrugerea infrastructurii și a facilităților de producție. Transportul de bunuri și persoane poate fi afectat, iar întreprinderile pot suferi pierderi financiare semnificative din cauza opririi activităților. Aceasta poate avea efecte în cascadă asupra economiei naționale.

Pe lângă influența climei în schimbare, există o serie de alți factori care pot contribui la creșterea frecvenței de apariție a furtunilor. Extinderea zonelor urbane înseamnă schimbări în modul de utilizare a terenurilor, acestea având un impact asupra creșterii frecvenței de apariție a furtunilor (de ex., Haberlie et al., 2015). De exemplu, irigarea, ca răspuns la perioadele cu secetă, influențează frecvența furtunilor prin modificarea microclimatului local, crescând conținutul de umiditate din sol și atmosferă, ceea ce poate favoriza formarea furtunilor. Aceste modificări pot duce la o instabilitate mai mare a atmosferei și, în funcție de condițiile specifice și climatul regional, pot duce la creșterea frecvenței de apariție a furtunilor (de ex., DeAngelis et al., 2010). Astfel, în zonele cu agricultură intensă cum ar fi sudul României, aceste modificări ale climatului local pot fi mai pronunțate, ceea ce va crește probabilitatea de apariție a furtunilor.

Pentru a face față acestor provocări, este esențial ca România să adopte măsuri de adaptare și reducere a riscurilor, inclusiv întărirea infrastructurii, dezvoltarea de sisteme de alertă timpurie și educarea populației cu privire la măsurile de siguranță în caz de fenomene meteo extreme.

Soluții și recomandări

Strategiile actuale legate de impactul furtunilor severe în contextul schimbărilor climatice se concentrează pe consolidarea infrastructurii critice, dezvoltarea capacităților de monitorizare și avertizare timpurie, precum și pe educarea și conștientizarea publicului, așa cum indică strategia națională privind educația pentru mediu și schimbări climatice 2023-2030 și strategia națională de reducere a riscurilor de dezastre 2024-2035.

Cu toate acestea, pentru a îmbunătăți răspunsul național la aceste fenomene, se impun mai multe direcții.

(1) Consolidarea infrastructurii de monitorizare și a bazelor de date prin dezvoltarea unei baze de date naționale privind fenomenele meteorologice extreme. Aceasta ar trebui de altfel să fie o prioritate. O parte din fenomenele extreme (de ex., grindină de mari dimensiuni, vânt intens) care trebuie să fie incluse într-o astfel de bază de date la nivel național există în cadrul Administrației Naționale de Meteorologie. Cu toate acestea ? această bază de date nu este în prezent accesibilă pentru mediul academic. În plus, această bază de date trebuie extinsă să includă mai multe fenomene extreme precum și informații privind impactul social și economic al acestora (de ex., estimări ale pagubelor, numărul victimelor). Există deopotrivă posibilitatea de a crea o rețea de observatori voluntari pentru a raporta fenomenele meteorologice extreme care ar putea îmbunătăți considerabil acuratețea și acoperirea raportărilor.

(2) Îmbunătățirea cercetărilor climatologice și meteorologice prin fenomenele extreme și impactul schimbărilor climatice asupra acestora. De exemplu, sunt necesare studii detaliate pentru a proiecta rezultatele modelelor climatice la scară redusă pentru diferite regiuni ale României pentru a înțelege mai bine impactului asupra infrastructurii construite și pentru a îmbunătăți cunoștințele privind riscurile asociate fenomenelor meteorologice extreme. La o mai bună înțelegere a riscurilor contribuie și studiile detaliate în teren privind pagubele produse de fenomenele meteorologice extreme. Pe lângă analiza riscurilor, aceste studii oferă date esențiale și pentru evaluarea eficacității politicilor de reducere a riscului de dezastre.

(3) Îmbunătățirea educației publice privind fenomenele meteorologice extreme. Extinderea campaniilor de sensibilizare și educare, inclusiv pentru zonele rurale și comunitățile vulnerabile, împreună cu dezvoltarea de campanii dedicate sectorului industrial și privat, va contribui semnificativ la reducerea riscurilor și la creșterea rezilienței în fața fenomenelor meteorologice extreme.

Concluzii

Furtunile convective severe, cele care produc tornadele, grindina de mari dimensiuni, vânturile intense și precipitațiile extreme, au un impact semnificativ asupra infrastructurii, agriculturii și comunităților. Studiile indică o creștere a frecvenței și intensității acestor fenomene în viitor, în special în contextul scenariilor climatice cu emisii ridicate de gaze cu efect de seră. Vulnerabilitatea față de aceste fenomene va fi mai ridicată în anumite regiuni din România, cum ar fi nord-estul țării.

Pe termen lung, schimbările climatice vor continua să amplifice riscurile asociate furtunilor convective severe din România, ceea ce va necesita soluții de adaptare și investiții semnificative în infrastructura de monitorizare și avertizare timpurie. Impactul social și economic al acestor furtuni va fi din ce în ce mai mare, și România va avea nevoie de politici integrate de reducere a riscurilor și de educare a publicului. În absența unor măsuri adecvate de adaptare și reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, România se va confrunta cu o creștere semnificativă a frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme, cu consecințe semnificative asupra mediului, economiei și societății.

Climatul urban – provocări actuale pentru România

Dr. Sorin Cheval

Drd. Vlăd Fălcescu



Sumar

Hazardurile climatice cele mai frecvente în mediul urban din România sunt cele legate de temperaturile ridicate și furtuni severe, însoțite de inundații urbane și vijelii. Insula de Căldură Urbană (ICU) reprezintă cel mai evident impact al prezenței mediului construit asupra climatului regional, determinând frecvent diferențe de temperatură de 2-3°C între oraș și imediată vecinătate, acestea putând ajunge și la 4-6°C, influențând confortul termic urban și având impacturi asupra mortalității și morbidității asociate cu boli cardiovasculare, afecțiuni renale sau cerebrale. Acest capitol evidențiază câteva caracteristici termice ale climatului urban actual și evoluția acestuia în următoarele decenii, precum și liniile generale ale politicilor de adaptare la schimbări climatice adoptate în orașele României.

Insulele de căldură urbană în România - cât de expuși suntem?

Urbanizarea este în prezent un proces extrem de dinamic, mai mult de jumătate din populația Terrei locuind în orașe. Arealele urbane introduc modificări substanțiale în peisajul geografic, cu impact semnificativ asupra climatului regional. Orașele sunt, în general, mai calde și mai uscate decât arealele învecinate. Mediul urban este cel mai eterogen tip de mediu geografic de pe Terra, iar problemele derivate sunt pe măsura acestei caracteristici unice. De cele mai multe ori, orașele oferă condiții favorabile pentru dezvoltare socială și economică, pentru bunăstare, dar generează și probleme severe legate de utilizarea resurselor de mediu, cu atât mai importante în contextul evoluțiilor climatice previzionate pentru următoarele decenii.

Hazardurile climatice cele mai frecvente în mediul urban din România sunt cele legate de temperaturile ridicate și furtuni severe, însoțite de inundații urbane și vijelii. Insula de Căldură Urbană (ICU) reprezintă cel mai evident impact al prezenței mediului construit asupra climatului regional, determinând frecvent diferențe de temperatură de 2-3°C între oraș și imediată vecinătate, acestea putând ajunge și la 4-6°C, influențând confortul termic urban și având impacturi asupra mortalității și morbidității asociate cu boli cardiovasculare, afecțiuni renale sau cerebrale (Hondula et al 2015; Tong et al 2021).

Insula de Căldură Urbană are intensitate diferită pe timp de zi și de noapte și este direct proporțională cu mărimea orașului (Figura 1), respectiv suprafața construită și numărul de locuitori (Cheval et al 2022). În luna iulie, cea mai mare intensitate medie a ICU este de 1-2°C în orașele din afara Arcului Carpatic, în timpul nopții, și 1.5-3.5°C în special în orașele din interiorul Arcului Carpatic, în timpul zilei. Valorile maxime ating 3-4°C, noaptea și 7-8°C, ziua, cu tipare ale distribuției geografice mai puțin evidente.

Expunerea populației urbane la risc termic depinde de mai mulți factori, printre care putem distinge temperatura aerului și tipul de climat, ponderea suprafeței construite și utilizarea terenului, sau densitatea populației. Pe baza acestor elemente, Figura 2 ilustrează ponderea populației expusă unui risc termic semnificativ în orașele cu mai mult de 30.000 de locuitori din România. Cel puțin 40-50% din populația acestor orașe locuiește în zone cu risc termic mare și foarte mare, iar în mai multe orașe din jumătatea sudică procentul depășește 50% (e.g., București, Craiova, Galați).

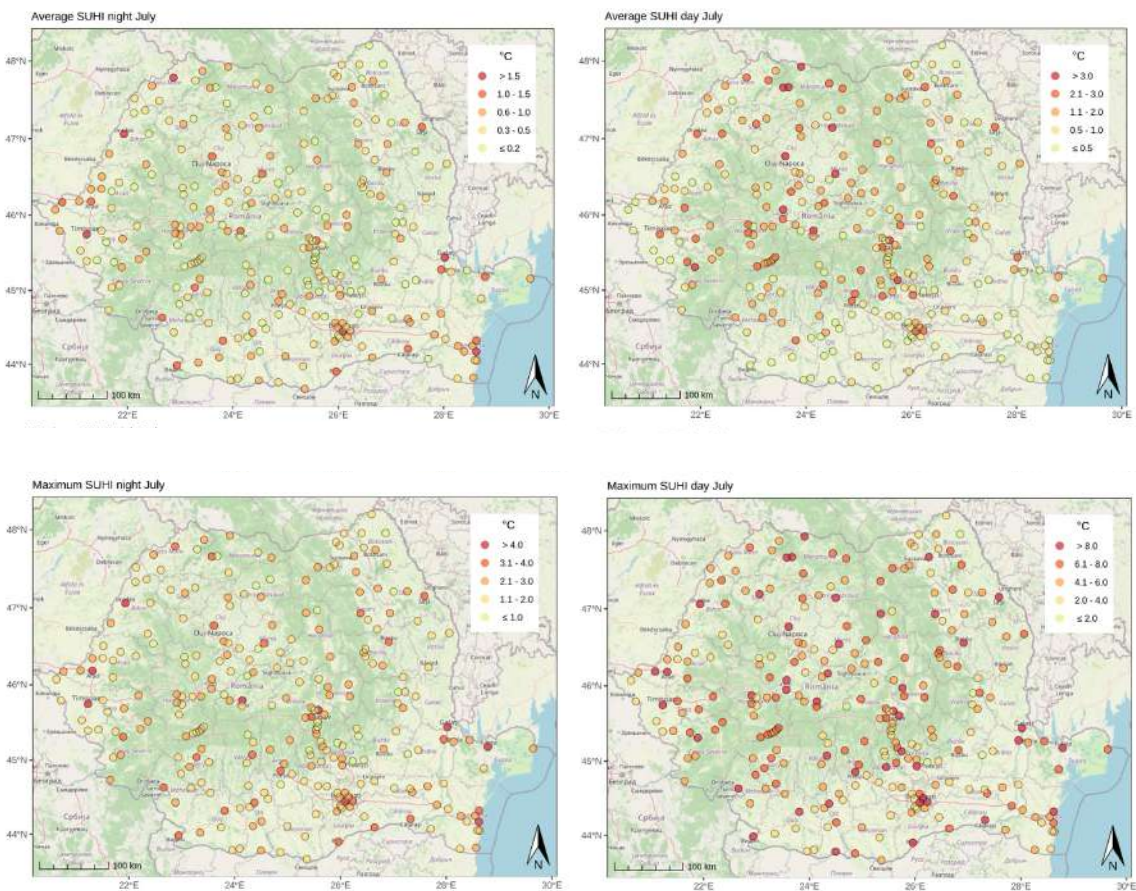


Figura 1. Intensitatea medie (sus) și maximă (jos) a Insulei de Căldură Urbană la suprafață, în orașele cu mai mult de 30.000 de locuitori, în luna iulie, pe timp de noapte (stânga) și pe timp de zi (dreapta).

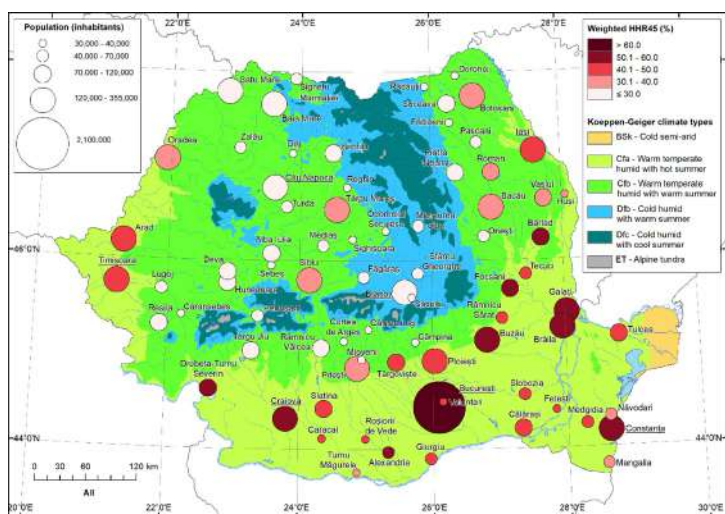


Figura 2. Ponderea populației care locuiește în areale construite cu risc termic ridicat și foarte ridicat (cumulat zi și noapte) în orașele cu o populație mai mare de 30.000 de locuitori.

Viitorul apropiat (2021-2040) va fi marcat de o creștere sensibilă a temperaturii maxime și minime, precum și a frecvenței valorilor de căldură care vor afecta orașele României, chiar și într-un scenariu moderat de evoluție a climei (Jacob et al 2014) (Figurile 3-5). Analiza unui ansamblu de date provenite de la 10 modele climatice, arată că cele mai importante diferențe față de perioada de referință 1981-2010 se constată în exteriorul Arcului Carpat, dar tendințele sunt de creștere pe tot teritoriul țării.

Astfel, temperaturile maxime și minime vor fi, în medie, cu cel puțin 0.5°C mai mari, dar în numeroase orașe din Oltenia, Muntenia și Dobrogea temperatura maximă va fi mai mare cu mai mult de 1°C față de perioada de referință. La rândul lor, valurile de căldură, definite de evoluția consecutivă a temperaturilor ridicate din timpul lor, vor fi mai frecvente mai ales în jumătatea sudică, acolo unde excesul de căldură are deja un impact considerabil asupra mediului și societății.

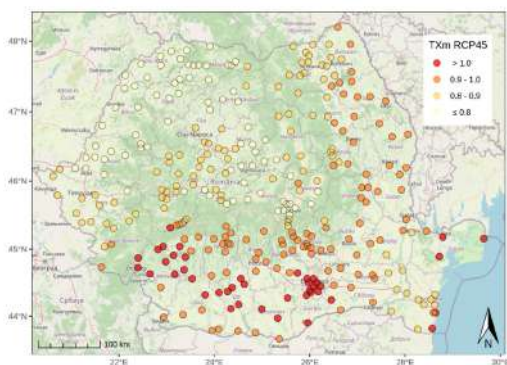


Figura 3. Modificări ale temperaturii maxime (TXm, °C) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

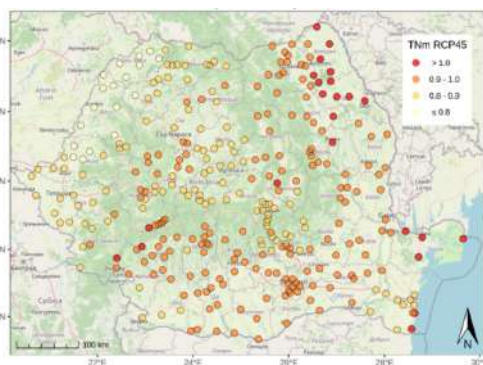


Figura 4. Modificări ale temperaturii minime (TNm, °C) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

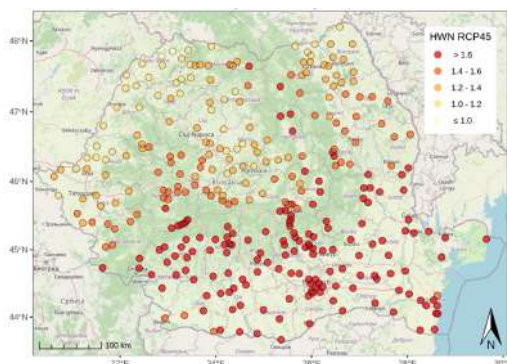


Figura 5. Modificări ale numărului de valuri de căldură (HWN) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

Strategiile curente de abordare a problemei

Căldura urbană reprezintă un factor de risc tot mai relevant în contextul actual, având efecte semnificative asupra societății. Aceasta reprezintă o țintă centrală pentru eforturile de atenuare a efectului de insulă de căldură urbană și adaptare a populației afectate. La nivel european au fost adoptate strategii ce cuprind o gamă largă de măsuri structurale și non-structurale menite să protejeze infrastructura, ecosistemele și comunitățile locale (Aguiar et al., 2018; Biesbroek, 2021).

În centrul abordării UE privind adaptarea la schimbările climatice se află Noua Strategie a UE privind Adaptarea la Schimbările Climatice, adoptată în 2021. Această strategie se bazează pe necesitatea unei adaptări mai inteligente, mai rapide și mai sistemice. Aceasta include îmbunătățirea cunoștințelor despre impacturile climatice, dezvoltarea de soluții inovatoare și asigurarea integrării acțiunilor de adaptare în toate politicile UE, inclusiv planificarea urbană și domenii relevante pentru ariile urbane.

La nivel național, în ultimii ani, au fost adoptate strategii pentru atenuarea schimbărilor climatice și adaptarea la efectele acestora, iar orașele sunt integrate ca arii cu o vulnerabilitate climatică în creștere.

În linie cu țintele naționale, orașele au dezvoltat diverse documente strategice legate de dezvoltarea durabilă, mobilitatea urbană, energia verde, infrastructură inteligentă și de atenuarea și adaptarea la efectele schimbărilor climatice.

Aceste strategii urmăresc să definească principalele riscuri și oportunități la nivel urban și să contureze obiectivele și direcțiile strategice locale. Strategiile locale ale orașelor din România au început să încorporeze adaptarea și atenuarea schimbărilor climatice în procesul de dezvoltare durabilă, dar accentul pus pe acest aspect variază de la caz la caz. Majoritatea strategiilor și planurilor de dezvoltare durabilă includ acțiunile climatice, dar multe municipalități au adoptat politici direct orientate asupra schimbărilor climatice și a efectelor acestora. Planurile de Acțiune pentru Energie Durabilă și Climă, aliniate cerințelor Pactului Primarilor, reprezintă, de asemenea, pași suplimentari către acțiuni climatice locale.

Recomandări pentru politici sau acțiuni viitoare bazate pe analiza efectuată

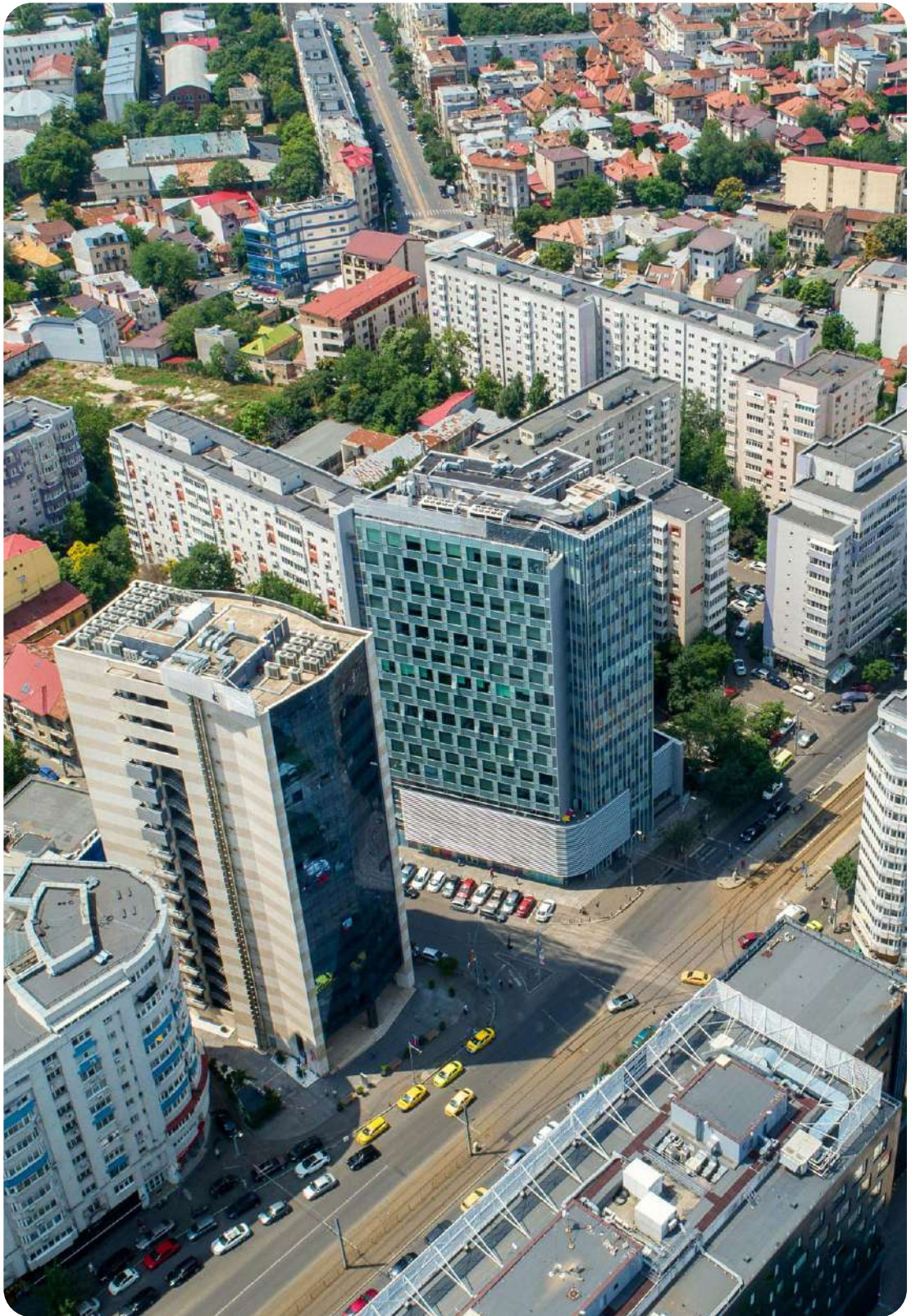
Adaptarea orașelor pe fondul intensificării căldurii urbane reprezintă o provocare complexă ce necesită eforturi coordonate și soluții inovatoare. Pentru a aborda barierele și provocările în calea unei adaptări eficiente sunt necesare strategii și soluții precum: coordonarea instituțională, dezvoltarea mecanismelor financiare, implicarea comunității locale, crearea cadrelor de planificare integrate, soluții bazate pe natură și ajustări ale infrastructurii.

Îmbunătățirea coordonării între diferitele niveluri de guvernare și asigurarea unei cooperări pe termen lung bazate pe strategii și obiective bine definite între actorii municipali și părțile interesate sunt pași esențiali explorați de Boyd et al. (2022). De asemenea, concentrarea resurselor pe menținerea și extinderea rețelelor de adaptare și a bunelor practici creează noi oportunități pentru orașe. În plus, o cooperare mai strânsă între municipalități și cercetători încurajează schimbul de cunoștințe și bune practici (Häußler & Haupt, 2021). Această cooperare aduce beneficii orașelor prin îmbunătățirea înțelegerii riscurilor climatice și a beneficiilor acțiunilor de adaptare și contribuie, de asemenea, la creșterea eficienței procesului de adaptare.

Dezvoltarea unor cadre de proiectare urbană cuprinzătoare și integrate este esențială pentru a aborda provocările și barierele legate de adaptarea la schimbările climatice (C. Chen et al., 2016). Aceste cadre ar trebui să prioritizeze includerea cunoștințelor științifice, implicarea comunității și principiile dezvoltării durabile.

Implementarea soluțiilor inovatoare și a bunelor practici necesită o înțelegere îmbunătățită la nivelul guvernelor locale. Pentru reducerea riscurilor asociate căldurii urbane, administrațiile locale trebuie să se concentreze pe implementarea infrastructurii verzi, soluțiilor bazate pe natură și a coridoarelor verzi — albastre, planificarea urbană durabilă, modernizarea infrastructurii și clădirilor. În plus, încurajarea cooperării pe termen lung între municipalități, crearea de ecosisteme de inovare și integrarea planurilor locale de adaptare în cadre politice mai ample pot îmbunătăți eficiența măsurilor de adaptare (Sauer et al., 2021). Aliniind obiectivele de dezvoltare urbană cu programele de adaptare la schimbările climatice și protejând ecosistemele naturale, orașele își pot spori reziliența. În plus, sinergia dintre Insula de Căldură Urbană și valurile de căldură ar trebui să fie integrate în strategiile locale de adaptare.

Orașele României devin tot mai calde, mediul urban punând astfel o presiune tot mai mare asupra confortului și inducând riscuri termice din ce în ce mai accentuate. Modificarea temperaturii ambientale la nivel regional va avea un ritm accelerat în orașe în următoarele decenii. Schimbarea radicală a modului de planificare urbană în vederea adaptării și atenuării impactului schimbărilor climatice este o necesitate extrem de actuală la nivelul administrațiilor locale din România.



Puncte critice climatice și sociale: Cum procesele globale au un impact local

Dr. Mihai Dima



Sumar

În studiile climatice, punctele critice se referă la valori de prag caracteristice unor sisteme naturale (cum este de exemplu circulația meridianală din Atlantic) care, odată depășite, pot induce schimbări ireversibile cu efecte devastatoare asupra ecosistemelor naturale și a societății. Aflându-se sub influența unor sisteme naturale critice, România este vulnerabilă la transformări ireversibile ale acestora, induse prin depășirea de puncte critice. De exemplu, slăbirea circulației meridionale din Atlantic sub o valoare de prag, va conduce la reducerea precipitațiilor și la intensificarea secetelor. Acest fenomen va afecta agricultura, securitatea alimentară și va reduce productivitatea ecosistemelor, având un impact direct asupra economiei și populației. Acest capitol subliniază importanța reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră pentru a preveni depășirile de astfel de praguri, precum și pentru a anticipa depășirea de puncte critice în viitor prin dezvoltarea de metode de avertizare timpurie.

Schimbările climatice sunt cauzate de emisiile de gaze cu efect de seră, cum ar fi CO₂, eliberate în atmosferă de la începutul revoluției industriale și până acum. În ultimele decenii, concentrațiile acestora (a tuturor gazelor cu efect de seră) în atmosferă au atins niveluri nemaîntâlnite în ultimii 800.000 de ani. Consecințele includ încălzirea globală, schimbări în structurile de precipitații, intensificarea fenomenelor extreme și topirea calotelor glaciare. Deși reducerea emisiilor ar putea inversa parțial aceste efecte, o revenire completă la condițiile climatice anterioare este improbabilă din cauza existenței unor **puncte critice**, care fac procesul ireversibil.

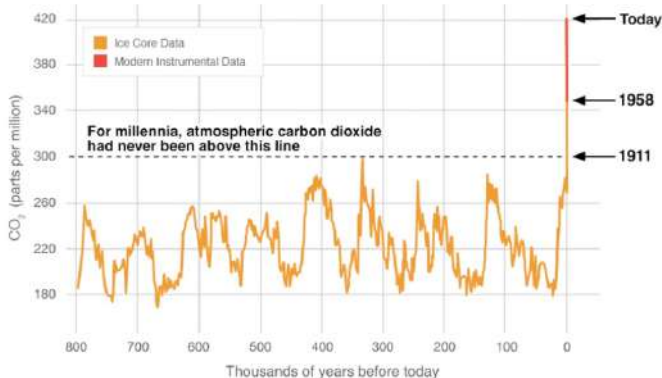


Figura 1. Evoluția concentrației de CO₂ (în părți per milion - ppm) din atmosferă în ultimii 800.000 ani, derivate din sondaje în calota glaciară din Antarctica. Maximele și minimele marchează ciclurile glaciare. Pe parcursul acestor cicluri, concentrația de CO₂ nu a depășit 300 ppm. Creșterea din ultimii 60 ani este de 100 de ori mai mare decât creșterile precedente, naturale. (Lüthi, et al., 2008). Disponibil la NOAA: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=121>

Punctele critice sunt valori de prag ale unor sisteme, care atunci când sunt depășite, pot declanșa transformări semnificative care se autoperpetuează, cu impact la scară largă, regional sau chiar global, (McKay et al. 2022; Milkoreit et al. 2022). Astfel de procese pot fi rapide și ireversibile, adică transformarea declanșată prin depășirea unui punct critic nu poate fi inversată. Depășirile de puncte critice pot avea consecințe severe de natură climatică, ecologică, socială și economică.

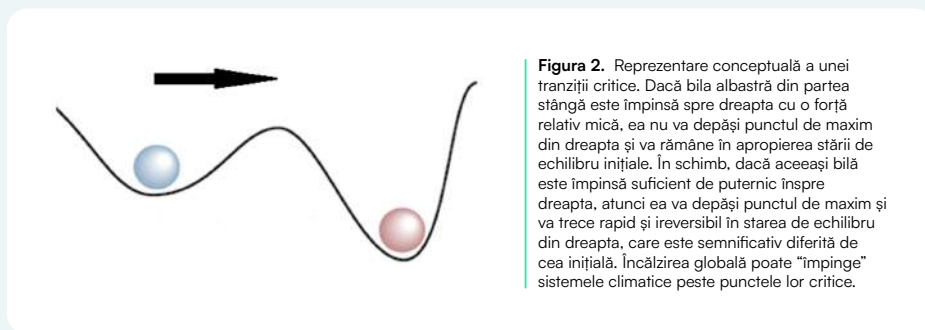


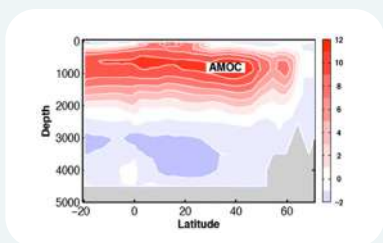
Figura 2. Reprezentare conceptuală a unei tranziții critice. Dacă bila albastră din partea stângă este împinsă spre dreapta cu o forță relativ mică, ea nu va depăși punctul de maxim din dreapta și va rămâne în apropierea stării de echilibru inițiale. În schimb, dacă aceeași bilă este împinsă suficient de puternic înspre dreapta, atunci ea va depăși punctul de maxim și va trece rapid și ireversibil în starea de echilibru din dreapta, care este semnificativ diferită de cea inițială. Încălzirea globală poate "împinge" sistemele climatice peste punctele lor critice.

Componente critice ale sistemului climatic global

Părțile din sistemul climatic al Pământului care prezintă astfel de puncte de prag, care odată depășite produc transformări semnificative, sunt denumite și componente critice. Astfel de componente critice sunt:



Pădurea amazoniană. Cumulat, defrișările necontrolate și schimbările climatice pot împinge Amazonia peste un prag critic, dincolo de care jungla se va transforma într-o savană, un ecosistem complet diferit care nu va putea să absoarbă aceleași cantități de dioxid de carbon, ceea ce ar contribui la accelerarea încălzirii globale.



Circulația Meridională din Atlantic (Atlantic Meridional Overturning Circulation - AMOC). Această circulație oceanică redistribuie căldura și CO₂, pe orizontală, la suprafața oceanului, precum și pe verticală, între nivelurile acestuia. Dacă încălzirea globală slăbește această circulație, astfel încât intensitatea ei scade sub un anumit prag, circulația oceanică AMOC se poate opri în mod ireversibil, ceea ce ar avea un impact global eterogen semnificativ.



Calota glaciară din Groenlanda. O topire semnificativă a acesteia sub acțiunea încălzirii globale poate conduce la creșterea nivelului oceanului planetar. La rândul său, creșterea oceanelor accelerează topirea calotei glaciare, generându-se astfel o reacție în lanț, care poate fi ireversibilă.



Partea de vest a calotei glaciere din Antarctica. O parte din baza acesteia se află în apa oceanului, a cărei încălzire poate reprezenta un factor destabilizator pentru această parte a calotei glaciere Antarctice.

Importanța punctelor critice în studiul climei derivă din caracteristicile și impactul proceselor declanșate prin depășirea lor. De exemplu, depășirea unui punct critic al calotei glaciare din Groenlanda poate genera o creștere semnificativă a nivelului oceanului planetar, cu consecințe globale. O astfel de creștere poate deteriora infrastructura și disloca milioane de oameni, poate afecta furnizarea de apă și agricultura, conducând la insecuritate alimentară și conflicte.

Din păcate, în cazul modificărilor climatice care se manifestă în intervale de timp relativ scurt (de exemplu, în câțiva ani) societatea nu are timp suficient să se adapteze și de aceea consecințele negative pot fi semnificative.

Depășirea acestor puncte critice poate duce la transformări ireversibile, cu consecințe importante pentru societate. Transformarea declanșată de depășirea punctelor critice poate iniția și alte procese, care amplifică fluctuația inițială. De exemplu, încetinirea circulației oceanice meridionale din Atlantic pot micșora cantitățile de căldură și de CO₂ stocate în ocean, ceea ce ar contribui la accelerarea încălzirii globale (Chen and Tung 2018). Cele mai multe componente critice sunt interconectate, astfel încât depășirea punctului critic al uneia dintre acestea poate conduce la depășiri de praguri ale mai multor astfel de sisteme (Cai et al. 2016). De exemplu, topirea calotei glaciare din Groenlanda poate împinge circulația oceanică din Atlantic peste pragul ei critic, aceasta afectând apoi pădurea Amazoniană și calota glaciară din Antarctica.

Impactul social al componentelor critice

Componentele critice climatice sunt părți din sistemul natural al Pământului, iar acestea pot fi influențate de activitatea umană, prin încălzirea globală. Societatea umană include sisteme sociale cu dinamică complexă, alcătuite din organizații și rețele strâns interconectate. Unele dintre acestea au și caracteristici de prag și de aceea sunt numite componente sociale critice (Winkelmann et al. 2020). Spre deosebire de cele climatice, componentele sociale de acest tip pot avea două tipuri de puncte critice: negative și pozitive.

Puncte critice sociale negative

Sunt acele puncte prin a căror depășire sunt generate consecințe dăunătoare pentru societatea umană (Gupta et al., 2023; 2023; Rockström et al., 2023; Raworth, 2017). Depășiri de astfel de valori de prag pot conduce la crize financiare, la migrații între așezări umane, la conflicte în sistemul politic, sau la polarizare în sistemul social (Lenton et al. 2023). Declanșarea de procese care se autoperpetuează se poate manifesta și la nivel regional sau local. De exemplu, un val de căldură ar putea conduce la colapsul unui sistem medical.

Puncte critice sociale pozitive

Sunt valori de prag care, atunci când sunt depășite, produc efecte care sunt preponderent benefice pentru societatea umană. De exemplu, piața autovehiculelor electrice poate atinge un punct critic pozitiv dacă infrastructura aferentă este suficient de bună și dacă prețul acestora este accesibil pentru o mare parte a populației. Dacă este atins un punct critic, utilizarea acestui tip de autovehicule se extinde cu viteză mare și devine preponderantă într-un interval relativ scurt de timp, ceea ce va duce la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și la limitarea încălzirii globale. Punctele sociale critice pozitive deschid posibilitatea de a genera impact disproporționat de mare și benefic pentru societatea umană, prin intervenții strategice coordonate.

În sinteză, punctele climatice critice reprezintă valori de prag ale unor sisteme naturale care, atunci când sunt depășite, declanșează transformări care se autoperpetuează. Aceste transformări pot fi rapide și ireversibile, cu impact la scară globală asupra societății umane. Acestea pot fi amplificate prin depășirea

de puncte critice sociale. Anticiparea depășirii punctelor critice este esențială pentru eficiența strategiilor de atenuare a impactului schimbărilor climatice și de adaptare la acestea.

Cât de aproape suntem de atingerea pragurilor critice?

Pentru globul terestru au fost identificate 25 de puncte critice, pe bază de date climatice, și de simulări numerice. În afara acestor componente climatice critice cu impact la scară globală, pot exista și sisteme cu dinamică de același tip, însă cu extindere și impact regionale.

Estimările recente indică faptul că punctele critice climatice încep să fie depășite când creșterea temperaturii medii globale față de perioada preindustrială atinge pragul de 1.5oC (McKay et al. 2022). În anul 2023 s-au înregistrat valori apropiate de acest prag (McCulloch et al. 2023).

În acest context, unele dintre componentele climatice critice care au fost inițial caracterizate ca fiind cu impact mare și probabilitate mică de depășire a pragurilor asociate, sunt acum considerate ca având impact semnificativ și probabilitate mare de depășire a pragurilor critice. Astfel, depășirea de praguri climatice reprezintă o amenințare fără precedent pentru umanitate, care necesită acțiuni urgente.

În ultimii ani au fost dezvoltate metode de analiză a datelor prin care poate fi detectată apropierea unor sisteme de puncte critice. Acestea sunt bazate pe determinarea unor mărimi statistice numite Semnale de Atenționare Timpurie - Early Warning Signals (EWS) (Dakos et al. 2008). Astfel de metode au indicat că pădurea Amazoniană (Boulton et al. 2022), calota glaciară din Groenlanda (Boers and Rypdal 2021) și circulația meridională din Atlantic (Boers 2021) se îndreaptă spre puncte critice.

Putem contribui la reducerea riscului de depășire a acestor praguri critice prin limitarea cauzelor de natură antropică (de exemplu, prin limitarea emisiilor de gaze cu efect de seră) ale schimbărilor climatice.

Având în vedere că mai multe componente climatice critice evoluează înspre valorile lor de prag, probabil cea mai realistă opțiunea de a accelera schimbarea și adaptarea societății umane implică depășirea punctelor sociale critice pozitive. Adesea, atingerea și depășirea acestora necesită intervenții, inovații tehnologice, acțiuni politice, investiții, prin care se activează reacții în lanț (feedback-uri) care declanșează transformări care se autoperpetuează și conduc la adaptarea societății. De exemplu, piața vehiculelor electrice ar putea să se îndreaptă spre un punct critic social pozitiv în Europa.

Impactul componentelor critice

Componenta critică în legătură cu care au fost realizate cele mai multe studii este circulația meridională din Atlantic. Pentru aceasta, cercetători preconizează o slăbire graduală pe parcursul acestui secol, cu impact cvasi-global, care include o răcire a sectorului Euro-Atlantic și o modificare semnificativă a distribuției de precipitații din zona ecuatorială (Liu et al. 2017).

Conform simulărilor, pentru teritoriul României, slăbirea acestei circulații oceanice va duce la scăderea cantității de precipitații în timpul iernii și a numărului de zile cu zăpadă (Jackson et al. 2015). Tot pentru țara noastră, slăbirea intensității acestei componente critice va genera o scădere moderată a debitelor râurilor, atât iarna cât și vara, precum și o accentuare a condițiilor de secetă (Ioniță et al. 2022).

Temperaturile pe timpul verii din România sunt pozitiv corelate cu oscilația multidecenală din Atlantic (Atlantic Multidecadal Oscillation - AMO), un mod de variabilitate a circulației meridionale din Atlantic (Dima and Lohmann. 2010; Ioniță et al. 2013).

De asemenea, simulările realizate cu modele climatice arată că o slăbire a acestei circulații oceanice va reduce Productivitatea Primară Netă (cantitatea de dioxid de carbon transformată de ecosisteme în materie organică prin fotosinteză, excluzând cantitatea din acest gaz eliberată de acestea) pe teritoriul

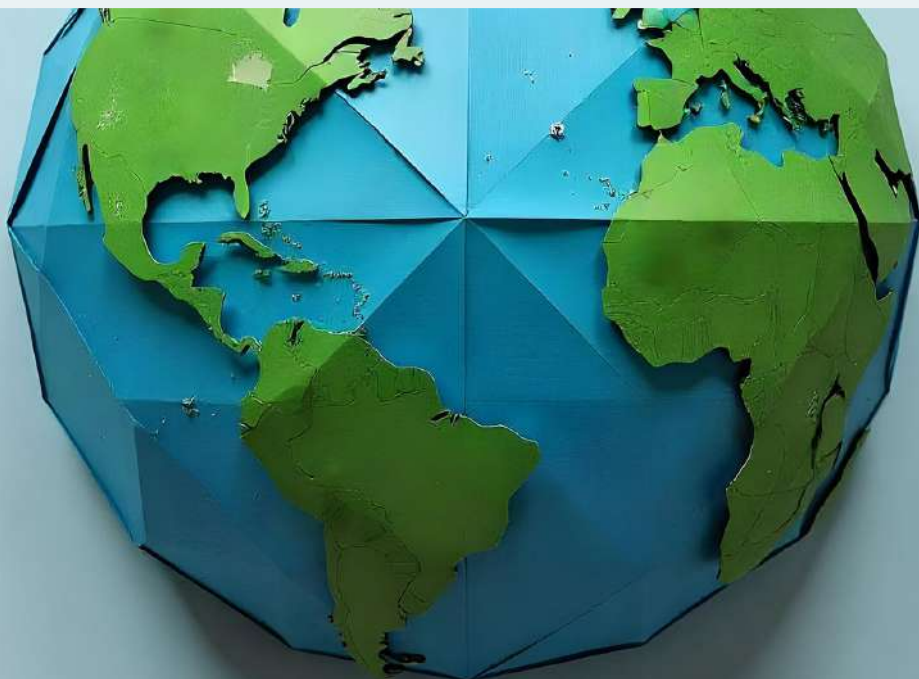
României, în toate anotimpurile. O scădere a productivității primare nete este asociată cu o scădere a biodiversității, a producției agricole și a producției de material lemnos. De asemenea, o astfel de reducere poate afecta negativ industria piscicolă. Astfel, slăbirea circulației meridionale din Atlantic poate afecta securitatea alimentară.

La nivel național și global, destabilizarea climatică poate intensifica polarizarea societății și pune în pericol coeziunea socială. Depășirea unor puncte critice sociale negative implică trecerea sistemului social într-o altă stare, probabil caracterizată de un grad mai mare de ostilitate și autoritarism (Lenton et al. 2023).

Concluzii

Furtunile convective severe, cele care produc tornadele, grindina de mari dimensiuni, vânturile intense și precipitațiile extreme, au un impact semnificativ asupra infrastructurii, agriculturii și comunităților. Studiile indică o creștere a frecvenței și intensității acestor fenomene în viitor, în special în contextul scenariilor climatice cu emisii ridicate de gaze cu efect de seră. Vulnerabilitatea față de aceste fenomene va fi mai ridicată în anumite regiuni din România, cum ar fi nord-estul țării.

Pe termen lung, schimbările climatice vor continua să amplifice riscurile asociate furtunilor convective severe din România, ceea ce va necesita soluții de adaptare și investiții semnificative în infrastructura de monitorizare și avertizare timpurie. Impactul social și economic al acestor furtuni va fi din ce în ce mai mare, și România va avea nevoie de politici integrate de reducere a riscurilor și de educare a publicului. În absența unor măsuri adecvate de adaptare și reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, România se va confrunta cu o creștere semnificativă a frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme, cu consecințe semnificative asupra mediului, economiei și societății.



Politice climatice în România: O privire de ansamblu pentru anul 2024

Dr. Mihnea Cătuți



Sumar

România și-a manifestat clar preocuparea și angajamentul politic privind schimbările climatice globale prin ratificarea Convenției-cadru a Organizației Națiunilor Unite privind schimbările climatice (UNFCCC) încă din 1994 și Protocolul de la Kyoto la UNFCCC în 2001. Cu toate acestea, acțiunea climatică în România avea să accelereze odată cu aderarea la Uniunea Europeană, care la momentul extinderii către statele fost comuniste în 2004 și 2007 era în plin proces de definire a unor obiective de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) și de adoptare a mai multor directive și regulamente pentru stabilirea mecanismelor prin care aceste vor fi atinse. În ciuda lacunelor încă existente, politicile climatice în România au avut un progres semnificativ în ultimii ani, în special prin transpunerea și implementarea legislației europene adoptate ca parte a Pactului Ecologic European. Principalul obiectiv al UE este atingerea neutralității climatice până în 2050, iar toate statele membre trebuie să adopte măsurile necesare. Deși a înregistrat unele progrese notabile, guvernarea politicilor climatice în România rămâne deficitară și ar trebui întărită prin mecanisme și aranjamente instituționale dedicate.

Emisiile de gaze cu efect de seră - sectoare și evoluție

România a înregistrat progrese însemnate privind reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră comparativ cu 1990. Conform datelor prezentate în Strategia pe termen Lung (STL) a României pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, nivelul emisiilor din 2019 era cu 70% mai redus comparativ cu nivelul anului 1990. Acest lucru se datorează însă în principal reducerii activității industriale ca urmare a tranziției de la o economie centralizată la una de piață. O parte însemnată a industriei prelucrătoare s-a închis la scurt timp după căderea regimului comunist, dovedindu-se necompetitivă și pe măsură ce ajutoarele de stat au fost reduse treptat. Acest lucru a dus de asemenea la retragerea mai multor capacități de producție a energiei electrice care deserveau industria energo-intensivă.

Aflată sub incidența unui preț european al carbonului, sectorul producției de energie electrică a înregistrat reduceri notabile în ultimii ani. Creșterea capacităților de energie regenerabilă simultan cu adoptarea unui calendar de reducere treptată a lignitului va duce la o decarbonizare progresivă a sectorului. Între timp, cu excepția unor măsuri de creștere a eficienței energetice, industria energo-intensivă nu a demarat o transformare profundă, necesară pentru înscrierea acesteia pe o traiectorie către neutralitate climatică.

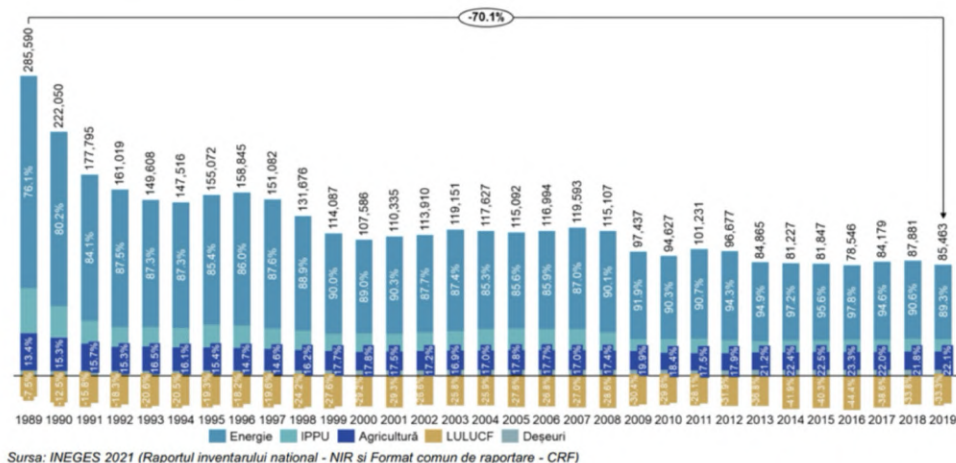


Figura 1. Evoluția emisiilor și absorbțiilor agregate de GES (emisii nete) per sector (în kt CO₂-eq), 1989-2019.

Un efect similar s-a înregistrat în agricultură, odată cu închiderea cooperativelor agricole de producție și retrocedarea terenurilor. În schimb, emisiile aferente sectoarelor încălzirii și răcirii clădirilor (+9%), precum și cel al transporturilor (+40%) sau managementul deșeurilor (+19%) au înregistrat creșteri progresive ale emisiilor pe măsură ce restricțiile cu privire la consumul energetic al acestor sectoare impuse de sistemul comunist au fost eliminate și nivelul de trai a crescut, în special după anul 2000 (Figura 1). Aceste tendințe evidențiază dificultatea și particularitatea României și altor state est-europene în reducerea emisiilor aferente acestor sectoare, spre deosebire de statele vest-europene aflate în plin proces de decarbonizare, în special în sectoarele clădirilor și transporturilor.

Conform LTS, în 2019, aproximativ 68% din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră au fost emisii de CO₂, urmate de CH₄ cu 20% și N₂O cu aproximativ 10%. Restul de gaze cu efect de seră (GES) precum HFC, PFC, SF₆ au contribuit cu aproximativ 2% la totalul emisiilor (Figura 2).

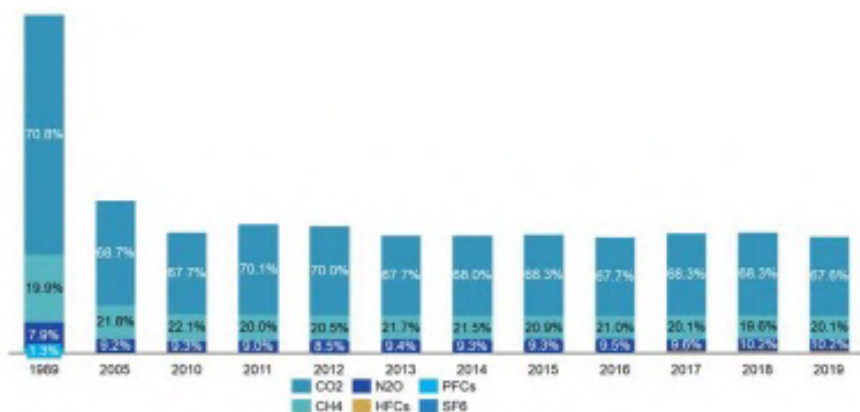


Figura 2. Emisii de GES per tip de gaze (cota procentuală din total). Sursa: INEGES 2021 (Raportul inventarului național - NIR și Format comun de raportare - CRF).

Implementarea politicilor de decarbonizare ale UE în România

Politici Europene

Pactul Ecologic European (European Green Deal), lansat în 2019, are ca unul dintre obiectivele centrale atingerea neutralității climatice în Uniunea Europeană până în anul 2050 — ceea ce înseamnă reducerea dramatică a emisiilor de gaze cu efect de seră în toate activitățile economice și eliminarea emisiilor reziduale prin măsuri de captare a carbonului (e.g., împăduriri sau tehnologii de tip carbon capture and storage). Ținta de net-zero a devenit obligatorie prin Legea Europeană a Climei⁵, adoptată în anul 2021, care a introdus și obiectivul de decarbonizare pe termen scurt (2030): reducerea emisiilor de GES pentru UE la un nivel de 55% în comparație cu emisiile anului 1990. În februarie 2024, Comisia Europeană a recomandat⁶ statelor membre asumarea unei ținte de reducere a emisiilor pentru 2040 de 90% față de nivelul anului 1990. Noua Comisie Europeană va înainta în acest sens o propunere legislativă de adoptare a acestei ținte, însoțită de cadrul necesar de politici publice.

Politicile climatice ale României sunt și azi în principal determinate de legislația europeană din domeniu, astfel:

Regulamentul privind Guvernanța Uniunii Energetice

- Stabilește coordonarea obiectivelor strategiei privind uniunea energetică, formată din cinci dimensiuni: decarbonizare, eficiență energetică, securitate energetică, piața internă a energiei și cercetare, inovare și competitivitate.
- Impune statelor membre să elaboreze planuri naționale integrate privind energia și clima pentru perioada 2021-2030 și, ulterior, la fiecare 10 ani. De asemenea, statele membre trebuie să pregătească și să raporteze Comisiei Europene strategii de reducere a emisiilor pe termen lung cu o perspectivă de 30 de ani. Planurile trebuie revizuite periodic și monitorizate prin rapoarte bienale privind progresele înregistrate în ceea ce privește punerea în aplicare.
- Planurile impuse de acest regulament au devenit principalele instrumente prin care România își dezvoltă strategia de atenuare a schimbărilor climatice.

Legea Europeană a Climei

- Stabilește prin lege obiectivul de atingere a neutralității climatice în Uniunea Europeană și o țintă intermediară de reducere netă a emisiilor cu 55% până în 2030 comparativ cu 1990. Regulamentul mai impune și un obiectiv de creștere a capacității de absorbție a emisiilor de carbon în sectoarele acoperite de LULUCF și de atingere a emisiilor net-negative după 2050.
- Înființează un Organism European Științific pentru Schimbările climatice care furnizează analiză și sfaturi bazate pe dovezi științifice și întărește prevederile cu privire la adaptarea la schimbările climatice.
- Deși țintele stabilite prin lege sunt la nivel European, ele ghidează revizuirea legislației europene relevante și, implicit, afectează traiectoria de decarbonizare a României care trebuie să contribuie la atingerea obiectivelor europene comune.

5 Regulament EU 2021/1119 din 30 iunie 2021 de instituire a cadrului pentru realizarea neutralității climatice (Legea europeană a climei”), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119>

6 Recomandarea s-a bazat pe o analiză de impact și pe opinia științifică a Consiliului Științific Consultativ European privind Schimbările Climatice.

Sistemul UE de comercializare a certificatelor de emisii

- Sistemul UE de comercializare a certificatelor de emisii este principala politică de reducere a emisiilor de GES și reprezintă cea mai mare piață a carbonului la nivel mondial. Emițătorii activi în sectorul producției de energie, cel industrial și aviația internă trebuie să obțină certificate de emisii echivalente nivelului lor de emisii de dioxid de carbon. Majoritatea acestor certificate se comercializează prin licitații publice sau prin tranzacții bilaterale între companii. Prin controlarea lichidității pieței de certificate, decidenții pot impune un calendar de reducere treptată a emisiilor prin stabilirea numărului de certificate eliberate anual, ritmul în care cantitatea de certificate noi este redusă și momentul în care nu mai sunt introduse certificate noi în sistem. În ultimele două decenii sistemul a fost constant revizuit și adaptat pentru a-i crește eficacitatea și pentru a-l transforma într-un mecanism credibil pentru guverne și companii.
- Pentru a face față calendarului de decarbonizare, România împreună cu alte state central și est-europene beneficiază în mod extraordinar de alocări suplimentare (clauza de solidaritate) și prin rezervarea unei cantități de certificate din valoarea cărora este finanțat Fondul de Modernizare. Din cele două mecanisme România va beneficia de aproximativ 21 de miliarde de euro până în 2030 (la un preț de €90/tonă), la care se adaugă alți 5,4 miliarde din veniturile provenite din licitațiile de certificate, pe care România le cheltuie momentan prin Administrația Fondului pentru Mediu (AFM).
- Prin ultima revizuire a Directivei ETS, calendarul de reducere de emisii în sectoarele acoperite de sistem a fost accelerat pentru a atinge 61% până în 2030 (care include și extinderea sistemului pentru a acoperi transportul maritim) și a fost stabilit că din 2039 lichiditatea din piața primară de certificate va ajunge la zero. Simultan, vor fi eliminate treptat alocările gratuite de care beneficiau industriile considerate cu risc de „carbon leakage” până în 2034. Asta înseamnă că producătorii de oțel, ciment, chimicale, aluminiu, etc. vor trebui să suporte prețul complet al emisiilor lor, cu scopul de a îi determina să își decarbonizeze producția înainte de 2040.
- Pentru a proteja producătorii europeni de importatorii care nu trebuie să plătească un cost similar al carbonului în țara de origine, a fost introdus în paralel și un mecanism de ajustare a costului carbonului la frontieră (CBAM). Acesta îi obligă pe importatori să plătească pentru emisiile încastate ale produselor lor la un nivel similar cu prețul EU ETS.
- Ultima revizuire introduce de asemenea un sistem de comercializare al certificatelor paralel pentru clădiri, transporturi și industria care nu este acoperită de sistemul ETS existent. Acesta va fi lansat începând cu 2026 și va fi implementat prin furnizorii de combustibili fosili care vor trebui să achiziționeze certificate de emisii. Astfel, semnalul de preț va fi extins și către consumatorul casnic.
- Revizuirea ETS nu a fost încă transpusă în legislația națională, iar Comisia Europeană a lansat primii pași pentru procedura de infringement

Planul Social pentru Climă

- Pentru a mitiga impactul introducerii unui nou sistem ETS pentru clădiri și transportul rutier asupra gospodăriilor și microîntreprinderilor vulnerabile și a se asigura că tranziția climatică va fi echitabilă și inclusivă, UE a creat Fondul social pentru climă (FSC). Pentru accesarea fondurilor aferente acestuia, România trebuie să elaboreze un Plan Social pentru Climă care să ofere estimări cu privire la impactul stabilirii prețului carbonului asupra gospodăriilor vulnerabile, a microîntreprinderilor vulnerabile și a utilizatorilor de transport vulnerabili, astfel încât să asigure încălzirea, răcirea și mobilitatea la prețuri accesibile.
- Aflat în coordonarea Ministerului Investițiilor și Proiectelor Europene, planul trebuie adoptat până în iunie 2025. Acesta poate include măsuri cum ar fi renovarea clădirilor, investiții în electrificarea încălzirii, integrarea generării și stocării energiei din surse regenerabile, informare și acțiuni de creșterea conștientizării publice, sporirea accesului la vehicule cu emisii scăzute, și infrastructură pentru mobilitatea durabilă. Pe termen scurt, planurile pot include sprijin direct pentru venit gospodăriilor vulnerabile și utilizatorilor de transport vulnerabili, pentru a reduce impactul creșterii prețurilor combustibililor pentru transportul rutier și pentru încălzire.

- Elaborarea acestui plan reprezintă o șansă unică pentru România pentru a identifica potențialul efect regresiv al unor politici climatice și adresarea acestora. Astfel, pot fi adoptate nu doar măsuri bine ținute pentru reducerea emisiilor ci și creșterea acceptabilității cetățenilor pentru politicile climatice.

Regulamentul privind partajarea eforturilor (ESR)

- Regulamentul acoperă principalele surse de emisii care nu sunt acoperite de ETS, în special cele aferente transporturilor, clădirilor, agriculturii, deșeurilor și industriei de mici dimensiuni. Astfel, acesta acoperă aproximativ 60% din emisiile europene. Reducerile de emisii trebuie atinse prin ținte naționale care iau în considerare capacitatea diferită a statelor membre de a implementa măsuri costisitoare în aceste sectoare. Astfel, prin aplicarea unor criterii economice, României i-a fost stabilită o țintă semnificativ mai redusă comparativ cu alte state Europene.
- Contribuția României pentru atingerea țintei precedente de -30% emisii până în 2030 comparativ cu 2005 a fost de doar 2%. Acest lucru i-ar fi permis României chiar să își crească emisiile comparativ cu nivelul anului 2000, riscând să decupleze traiectoria emisiilor din aceste sectoare de trendurile europene. Prin revizuirea țintei colective europene la -40% până în 2030, noul obiectiv al României de reducere a emisiilor este de -12,7%, comparativ cu -50% pentru Suedia și Finlanda.

Regulamentul privind exploatarea terenurilor, schimbarea destinației terenurilor și silvicultura (LULUCF)

- Vizează amprenta de carbon a activităților legate de schimbarea destinației, exploatarea și gestionarea terenurilor și pădurilor. Regulamentul guvernează principala sursă de absorbție de carbon, datorită faptului că sectoarele vizate absorb mai mult carbon decât eliberează. Acest fenomen este esențial pentru atingerea neutralității climatice prin compensarea emisiilor care nu vor putea fi eliminate complet din sectoarele acoperite de ETS și ESR.
- Prin revizuirea regulamentului, UE țintește nu doar să conserve capacitatea de absorbție existentă, așa cum era obiectivul până acum, ci chiar să crească absorbțiile necesare din aceste sectoare.

România nu a adoptat încă o lege națională a climei, deși la data scrierii acestui articol o propunere de lege se află în procesul legislativ din Parlamentul României. Deși nu este obligatorie conform legislației europene, o lege cadru a climei ar putea îmbunătăți guvernanta climatică la nivel național prin impunerea unui proces de planificare mai riguros, a unei mai bune consultări a comunității științifice și a cetățenilor, precum și prin creșterea predictibilității pentru mediul de afaceri. Inițiativa⁷ legislativă pentru o lege cadru a climei în România care să integreze planificarea sectorială și legiferarea la nivel național a obiectivelor de reducere de emisii a fost modificată și reintrodusă în procesul legislativ, acoperind în prezent doar înființarea unui Consiliu Științific privind Schimbările Climatice.

Cu toate acestea, ca și celelalte state membre ale Uniunii Europene, România a elaborat și aprobat o Strategie pe Termen Lung pentru Reducerea Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră (STL, 2023), prin care sunt prezentate măsurile pentru atingerea angajamentelor de reducere a emisiilor conform cu Acordul de la Paris și cu obiectivul european de neutralitate climatică până la mijlocul secolului. Astfel, prin STL, România și-a asumat, în scenariul cel mai ambițios de decarbonizare (RO Neutră), o reducere a emisiilor nete de GES cu 78% în 2030 față de nivelul din anul 1990 — și o reducere de 67%, fără a lua în calcul emisiile absorbite în atmosferă prin măsuri de LULUCF⁸.

7 EPG (2023). Argumente pentru o lege a Climei în România
<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2023/12/Argumente-pentru-o-lege-a-climei-in-Romania.pdf>

8 Land Use and Land Use Change. Măsurile de reducere a emisiilor de GES prin LULUCF cu cel mai mare impact sunt reducerea defrișărilor de pădure, sechestrarea carbonului în agricultură și restaurarea ecosistemelor prin împăduriri și reîmpăduriri.

Remarcabil însă, cea de-a doua versiune preliminară a Planului Național Energie-Schimbări Climatice (PNIESC), pusă în consultare publică de către Ministerul Energiei în septembrie 2024 (PNIESC, 2024), indică un nivel mai ridicat de ambiție privind țintele de reducere a emisiilor de GES decât STL (2023) și anume 85% pentru emisiile nete de GES până în 2030 față de emisiile anului 1990 (Figura 3). Totodată, PNIESC relevă o țintă de reducere a emisiilor cu 96% în 2040 și cu 105%⁹ în 2050 față de emisiile de GES din 1990.

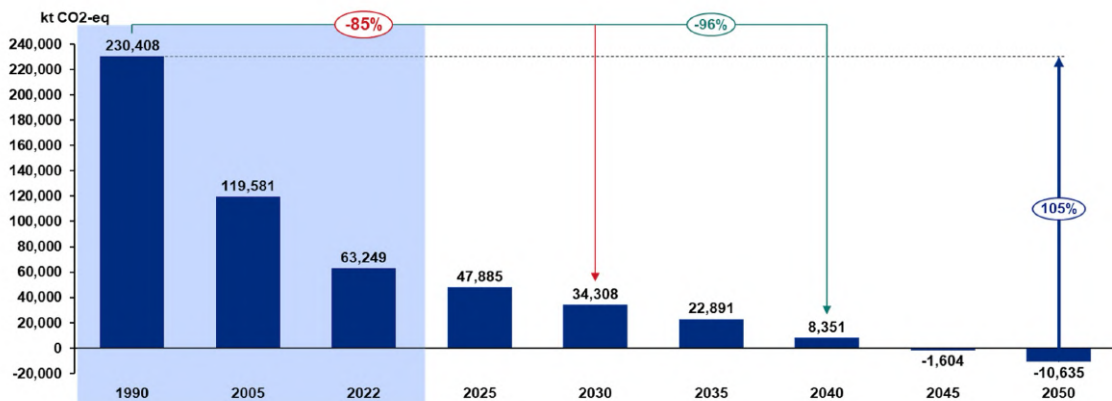


Figura 3. Țintele și traiectoria estimată privind reducerea emisiilor nete de GES. Sursa: PNIESC (2024, 63)

Pe lângă Strategia pe Termen Lung (LTS) și Planului Național Energie-Schimbări Climatice (PNIESC), România a adoptat de asemenea o serie de alte documente strategice pentru a ghida procesul de tranziție, printre care:

- Strategia națională privind economia circulară,
- Strategia națională de dezvoltare durabilă,
- Strategia națională de renovare pe termen lung,
- Legea privind decarbonizarea sectorului energetic,
- Legea privind eficiența energetică,
- Legea privind promovarea producției de energie din surse regenerabile,
- Legea privind performanța energetică a clădirilor.

Nivelul de coordonare în vederea implementării acestor politici s-a îmbunătățit prin crearea în 2022 a Comitetului Interministerial privind schimbările climatice (CISC), care funcționează la Centrul Guvernului și stabilește prioritățile anuale în materie de schimbări climatice și tranziție energetică.

Adoptarea Strategiei de adaptare la schimbările climatice pentru 2022-2030 reprezintă de asemenea un progres notabil¹⁰, atât prin măsurile propuse dar mai ales prin evidențierea modului prin care

⁹ Reducerea cu 105% include și un procent de emisii negative, adică de absorbție a gazelor cu efect de seră prin tehnologii de captare și sisteme naturale. Astfel, Figura 2 indică emisii negative de -10,6 milioane de tone CO₂eq în 2050.

¹⁰ Vezi <https://www.mmediu.ro/categorie/strategia-nationala-privind-adaptarea-la-schimbările-climatice-pentru-perioada-2022-2030/419>

variabilitatea climei, în mod deosebit prin frecvența și intensitatea fenomenelor meteorologice extreme, precum și schimbările climatice, reprezintă provocări fundamentale cu care se confruntă România. Documentul propune mai multe acțiuni în sectoare cheie, cum ar fi agricultura, unde ar fi necesară o diversificare și adaptare a soiurilor în funcție de noile condiții climatice. Strategia mai subliniază că în ceea ce privește domeniul transporturilor, vorbim inclusiv de o infrastructură adaptată la noile realități climatice. Diferite materiale care sunt folosite, de exemplu, în infrastructură rutieră, care să reziste la temperaturi mai înalte pe timpul verii. Cu privire la sectorul clădirilor rezidențiale, devin din ce în ce mai esențiale măsuri pentru sporirea confortului termic prin izolare și ventilație.

Cu toate acestea, procesul de elaborare a politicilor climatice rămâne unul reactiv, adesea în trena obiectivelor europene. În plus, procesul de implementare poate fi considerat lacunar, iar autoritățile publice nu dispun de resursele necesare pentru elaborarea viziunii strategice și monitorizarea progresului. Cu excepția instituțiilor responsabile pentru elaborarea documentelor strategice impuse de legislația europeană, cum ar fi Planului Național Integrat pentru Energie și Climă, Strategia de Renovare pe Termen Lung și Strategia pe termen Lung a României pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, în sectoare cum ar fi cel al transporturilor, industrial, agricol sau al gestionării deșeurilor încă nu dispun de un planuri clare de reducere a emisiilor.

Politici Naționale

Așadar, României îi lipsește în continuare o viziune națională integrată și coerentă privind reducerea emisiilor de GES în întreaga economie. Inițiative cum ar fi raportul lansat de Administrația Prezidențială „Limitarea schimbărilor climatice și a impactului lor: o abordare integrată pentru România”¹¹ oferă o imagine de ansamblu al nevoilor naționale de gestionare a schimbărilor climatice, conținând și soluții echilibrate în acest sens, însă acesta nu poate suplini rolul documentelor programatice adoptate prin hotărâri de guvern împreună cu planuri de acțiune stabilite la nivel executiv.

Pe lângă conformarea cu obiectivele europene, revizuirea cadrului de politici climatice din România va fi influențată în perioada următoare și de procesul de aderare la Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică (OCDE). În recomandările formulate ca parte a acestui proces¹², României îi sunt recunoscute meritele pentru reducerea impresionantă în anii 90. Însă, deoarece acestea au încetinit în ultimii ani, sunt necesare acțiuni suplimentare pentru reducerea progresivă a consumului de combustibili fosili, reducerea consumului de energie, electrificarea transporturilor și a clădirilor.

României îi este recomandat să își îmbunătățească structura de guvernanță climatică și să legislaze o țintă de reducere, preferabil printr-o lege a climei care ar putea înființa și un consiliu științific consultativ. România ar mai trebui de asemenea să reducă subvențiile directe și indirecte pentru consumul de combustibili fosili prin adoptarea unui plan de reducere graduală a subvențiilor, mai ales că nu sunt ținute bine către consumatorii vulnerabili, să regândească anumite scheme de sprijin pentru tranziție, să elimine barierele pentru renovare și rezolvarea sistemelor centralizate și să conserve capacitatea de absorbție de carbon a pădurilor. Nu în ultimul rând, România ar trebui să înregistreze progrese în înțelegerea impactului socio-economic al politicilor climatice și să își dezvolte reziliență față de impactul temperaturilor ridicate și a fenomenelor meteorologice extreme, având în vedere schimbările deja notabile ale climei la nivel național.

33

11 Raportul „Limitarea schimbărilor climatice și a impactului lor: o abordare integrată pentru România” elaborat de Administrația Prezidențială cu suportul unui colectiv de experți români transmite un mesaj clar la nivel înalt despre angajamentul Președintelui României de a se implica în efortul național de combatere a schimbărilor climatice și de consolidare a politicilor aplicabile acestui demers. Documentul conține maparea provocărilor cheie cu care se confruntă România pe termen scurt, mediu și lung în limitarea schimbărilor climatice, precum și o serie de măsuri menite să răspundă acestora. Vezi Administrația Prezidențială (2022). Limitarea schimbărilor climatice și a impactului lor: o abordare integrată pentru România <https://www.presidency.ro/ro/presa/clima-si-sustenabilitate/raportul-limitarea-schimbabilor-climatice-si-a-impactului-lor-o-abordare-integrata-pentru-ro-mania>

12 OECD Economic Surveys: Romania 2024 OECD Economic Surveys: Romania 2024 | READ online (oecd-ilibrary.org)

O privire spre viitor - cum pot fi îmbunătățite politicile climatice în România

Ca parte a eforturilor de aliniere cu obiectivele europene de decarbonizare, dar și a dezideratului de aderare la OECD, România va trebui să transpună și să implementeze mai multe politici relevante în următorii ani. Transpunerea și implementarea ETS 2 constituite unul dintre cei mai importanți pași. Extinderea aplicabilității unui preț al carbonului este esențială pentru decarbonizarea sectoarelor clădirilor și transporturilor. Un preț aplicat emisiilor de carbon poate de asemenea compensa subvențiile încă existente pentru combustibilii fosili și crea condițiile propice pentru electrificarea graduală a economiei. Această tranziție trebuie făcută însă cu înțelegerea posibilului impact socio-economic și prin elaborarea unor măsuri de atenuare, mai ales prin adoptarea Planului Social pentru Climă.

Pentru susținerea decarbonizării sectoarelor ETS, care se confruntă cu un calendar accelerat de creștere a prețului carbonului, sunt necesare scheme dedicate de sprijin și dezvoltarea infrastructurii pentru energie electrică, hidrogen și dioxid de carbon. Întărirea rețelelor de energie electrică este de asemenea esențială pentru a crește nivelul de electrificare al sectoarelor transporturilor și clădirilor și pentru a permite astfel reducerea treptată a consumului de combustibili fosili. România ar trebui de asemenea să adopte măsuri concrete pentru creșterea capacității de absorbție a pădurilor și a altor terenuri, multe aflate în degradare.

Buna coordonare a tuturor acestor măsuri necesită o îmbunătățire a cadrului de guvernanță a politicilor climatice în România. Adoptarea unei legi cadru a climei ar putea avea o contribuție decisivă pentru acest demers, prin stabilirea unor obiective clare și obligatorii de reducere a emisiilor pe termen scurt și lung la nivel național, introducerea unor instrumente de planificare la nivelul întregii economii și sectoriale, creșterea capacității de planificare strategică și modelare prin crearea unei structuri dedicate, clarificarea responsabilităților instituționale, înființarea unui organism consultativ științific independent, implementarea unui mecanism clar de monitorizare și verificare a progresului și, nu în ultimul rând, asigurarea unei implicări inclusive și transparente a tuturor părților interesate.

¹³ See EPG (2024). The Cost of Romania's Industrial Transition: An Assessment of the Steel, Cement, and Chemicals Sectors

<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2024/09/EPG-SLIDE-DECK-The-cost-of-Romanias-Industrial-Transition-18.09.pdf>

¹⁴ See EPG (2024). Bolstering the electricity grid: A priority to achieve Romania's 2030 decarbonisation objectives

<https://www.enpg.ro/bolstering-the-electricity-grid-a-priority-to-achieve-romania-2030-decarbonisation-objectives/>

¹⁵ See EPG (2024). Argumente pentru o lege a climei în România

<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2023/12/Argumente-pentru-o-lege-a-climei-in-Romania.pdf>

Emisiile de gaze cu efect de seră în sectorul energetic românesc. Perspective de decarbonizare.

Prof. Radu Dudău, EPG



Sumar

Capitolul discută despre emisiile de gaze cu efect de seră (GES) din sectorul energetic românesc și perspectivele de decarbonizare, cu focus pentru măsurile necesare tranziției către neutralitate climatică până în 2050. În 2019, sectorul energetic a produs 67% din emisiile totale de GES din România, iar politicile de decarbonizare au vizat în principal acest domeniu. Scăderile semnificative ale emisiilor din ultimele decenii au fost cauzate de restructurările industriale din anii 1990 și de creșterea ponderii energiei nucleare și, mai ales, regenerabile.

Uniunea Europeană, prin Pactul Ecologic European, și-a asumat ca economiile celor 27 de țări membre să reducă complet emisiile de GES până în 2050. România a preluat acest obiectiv prin Strategia pe Termen Lung, care prevede o reducere de 78% a emisiilor de GES până în 2030 față de nivelurile din 1990. Planul Național Integrat Energie-Schimbări Climatice (PNIES) din 2024 prevede o reducere și mai ambițioasă, de 85% până în 2030.

Deși România încă folosește predominant combustibilii fosili în producția de energie, capacitățile regenerabile (eolian, solar) și nucleare vor crește semnificativ până în 2050. Dezvoltarea infrastructurii de stocare a energiei și integrarea surselor regenerabile sunt esențiale pentru tranziția către o economie verde. România explorează și utilizarea hidrogenului verde și a tehnologiilor de captare și stocare a carbonului (CCS) pentru a sprijini industriile greu de decarbonizat.

Context

Sectorul energetic a fost și rămâne cel mai important contributor la emisiile de gaze cu efect de seră în România. Potrivit Inventarului Național ale Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră (INEGES), energia — domeniu care, potrivit metodologiei convenției-cadru a Națiunilor Unite privind Schimbările Climatice, include și consumul energetic din transporturi și din industrie — totalul emisiilor în 2019 se ridică la 113,94 milioane tone (Mt) CO₂ echivalent (CO₂eq), cu 63% mai mici decât în anul de referință 1989 (Figura 1).

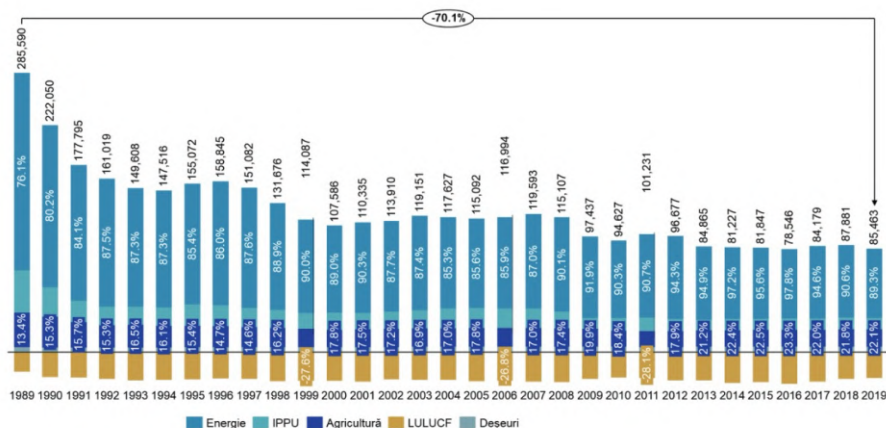


Figura 1. Evoluția emisiilor și absorbțiilor agregate de GES (emisiile nete), 1989-2019. Sursa: STL (2023, 37)

În 2019, ponderile emisiilor de gaze cu efect de seră, pe sectoare, proveneau din energie (67%), industrie¹⁶ (11%), agricultură (7%) și deșeuri (5%). Principala cauză a decarbonizării dramatice a sectorului energetic românesc în primii 30 de ani de după 1989 ține de închiderea de mari consumatori de energie din industrie după restructurările și privatizările din anii 1990. De asemenea, punerea în funcțiune a primei unități a centralei nucleare-electrice de la Cernavodă, în 1996, urmată de a doua unitate în 2007, au contribuit la reducerea emisiilor de dioxid de carbon. După aproape un deceniu de creștere ușoară începând cu anul 2000, emisiile din sectorul energetic scad vizibil odată cu criza financiar-economică din 2009-2011 și se mențin la nivel relativ constant în intervalul 2011-2019.

O scădere abruptă a emisiilor de GES a însoțit apoi reducerea bruscă a activității economice în 2020, anul pandemiei, urmată, după scurta revenire din 2021, de criza energetică declanșată de războiul din Ucraina. Pe fondul prețurilor ridicate ale energiei, activitățile industriale cu mari emisii de carbon, precum producția de îngrășăminte chimice (în care gazele naturale sunt o materie primă, nu doar o sursă de energie) sunt afectate și în prezent.

În intervalul 1989-2019, potrivit INEGES, cea mai mare creștere a emisiilor de GES a avut loc în transporturi (de la 5% în 1989 la 25% în 2019), în vreme ce emisiile din sectorul energetic au scăzut cu circa 11%. Din punct de vedere al ponderilor diferitelor tipuri de GES¹⁷, în 2019, 68% din total erau emisii de dioxid de carbon, urmate de metan (20%), dioxid de azot (10%) și o contribuție cumulată de circa 2% pentru hidrofluorocarburi, perfluorocarburi, hexafluorură de sulf. (STL, 2023, 38).

16 IPPU (Industrial Processes and Product Use); este vorba despre procesele industriale fizice sau chimice de transformare a materialelor prin care sunt eliberate emisiile de gaze cu efect de seră (GES), respectiv de gazele cu efect de seră utilizate în produse precum frigider, pompe de căldură, doze de aerosoli ori spume. Emisiile rezultate din arderea combustibililor în industrie în scop energetic și emisiile fugitive din industria țefieiului și gazelor naturale sunt atribuite domeniului Energie, nu IPPU.

17 Potrivit Panelului Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (IPCC), „vapori de apă (H₂O), dioxidul de carbon (CO₂), protoxidul de azot (N₂O), metanul (CH₄) și ozonul sunt principalele gaze cu efect de seră (GES) din atmosfera Pământului. GES produse de om includ hexafluorura de sulf (SF₆), hidrofluorocarburi (HFC), clorofluorocarburi (CFC) și perfluorocarburi (PFC); mai multe dintre acestea depletează, de asemenea, stratul de ozon (O₃) și sunt reglementate prin Protocolul de la Montreal.” (IPCC, 2021, 2023).

Decarbonizarea sectorului energetic românesc

Combustibilii fosili încă domină economia românească în ceea ce privește consumul de energie primară și sunt încă indispensabili în mixul de producție de energie electrică, după cum reiese din tabelele 1 și 2 de mai jos, bazate pe datele Eurostat (2024).

Tabelul 1. Consumul intern brut de energie primară (TWh) (2022)

Cărbune	41.1
Gaz natural	97.1
Țiței	122.4
Biocombustibili	50.4
Hidro, eolian, solar	24.5
Nuclear	32.8
Total	32.8

Tabelul 2. Producția totală de energie electrică (TWh), 2022

Hidro	13.98
Eolian	7.00
Solar PV	1.99
Biocombustibili	0.65
Nuclear	11.09
Cărbune	10.37
Țiței	1.11
Gaz natural	9.33
Total	55.51

Reducerea emisiilor de carbon în sectorul energetic reprezintă, cel puțin teoretic, „fructul cel mai ușor de cules” al tranziției către neutralitate climatică. În mod fundamental, tranziția de la un sistem energetic dominat de combustibili fosili, la unul preponderent cu surse fără emisii de producere a energiei se bazează pe un vast efort de **electrificare**, în sensul creșterii masive a ponderii energiei electrice (produse, din ce în ce mai mult, fără emisii de carbon) în consumul final total de energie, în defavoarea combustibililor fosili. Prin electrificarea economiei, ponderea în creștere a energiei electrice fără emisii (regenerabilă și nucleară) permite decarbonizarea celei mai mari părți a sectorului energetic și a economiei, în ansamblu.

Tabelele 1 și 2 arată că producția națională de energie electrică acoperă mai puțin de 20% din consumul intern brut de energie primară. Procentul va depăși, probabil, 50% până la jumătatea secolului.

Electrificarea are ca precondiție întărirea, extinderea și digitalizarea **rețelelor** de transmisie și distribuție a energiei electrice. Astfel, rețelele vor putea susține o creștere a capacităților de generare (în special din surse regenerabile), un consum mărit de energie electrică în **clădiri** (mai ales prin adopția de pompe de căldură), transporturi (prin creșterea numărului de vehicule electrice în transportul rutier, electrificarea crescută a celui feroviar și introducerea de nave electrice în transportul fluvial) și **industrie** (prin producerea electrică a căldurii de proces). De asemenea, noile rețele ar putea să susțină un mod tot mai descentralizat de consum activ al energiei, dat de recenta creștere exponențială a **prosumatorilor**,

a căror capacitate instalată agregată de panouri fotovoltaice în gospodării (1.873 MW¹⁸) a depășit-o pe cea a parcurilor fotovoltaice de mari dimensiuni (1.626 MW¹⁹).

Capacitățile regenerabile de producere a energiei, în special fotovoltaice și eoliene, vor cunoaște o creștere accelerată. Ele sunt menite să susțină nu doar electrificarea directă în sectoarele enumerate mai sus, ci și producția de hidrogen regenerabil („verde”), prin procesul electrolizei apei și fabricarea altor carburanți sintetici (Power-to-X), pe bază de hidrogen și de dioxid de carbon. Hidrogenul este necesar în special în ramurile industriei energo-intensive care nu dispun de alternative tehnologice de decarbonizare, precum producția de oțel primar.

Dezvoltarea sectorului nuclear, față de care autoritățile din România sunt profund angajate atât prin planul de construcție a două noi unități ale Centralei Nuclearelectrice de la Cernavodă, cât și prin adopția unei noi tehnologii nucleare de nouă generație, aflată încă în dezvoltare — Small Modular Reactors (SMR) — va crește substanțial ponderea energiei electrice fără emisii de gaze cu efect de seră.

În fine, implementarea soluțiilor de captare și stocarea subterană definitivă a dioxidului de carbon — Carbon Capture and Storage (CCS) — și a infrastructurii necesare pentru transport de CO₂ este critică pentru viitorul sustenabil al unor industrii precum producția cimentului și varului, care au emisii inevitabile de proces, sau industriile chimice și petrochimice. O serie de tehnologii energetice fără emisii, încă lipsite de maturitate comercială, precum energia geotermală de adâncime sau generația a IV-a de reactoare nucleare — Advanced Nuclear Reactors (ANR) — sunt încă în stadiu de cercetare-dezvoltare pentru atingerea unui Technology Readiness Level (TRL) suficient de ridicat.

Ținta sectorială de reducere a emisiilor de GES a fost stabilită în PNIESC (2024, 64) la 87% pentru 2030 față de emisiile anului 1990. Pentru stocul național de clădiri, obiectivul asumat de decarbonizare este de 19% în 2030 față de 1990. Pentru transporturi, obiectivul are în vedere plafonarea emisiilor la cel mult 40% în 2030 față de 1990, în condițiile anticipării creșterii parcului auto.

Pentru Sursele Regenerabile de Energie (SRE), ținta asumată de statul român pentru 2030, inclusiv în Strategia Energetică din 2024, este de 38,3% din consumul total final de energie la nivel național. Altfel spus, până în 2030 ar trebui ca cel puțin 38,4% din energia consumată în România să provină din surse regenerabile. Aceasta reprezintă o creștere notabilă de la 36,2% în versiunea preliminară anterioară a PNIESC. Totuși cifra rămâne, în continuare, sub nivelul de ambiție al Uniunii Europene, de cel puțin 42,5%, și sub potențialul de SRE al României, dar reprezintă un progres evident față de abordarea mult mai modestă din 2021 (doar 30,7%).

Figura 3 prezintă traiectoria estimată de evoluție a tehnologiilor SRE într-un scenariu care ia în calcul măsurile de susținere a investițiilor în aceste tehnologii²⁰.

18 La 1 iulie 2024, potrivit ANRE.

19 La 1 aprilie 2024, potrivit datelor Transelectrica.

20 Scenariul WAM (With Added Measures), care este același cu scenariul RO Neutral din STL. Cele două documente strategice s-au bazat pe același model (LEAP_RO).

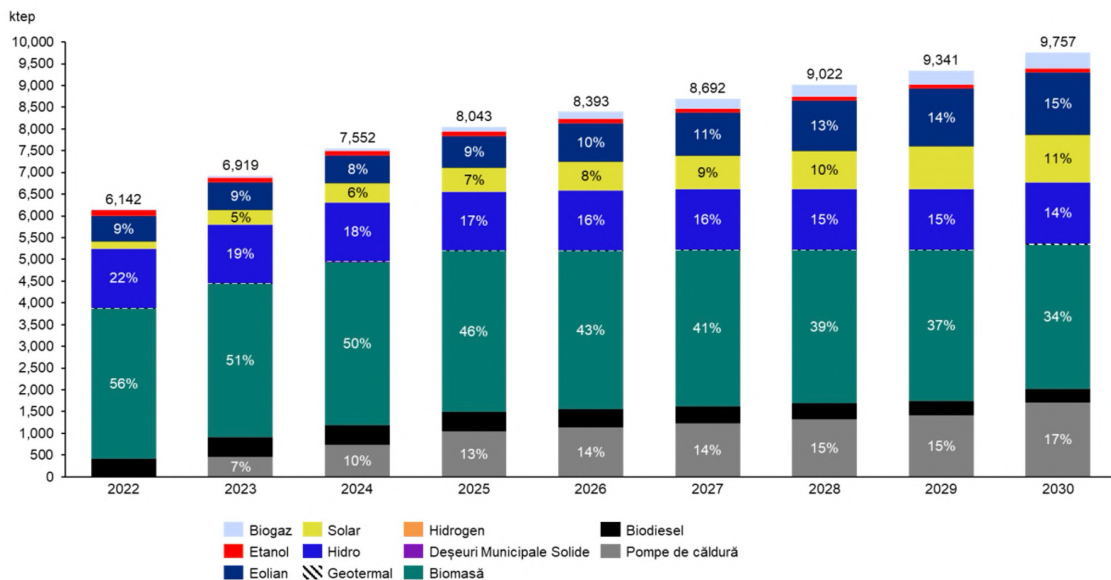


Figura 3. Ponderea estimată a SRE în consumul final brut de energie pe tip de tehnologie. Sursa: PNIESC (2024, 68)

Scenariul WAM²¹ din PNIESC anticipează că biomasa va rămâne și în 2030 tipul dominant de combustibil regenerabil, în ciuda scăderii scontate în 2030 de la 56% în 2022 la 34% din totalul consumului final brut de energie regenerabilă. Este vorba, mai ales, despre lemnul de foc pentru încălzire în mediul rural și în cel peri-urban, cel mai adesea prin ardere în sobe cu randament foarte scăzut. Pentru reducerea emisiilor și pentru protecția naturii, este esențial ca cerințele de sustenabilitate ale biomasei lemnoase să fie strict menținute, ceea ce constituie o provocare, date fiind tăierile ilegale de arbori documentate în presă. Cerința este cu atât mai relevantă cu cât România mizează mai mult, în documentele strategice recente, pe LULUCF (Land use, land use change and forestry) pentru contribuția acestui sector la atingerea neutralității climatice. Prin urmare, utilizarea pentru foc a masei lemnoase sustenabile ar trebui să fie prioritar asigurată pentru gospodăriile a căror încălzire se bazează pe acest combustibil.

În plus, studiile de piață anticipează creșterea numărului de pompe de căldură pentru încălzirea și răcirea locuințelor. Consumul de energie al acestor pompe ar putea să ajungă până la 17% din totalul produs din surse regenerabile până în 2030. Cantitatea de energie preconizată în PNIESC a fi consumată în pompe de căldură în 2030 este de circa 1.700 ktep, ceea ce echivalează cu 19,7 TWh de energie electrică. Potrivit calculului dintr-un recent studiu al Energy Policy Group (EPG) pe tema perspectivelor de adopție a pompelor de căldură în România până în 2030 (Dudău et al., 2024), această cantitate de energie corespunde consumului anual a aproape 600.000 de pompe de căldură de tip aer-apă la nivel de locuință, număr situat între scenariul EPG de adopție minimală (500.000 de pompe de căldură) și cel moderat-optimist (700.000) până în 2030. Dar, trebuie subliniat, o astfel de rată de adopție nu poate fi susținută fără programe publice de subvenții pentru pompe de

21 Spre deosebire de scenariul WEM (With Existing Measures), care descrie evoluția emisiilor de GES pe baza măsurilor existente și deja implementate, scenariul WAM (With Additional Measures) este mai optimist, luând în calcul și măsuri de politici publice planificate, dar încă neadoptate pentru reducerea emisiilor.

căldură, pentru care costurile relativ ridicate de achiziție reprezintă o barieră serioasă. Or, astfel de forme de sprijin pentru instalarea de pompe de căldură sunt disponibile în mod limitat în România, atât pentru segmentul rezidențial²², cât și pentru IMM-uri sau clădiri publice.

Cele mai importante creșteri procentuale ale surselor regenerabile în consumul final brut vor fi înregistrate de energia solară și de cea eoliană, despre care se anticipează că vor ajunge în 2030 la 15%, respectiv 14% din totalul energiei regenerabile consumate. Pentru perioada 2019-2050 ne putem aștepta la o creștere până la 8,2 GW în 2030 și 33,3 GW în 2050 pentru solar și până la 7,3 GW în 2030 și 21,3 GW în 2050 pentru eolian.

Producția de energie în hidrocentrale va rămâne constantă (6,7 GW capacitate instalată în 2022, 6,9 GW în 2030 și în 2050), cu o pondere în consumul final brut de regenerabile de 14% în 2030, în scădere de la 22% în 2022. Pe măsură ce solarul, eolianul și pompele de căldură cresc ca proporție, ponderile biomasei și ale hidroenergiei vor scădea.

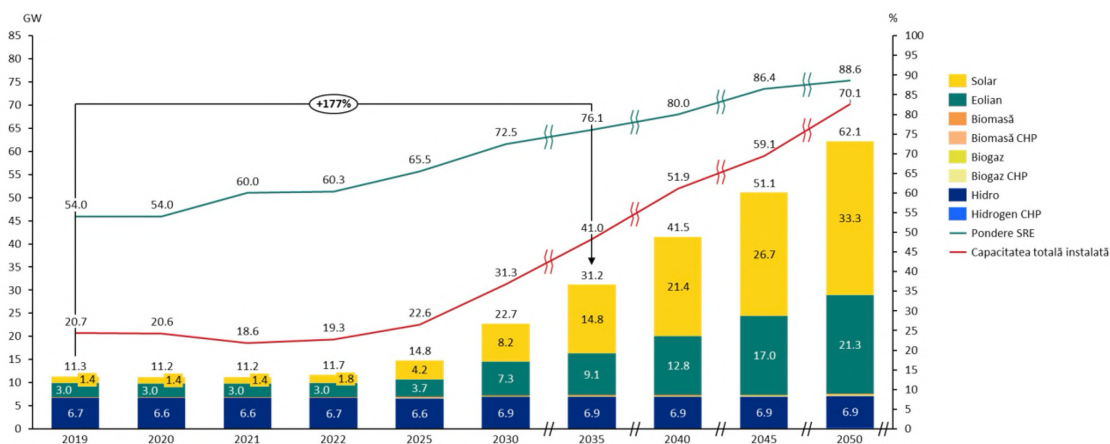


Figura 4. Traectoria capacității instalate de producție per tehnologie SRE, 2019-2050. Sursa: PNIESC (2024, 70).

Mixul de energie electrică va arăta foarte diferit în anul 2050 față de prezent (Figura 5), cu o creștere accentuată a surselor de energie regenerabilă. Totalul capacității instalate în 2050 va fi de nu mai puțin de 62,1 GW, deci de aproape șase ori mai mult decât în 2022. În 2030, SRE vor cumula trei sferturi din capacitatea totală instalată, iar în 2050 acestea se vor apropia de 90% din capacitatea totală. Sursele regenerabile, pe de altă parte, au **factori de capacitate** (adică producție efectivă de energie raportată la producție maximă posibilă a unei centrale de generare) mai mici decât centralele cu funcționare „în bandă” (de exemplu, centralele nucleare), pentru că depind de condiții de mediu variabile (vânt și radiație solară). Însă, pe măsură ce energia electrică dobândește o cotă tot mai mare, consumul total brut de energie scade, deoarece sistemele care livrează energie utilă pe bază de energie electrică au randamente superioare celor bazate pe arderea combustibililor fosili.

22 O excepție este dată de programul Casa Verde Clasic, derulat de Administrația Fondului de Mediu (AFM), prin care sunt oferite persoanelor fizice finanțări în cuantum de maximum 8.000 de lei pentru achiziția și instalarea pompelor de căldură aer-aer (https://www.afm.ro/casa_verde_pf_informatii_utile.php). Programul ar trebui actualizat pentru promovarea tehnologiei mai eficiente a pompelor de căldură aer-apă și, mai ales, pentru achiziționarea unor sisteme complexe de tipul panouri PV + bateria + pompă de căldură — vezi recomandările de politici din studiul Dudău et al. (2024).

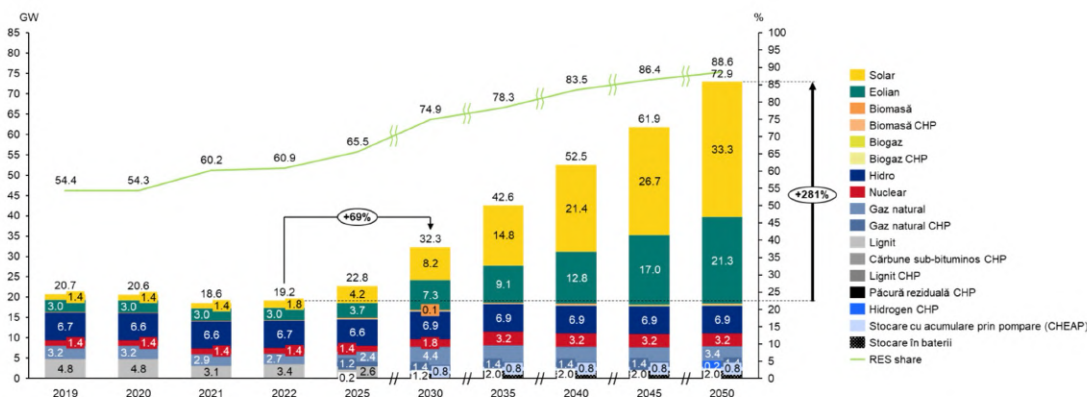


Figura 5. Traectoria capacității instalate de producție per tehnologie SRE, 2019-2050. Sursa: PNIESC (2024, 70). z

Pentru integrarea în sistemul electroenergetic a unor proporții tot mai mari de surse regenerabile este esențială creșterea capacității instalate de **stocare a energiei electrice** — ceea ce, pe termen scurt, înseamnă stocare în baterii. Prețurile bateriilor, produse preponderent în China au scăzut până la niveluri record, favorizând astfel de investiții. Stocarea în baterii oferă extrem de necesarele servicii tehnice de sistem: echilibrare în timp real a producției și consumului de energie, reglarea frecvenței, controlul tensiunii (și reducerea pierderilor de energie) și reglarea puterii reactive în rețeaua de înaltă tensiune. Astfel de servicii sunt esențiale pentru capacitatea sistemului electroenergetic de a gestiona variabilitatea energiei produsă de parcurile solare sau eoliene de mari dimensiuni, precum și caracterul nedispecerizabil al energiei injectate în rețea de către prosumatori. Versiunea actualizată de PNIESC propune obiective considerabil mai ambițioase pentru stocarea în baterii — 1.200 MW/2.300 MWh în 2030, față de 240 MW/480 MWh în versiunea anterioară.

Parcurile eoliene și fotovoltaice pot beneficia de sprijin financiar prin fonduri europene, precum Planul Național pentru Redresare și Reziliență sau Fondul pentru Modernizare. Sistemele de baterii au fost deja finanțate prin Fondul pentru Modernizare, unde și alte linii de sprijin urmează să fie deschise în viitorul apropiat. În plus, instrumente de reducere a riscului de piață pentru producătorii de energie regenerabilă, precum contractele pentru diferență (CfD), au intrat deja în vigoare (v. HG 318/2024), asigurând pentru capacitățile nou-instalate prețuri stabile și garantate pe termen lung pentru energia vândută pe piața centralizată. De asemenea, în iunie 2024 a intrat în vigoare Legea nr. 121/2024 privind energia eoliană offshore. Acesta este un pas deosebit de pozitiv, care permite, potrivit calendarului de măsuri ce urmează a fi întreprinse de guvern, instalarea primelor turbine eoliene în apele românești ale Mării Negre până în 2032.

În ceea ce privește energia nucleară, România este parte a clubului țărilor UE favorabile reluării investițiilor în tehnologie nucleară civilă. Astfel, planurile guvernamentale sunt de construire a încă două unități nucleare de tip CANDU²³ a câte 700 MW, pe lângă cele deja în funcțiune la Cernavodă. Unitatea 3 urmează să fie pusă în funcțiune în 2031, iar unitatea 4 în

23 Canada Deuterium Uranium — tehnologie nucleară canadiană care utilizează uraniul natural drept combustibil și apa grea (monoxid de deuteriu) drept moderator și lichid de răcire.

în 2032. Unitatea 1 va trece printr-un proces de re tehnologizare timp de doi ani, între 2026 și 2028, pentru prelungirea duratei tehnice de viață cu 30 ani, în plus față de cei 30 care vor fi împliniți în 2026. În lipsa acestei intervenții asupra componentelor critice, U1 ar trebui să fie oprită în 2026. Totodată, Societatea Națională Nuclearelectrică, operatorul centralei de la Cernavodă, s-a asociat cu compania americană NuScale, cu susținerea guvernelor american și român, pentru dezvoltarea și construirea la Doicești, Dâmbovița, în locul unei foste termocentrale pe bază de lignit, închise în 2009, a unui reactor modular de mici dimensiuni (SMR) cu o capacitate instalată de 462 MW (șase module a câte 77 MW), pe care părțile speră în mod optimist să-l finalizeze până în 2030.

Spre deosebire de sursele de energie regenerabilă, industria nucleară nu beneficiază, în prezent, de fonduri europene pentru construcția de noi reactoare²⁴. Prin urmare, țările europene interesate trebuie să facă eforturi proprii pentru a asigura capitalizarea acestor proiecte. Pe de altă parte, în prezent, publicul românesc nu dispune de claritatea necesară cu privire la cuantumul și structura finanțărilor necesare pentru proiectul de „retubare” a U1 de la Cernavodă, dar și pentru construirea unităților 3 și 4, respectiv pentru centrala de la Doicești. Sumele prezentate public pentru aceste investiții însumează circa 15-16 miliarde de euro, dar guvernul nu a detaliat suficient pentru a permite o evaluare tehnico-economică independentă a oportunității economice a acestor proiecte care, inevitabil, se vor baza pe finanțare publică.

Alte două tehnologii ale tranziției energetice, **hidrogenul verde și captarea și stocarea carbonului**, sunt încă în stadiu incipient de planificare, cu neclarități privind reglementările, infrastructura de transport, datele economice fundamentale (i.e., sursele disponibile de energie regenerabilă, capacitatea de electroliză a apei, prețul per kg al hidrogenului verde, respectiv costul per tonă al captării, transportului și stocării subterane definitive a dioxidului de carbon), precum și sursele de finanțare. Pentru sectorul hidrogenului există un document elaborat de strategie națională, care însă nu a fost încă aprobat de guvern²⁵, în vreme ce pentru captarea și stocarea carbonului nu există un asemenea plan strategic nici măcar în stadiu conceptual, deși România are deja obligații impuse prin legislație europeană (Net Zero Industry Act) de a dezvolta capacități de stocare a dioxidului de carbon de 9 Mt/an până în 2030 (o parte importantă din total de 50 Mt/an la nivel european, dat fiind rolul de producător istoric al României de petrol și gaze).

Prin urmare, aceste două tehnologii, de soarta cărora se leagă și investiții potențiale în tehnologie în ramurile industriale care consumă multă energie, precum și în producția de energie electrică în centrale pe gaze, au nevoie de o completare și clarificare rapidă a regimului de reglementare, care să permită dezvoltarea unor planuri de afaceri și atragerea investițiilor necesare.

Trebuie însă remarcat că politicile europene pentru hidrogen par a fi nerealist de ambițioase, cu o fundamentare economică precară și depinzând de o bază tehnologică și de infrastructură imatură, în vreme ce captarea și stocarea carbonului este o tehnologie nouă și costisitoare pe plan mondial. În consecință, guvernul ar trebui să calibreze atent obiectivele privind hidrogenul, concentrându-se asupra cererii de hidrogen în industriile hard-to-abate

24 Finanțarea este limitată la programe de cercetare-inovare, securitate nucleară și management al deșeurilor, precum și training de personal. Pe de altă parte, există un efort susținut al statelor membre pro-nucleare de deschidere completă a finanțărilor europene către sectorul nuclear.

25 Documentul se află în prezent în procedură de extinsă de evaluare strategică de mediu (SEA) la Ministerul Mediului.

(siderurgie, chimie și petrochimie). Politicile CCS necesită implicarea decisivă a guvernului cu rol cheie de reglementare și de coordonare între industrii cu emisii intensive de carbon (în special producția de ciment și var, dar și industria sticlei, a cartonului și hârtiei, etc). Date fiind termenele foarte apropiate și obligațiile de stocare menționate, statului îi revine rolul critic de facilitator pentru dezvoltarea proiectelor de captare și stocare, inclusiv în ceea ce privește infrastructura de transport a dioxidului de carbon, accesul la finanțare și, eventual, asigurarea unor mecanisme de reducere a riscului pe piața de certificate de carbon, precum **CCfD** (carbon contracts for difference).

Pe lângă creșterea continuă a ponderii surselor de energie fără emisii, decarbonizarea este rezultatul creșterii **eficienței energetice**, prin reducerea risipei de energie, prin îmbunătățirea tehnologiilor (de exemplu, termoizolarea clădirilor, utilizarea de aparatură electrocasnică de clasă energetică superioară, adopția autovehiculelor electrice sau trecerea la iluminat LED) și prin adoptarea unui comportament de eficiență energetică din partea utilizatorilor (de exemplu, stingerea luminii în încăperile goale, setarea termostatului la temperaturi optime, folosirea transportului în comun, etc.). De altfel, politicile energetice ale UE sunt guvernate de **principiul întâietății eficienței energetice**, în sensul luării în considerare de către statele membre UE a măsurilor de eficiență în toate deciziile de investiții.

Pentru România, ținta pentru 2030 de reducere a consumului de energie primară, potrivit Directivei privind Eficiența Energetică a fost stabilită la 30,2 Mtep, iar cea privind consumul final brut de energie a fost fixată la 22,5 Mtep²⁶. Potrivit PNIESC, România va depăși așteptările stabilite prin aceste ținte, urmând să se limiteze la un nivel al consumului de energie primară de 28,7 Mtep în 2030 (scădere cu 9% față de anul 2022), respectiv la un nivel al consumului final de energie de 22,5 Mtep în 2030 (scădere cu 6% față de 2022). Pentru anul 2050, guvernul are în vedere o reducere a consumului de energie primară cu 22%, iar a celui final brut cu 28% față de nivelurile consumului din 2022. Aceste cifre cumulează câștigurile de eficiență din toate sectoarele economiei — energie, industrie, transporturi, clădiri, agricultură, LULUCF.

Cât privește reducerea emisiilor de GES din **clădiri**, Strategia Națională de Renovare pe Termen Lung (SNTRL, 2020) urmărește creșterea ratelor de renovare aprofundată a clădirilor de la 0,69% la 3,39% între 2021 și 2030, la 3,79% până în 2040 și la 4,33% până în 2050, ceea ce, cumulativ, ar duce la emisii evitate de dioxid de carbon de 14,42 Mt. Totuși, rate de renovare anuală de circa 4% par neverosimil de ridicate în comparație cu nivelul extrem de scăzut din prezent, ținând seama și de creșterea cerințelor și standardelor de renovare. Noua Directivă privind Performanța Energetică a Clădirilor (UE/2024/1274) prevede ca, începând cu 2030²⁷, toate clădirile noi să fie ZEB (zero emission buildings), adică aibă o performanță energetică foarte ridicată și zero emisii rezultate din utilizarea clădirii. Mai mult, revizuirea directivei aduce obligația reducerii nu doar a emisiilor operaționale a clădirilor, ci și a emisiilor încorporate în materialele de construcții. Prin urmare, directiva cere aplicarea evaluărilor emisiilor pe întreg ciclul de viață al clădirilor, de la extragerea materiilor prime la fabricarea materialelor, la construire, la utilizarea clădirii, la demolare și la reciclarea materialelor. Acest aspect leagă directiva de inițiativele de economie circulară, care încurajează folosirea materialelor reciclabile de construcții, cu conținut redus de carbon, precum și reducerea deșeurilor din construcții.



26 Recomandarea (UE) 2024/1722 a Comisiei din 17 iunie 2024 de stabilire a orientărilor pentru interpretarea articolului 4 din Directiva (UE) 2023/1791 a Parlamentului European și a Consiliului în ceea ce privește obiectivele în materie de eficiență energetică și contribuțiile naționale.

27 Cele în proprietatea autorităților publice, deja din 2028.

O provocare pentru sectorul construcțiilor este că cerințele de performanță energetică și de reducere a emisiilor de carbon din ce în ce mai severe și în schimbare relativ rapidă se traduc în costuri în creștere atât pentru clădirile noi, cât și pentru lucrările de renovare, precum și în deficit de know-how și forță calificată de muncă. În acest sens, în baza principiului primatului eficienței energetice, renovările fazate, documentate în „pașapoarte de renovare” ale clădirilor, pot aduce avantajul unor desfășurări pe orizontală a unor tehnologii de înaltă eficiență, precum pompe de căldură, la o rată de instalare mult mai ridicată decât cea a renovărilor aprofundate. De asemenea, pe măsură ce ponderea energiei electrice fără emisii crește (deci factorul de emisii al sistemului electroenergetic scade), eficiența costurilor va impune decizii de optimizare între, pe de o parte, complexitatea intervențiilor de termoizolare, instalare de tâmplărie cu trei foi de sticlă etc. și, pe de altă parte, utilizarea sistemelor de încălzire-răcire și ventilație (HVAC) pe bază de energie electrică fără emisii.

Concluzii

Cu un sistem energetic național construit, în mai bine de un secol, mai întâi în jurul țițeiului și gazelor naturale, apoi al cărbunelui (hulă și lignit), România adoptă în prezent tehnologiile și infrastructura necesare pentru tranziția energetică spre neutralitate climatică. Recentele documente de planificare strategică elaborate de către Ministerul Energiei și Ministerul Mediului (Strategia Energetică Națională, Planul Național Integrat Energie-Schimbări Climatice, respectiv Strategia pe Termen Lung a României pentru Reducerea Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră) prezintă o viziune de decarbonizare relativ ambițioasă și coerentă, care trasează în mod corect principalele direcții de evoluție: electrificare, creșterea masivă a producției de energie fără emisii (mai cu seamă surse regenerabile, dar și nucleare), dezvoltarea și digitalizarea rețelelor, creșterea capacităților de stocare a energiei, adoptarea pompelor de căldură, a mobilității electrice, creșterea performanței energetice a clădirilor prin renovare și construire la cerințe tot mai exigente, precum și dezvoltarea unui sector al hidrogenului și introducerea tehnologiilor de captare și stocare pentru decarbonizare industrială.

Mecanismele financiare europene (PNRR, RepowerEU, Fondul pentru Tranziție Justă și, mai ales, Fondul pentru Modernizare), cu necesarele condiționalități de finanțare a proiectelor și a programelor de sprijin pentru proiecte cu impact climatic pozitiv, sunt factori decisivi de susținere a investițiilor verzi. Este adevărat, documentelor strategice menționate le lipsesc, adesea, politicile și măsurile clare prin care țintele sectoriale asumate sunt și realizate. Aceasta are legătură cu dificultăți de capacitate administrativă, de planificare strategică a rolului unor combustibili fosili în sectoare cheie (de exemplu, rolul gazelor naturale în producția de energie electrică, în condițiile închiderii graduale a termocentralelor pe cărbune până în 2032, sau de planificare a cuplării intersectoriale, de exemplu între gazele naturale și hidrogen), dar și de crearea a unui cadru propice de investiții, în condițiile unei piețe de energie electrică cu probleme funcționale, a unui cost ridicat al capitalului în economia românească și ale unor cadre de reglementare fluide, care îngreunează planurile de investiții pe termen lung. Pe de altă parte, politici europene definitorii, precum cea de promovare a hidrogenului verde și a infrastructurii necesare, sunt excesiv de expansive și lipsite de realism economic, riscând să creeze confuzie strategică, întârzieri și costuri evitabile.

Schimbările climatice: atitudini și percepții ale românilor în 2024

Dr. Dan Mercea

Dr. Felipe G. Santos

Dr. Matthias Hoffmann



Sumar

Acest capitol explorează percepțiile și atitudinile românilor față de criza climatică și impactul acesteia asupra politicilor publice. Din cei intervievați, 17% cred că schimbările climatice vor avea impact extrem de negativ asupra vieții lor. Agricultură, alimentarea cu apă, economia și sănătatea sunt domeniile în care românii cred că schimbările climatice vor avea un impact negativ semnificativ. Femeile și persoanele cu un nivel ridicat de educație media sunt mai preocupate de schimbările climatice și sunt dispuse să își schimbe stilul de viață pentru a reduce impactul asupra mediului. Este important de menționat și că o mare parte dintre români (68%) se declară dispuși să își schimbe stilul de viață pentru a reduce impactul negativ al schimbărilor climatice asupra mediului.

În democrații, percepțiile și atitudinile populației legate de schimbările climatice joacă un rol important în influențarea politicilor publice menite să combată efectele încălzirii globale (Hagen et al., 2016). Deși există un consens științific referitor la cauzele umane ale încălzirii globale și necesitatea adoptării unor astfel de politici publice pentru a proteja comunitățile vulnerabile afectate de schimbările climatice (IPCC, 2012), percepțiile populației asupra acestor schimbări nu sunt uniforme. Dimpotrivă, în Europa, studiile sociologice arată anumite tendințe la nivelul populației: bărbații, persoanele mai în vârstă și cele cu un nivel mai scăzut de educație tind să fie mai puțin înclinați să creadă că schimbările climatice sunt cauzate de activitatea umană și să fie mai puțin preocupați de aceste schimbări (Poortinga et al., 2011; Poortinga et al., 2019).

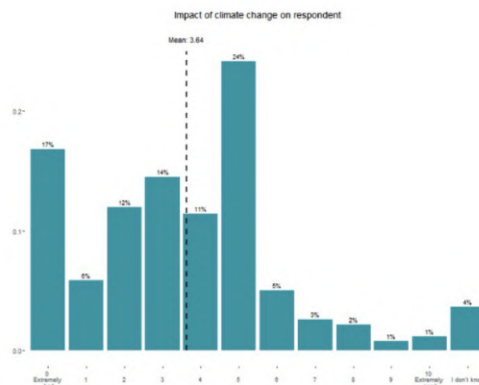
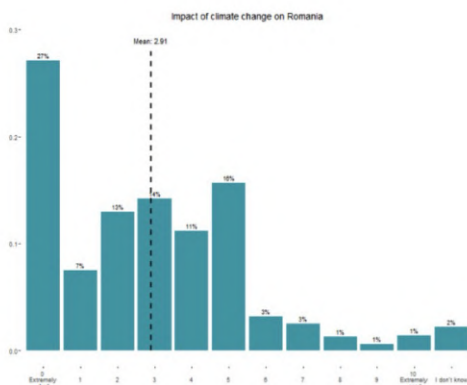
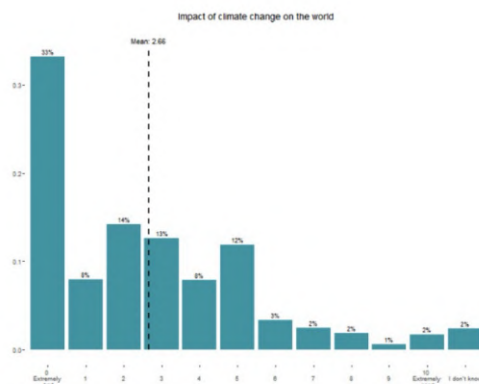
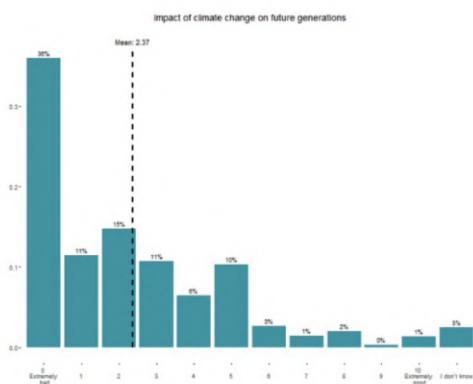
Dacă astfel de analize indică prezența unor anumite tendințe la nivelul populațiilor din multe state europene, studiile statistice privind populația României sunt puține la număr (vezi însă Cheval et al., 2022; Nistor, 2022). Aceste studii au sugerat tendințe similare în rândul românilor, în perioada 2009-2020. Astfel, Nistor (2022) a analizat date din Eurobarometru și a arătat că schimbările climatice sunt văzute de către români ca fiind o problemă îngrijorătoare, dar relativ puțin importantă. În același timp, datele analizate de Nistor (2022) arată că nivelul de educație este corelat cu gradul de preocupare pentru schimbările climatice. În acest capitol, ne propunem să aducem o contribuție la înțelegerea percepțiilor și atitudinilor românilor față de schimbările climatice. Astfel, prezentăm rezultatele unui sondaj realizat în cadrul proiectului READJUST Climate, coordonat de cercetători de la City, University of London, în martie 2024.

Preocuparea față de schimbările climatice

Preocuparea față de schimbările climatice este destul de răspândită în rândul adulților din România. Două treimi dintre aceștia se declară îngrijorați sau extrem de îngrijorați de aceste schimbări, deși bărbații tind să fie mai puțin îngrijorați decât femeile. Totuși, impactul schimbărilor climatice este perceput ca fiind cu atât mai grav cu cât este mai abstract și mai îndepărtat în timp.

Când i-am întrebat pe români despre impactul schimbărilor climatice asupra vieții lor, doar 17% au spus că vor avea un impact extrem de negativ, iar media percepției a fost tot negativă, cu un scor de 3,64 pe o scară de la 1 la 10, unde 1 reprezintă un impact extrem de negativ și 10 un impact extrem de pozitiv. Când i-am întrebat despre impactul asupra României, 27% dintre români au afirmat că acesta va fi extrem de negativ, iar media percepției a fost și mai scăzută în cazul impactului asupra țării decât asupra propriei vieți (2,9 față de 3,64).

Opinia românilor despre impactul schimbărilor climatice asupra lumii și generațiilor viitoare este și mai pesimistă. 33% dintre români consideră că schimbările climatice vor avea un impact extrem de negativ asupra lumii, iar 36% cred același lucru despre generațiile viitoare. Aceste date i-au făcut pe cercetători să creadă că îngrijorarea românilor față de schimbările climatice este influențată mai mult de informațiile la care sunt expuși decât de experiențele lor personale directe. Totuși, evenimentele extreme, cum ar fi fenomenele meteorologice severe, pot influența percepțiile pe termen lung (Shehata et al., 2022).



O altă interpretare a acestor rezultate, care completează prima ipoteză, este că românii au o perspectivă generală optimistă și cred în capacitatea lor individuală de a face față provocărilor aduse de schimbările climatice. Cu toate acestea, acest optimism scade pe măsură ce impactul devine mai îndepărtat și abstract. Este important de menționat că această percepție este comună atât în rândul bărbaților, cât și al femeilor.

Când vine vorba de impactul schimbărilor climatice asupra domeniilor care pot fi influențate de politici publice, românii consideră că agricultura va fi cea mai afectată. Astfel 37% dintre adulți cred că schimbările climatice vor avea un impact extrem de negativ asupra agriculturii, urmată de alimentarea cu apă (29%), economie (24%) și sănătate (22%). Este important de menționat și că o mare parte dintre români (68%) se declară dispuși să își schimbe stilul de viață pentru a reduce impactul negativ al schimbărilor climatice asupra mediului. Femeile sunt mai dispuse să facă aceste schimbări (74%) comparativ cu bărbații (60%).

Analiza demografică a arătat că persoanele mai în vârstă (din generația tăcută, născută între 1928-1946, și generația „baby boomer”, născută între 1946-1964) sunt cel mai puțin înclinate să creadă că schimbările climatice sunt cauzate de activitatea umană. La polul opus, cei care au experimentat un fenomen meteorologic extrem sunt mai conștienți de cauzele antropogenice ale schimbărilor climatice. De asemenea, cei generațiile de mileniali (născuți între 1981 și 1996) și baby boomer nu par foarte dispuse să își schimbe stilul de viață.

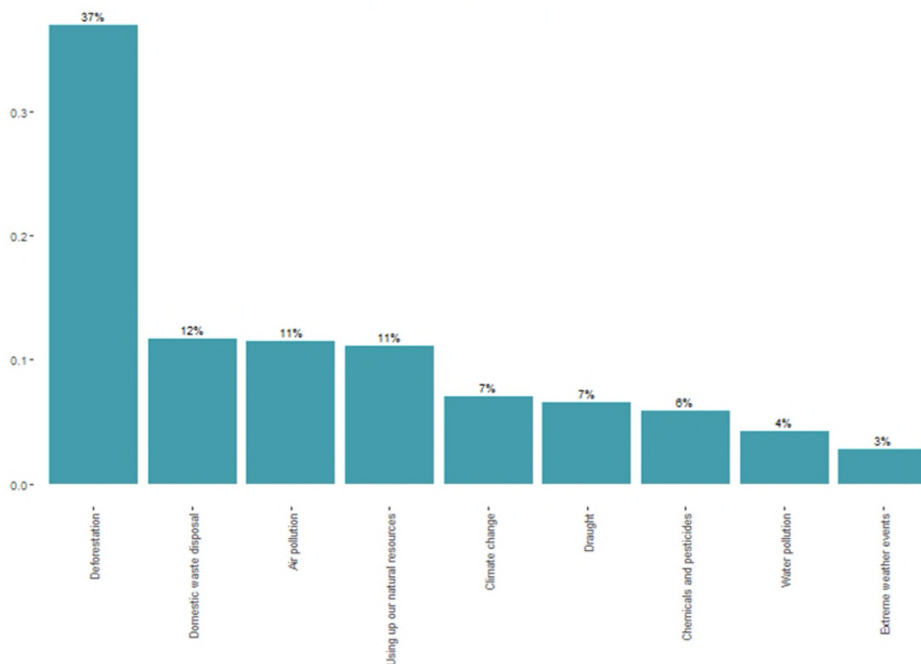
Un aspect important este faptul că persoanele cu un nivel ridicat de alfabetizare media (abilitatea de a evalua critic informațiile din mass-media și rețelele sociale) sunt mai predispuse să fie îngrijorate de schimbările climatice și să-și adapteze comportamentul pentru a reduce impactul acestora. În contrast, cei care își obțin informațiile politice preponderent din rețele sociale și ziare online tind să fie mai puțin îngrijorați de schimbările climatice.

Ce cred românii despre schimbările climatice

Discutând despre problemele de mediu, schimbările climatice ocupau locul cinci, cu 7% din populație considerându-le prioritare. Defrișările forestiere erau considerate cea mai gravă problemă de mediu (37%), urmate de eliminarea deșeurilor menajere (12%), poluarea aerului (11%) și epuizarea resurselor naturale (11%). Aceste date indică faptul că avem o înțelegere încă segmentată atunci când vine vorba despre schimbările climatice, considerându-le ceva diferit de poluarea atmosferică sau despădurire.



Main environmental issue in Romania



Defrișările erau principala problemă de mediu atât pentru bărbați, cât și pentru femei. Însă, pentru bărbați, problema schimbărilor climatice era abia a șasea pe listă. De asemenea, mai multe femei (51%) decât bărbați (46%) credeau că schimbările climatice sunt cauzate de activitatea umană.

Întrebați despre preocupările lor majore, românii au indicat că sunt preocupați de costul vieții și de inflație, pe care 62% din populația adultă le considerau cea mai mare problemă a țării. International Panel on Climate Change (IPCC) afirmase cu doar un an înainte că „activitățile umane, în principal emisia de gaze cu efect de seră, au cauzat în mod clar încălzirea globală” (IPCC, 2023). Cu toate acestea, doar 49% dintre români cred că schimbările climatice sunt cauzate exclusiv de oameni, în timp ce 36% consideră că sunt provocate în egală măsură de oameni și de procese naturale. Aceste cifre reflectă un nivel destul de ridicat de scepticism în rândul românilor cu privire la rolul activității umane în schimbările climatice, comparativ cu alte populații europene (Poortinga et al., 2019).

Recomandări

Aceste rezultate ne indică câteva direcții importante de lucru cu populația. Astfel, dacă ne dorim să lărgim spațiul dialogului despre climă pe baza argumentelor științifice, e necesar să avem în vedere câteva aspecte cheie în ceea ce privește comunicarea:

- Campaniile de comunicare care caută să evidențieze impactul schimbărilor climatice ar trebui să pună accentul și pe impactul asupra generațiilor viitoare și asupra lumii în general. Pe termen lung, este important să fie subliniat și impactul asupra României și asupra vieților locuitorilor acestei țări. De asemenea, este important ca abilitatea de evaluare critică a informațiilor în rândul populației să crească.

- Campaniile de comunicare despre schimbările climatice ar trebui să conecteze afirmațiile generale despre acest subiect cu teme concrete (de exemplu, defrișările ilegale) și cu implicațiile lor clare. Astfel, se poate evidenția faptul că un impact perceput ca fiind îndepărtat (de exemplu, asupra generațiilor viitoare) este probabil să se agraveze și să afecteze categorii specifice de persoane (de exemplu, copiii).
- Folosirea fenomenelor meteorologice extreme ca exemple poate contribui la creșterea numărului de oameni preocupați de schimbările climatice. Rezultatele noastre arată că o astfel de creștere a gradului de preocupare poate spori disponibilitatea oamenilor de a-și schimba stilul de viață.
- De asemenea, este important ca organizațiile implicate în comunicarea despre schimbările climatice să își asume un rol activ în mediul online, nu doar în spațiile unde percepțiile asupra schimbărilor climatice sunt deja conforme cu rezultatele științifice, ci și în ziarele online. Campaniile de sensibilizare a opiniei publice pot face referire la fenomene meteorologice extreme, precum canicula din vara anului 2024 sau la ciclonul Boris, pentru a atrage atenția asupra acestui subiect.

Concluzii

Rezultatele prezentate în acest capitol conturează o imagine importantă despre cum percepe populația României schimbările climatice și impactul acestora. Politicile publice de adaptare și reducere a impactului schimbărilor climatice ar trebui să ia în considerare aceste percepții și atitudini.

Românii se numără printre cei mai sceptici europeni în ceea ce privește contribuția oamenilor la schimbările climatice și consideră că în prezent acestea nu reprezintă o problemă majoră pentru țară. Cu toate acestea, ei sunt preocupați de schimbările climatice și dispuși să își schimbe stilul de viață pentru a reduce impactul acestor schimbări asupra mediului.

Capacitatea de evaluare critică a informațiilor poate amplifica preocuparea față de schimbările climatice și impactul acestora, un aspect care ar putea fi abordat în cadrul unor campanii publice de educare. În acest context, implicarea cercetătorilor, a comunicatorilor (jurnaliști, influenceri, etc), a instituțiilor publice și private în transmiterea informațiilor și argumentelor științifice despre schimbările climatice publicului larg nu trebuie subestimată.

Rezumatul raportului: O privire de ansamblu și rolul comunității științifice

Dr. Cristian Presură



Sumar

Capitolul analizează influența activităților umane asupra schimbărilor climatice și rolul comunității științifice în înțelegerea și comunicarea acestui fenomen. Încălzirea globală, cauzată în principal de emisiile de dioxid de carbon, este un fapt recunoscut de comunitatea științifică internațională. Cercetătorii folosesc modele climatice pentru a prezice fenomene extreme, cum ar fi valurile de căldură și inundațiile, și confirmă aceste predicții prin măsurători directe și indirecte. Comunitatea științifică joacă un rol crucial în educarea publicului și influențarea deciziilor politice, subliniind importanța adoptării de măsuri pentru reducerea emisiilor și adaptarea la schimbările climatice. În România, impactul fenomenelor extreme este resimțit prin secete severe și valuri de căldură intense, iar cercetătorii subliniază nevoia urgentă de a acționa. Comunitatea științifică trebuie să rămână obiectivă și să furnizeze date precise, esențiale pentru deciziile politice și informarea publicului.

Încălzirea globală, rezultat direct al influenței omului, este un fenomen înțeles și recunoscut de comunitatea științifică internațională. Ea îndeplinește cele două cerințe ale unui model științific: face predicții pe baza unor modele matematice și confirmă acele predicții prin măsurători.

Simplu spus, nu este suficient să admitem că temperatura globală medie crește din cauza creșterii concentrației de dioxid de carbon; este important să calculăm exact valoarea (care se apropie de un grad și jumătate în era industrială) și să o verificăm prin măsurători directe (cum ar fi termometre în stații de măsurare și sateliți pe orbita Pământului) sau indirecte (de exemplu, prin expansiunea apei oceanului). Încălzirea globală satisface aceste două criterii: teorie și experiment.

O consecință a încălzirii globale sunt fenomenele extreme, precum valurile de căldură, secetele inundațiile. La prima vedere, este paradoxal: încălzirea globală este responsabilă de creșterea temperaturii medii a Pământului cu peste un grad în era industrială. Ce înseamnă un grad? Pare puțin! Și de ce ar conduce asta la fenomene meteorologice extreme, cum ar fi inundații, furtuni mai devastatoare sau, dimpotrivă, secetă și recorduri de temperaturi?

De fapt, primele consecințe negative ale încălzirii globale nu le vedem direct în creșterea temperaturii medii globale, ci în fenomenele extreme care se manifestă local. Motivul este următorul: atmosfera Pământului este un sistem complex. Cum se spune adesea, bătaia de aripi a unui fluture în Brazilia poate provoca o furtună în altă parte a lumii. Pe de altă parte, nu este neapărat adevărat că, dacă vedem o furtună, vom găsi automat un fluture responsabil de

asta. De ce? Pentru că, de cele mai multe ori, o furtună are nenumărate cauze care conlucrează pentru a produce furtuna.

Este important să înțelegem complexitatea întregului fenomen al încălzirii globale înainte de a avea așteptări nerealiste de la modelele climatologice și de la interpretarea măsurătorilor. Fizica Pământului nu este totuna cu fizica atomului; dacă în al doilea caz putem calcula precis spectrele atomilor, adesea de la modele ab-initio, în primul caz complexitatea interacțiunilor din ecosistemul Pământului face dificile predicțiile cu acuratețe ridicată. În practică, cele mai multe predicții sunt statistice, cu erori mai mari sau mai mici.

Dacă acest lucru este înțeles și acceptat de comunitatea științifică, este mai puțin înțeles și acceptat de societate. O vară mai răcoroasă poate șterge amintirea unor veri caniculare. Ne putem întreba cum putem convinge societatea, în ansamblul ei, de ceea ce comunitatea științifică acceptă azi ca pe un fapt de la sine înțeles: că fenomenele extreme din ultimul timp sunt o consecință directă a contribuției umane la încălzirea globală și anume acumularea de dioxid de carbon în atmosferă.

Pentru comunitatea științifică este evident faptul că frecvența ridicată a multor fenomene extreme este o consecință a influenței omului în încălzirea globală, deoarece modelele climatice prezic acest lucru. În cele mai multe cazuri, oamenii de știință înțeleg mecanismele fizice din spatele formării acestor fenomene extreme, chiar dacă nu pot face întotdeauna predicții exacte. Pentru omul obișnuit, această legătură nu este evidentă.

Din fericire, lucrări precum cea de față aduc informații utile și pentru publicul larg din România. Când este vorba despre România, țara în care trăiesc cei interesați de rezultate, graficele care arată frecvența crescută a valurilor de căldură din ultima perioadă devin instantaneu mai relevante. Este vorba despre noi, despre fiecare dintre noi și, mai ales, despre generația copiilor noștri. Mulți cititori se vor regăsi în observații directe, precum creșterea intensității valurilor de căldură și a numărului acestora. Dintr-o dată, măsurătorile devin credibile și pentru cei care nu sunt oameni de știință.

Un lucru pe care publicul larg trebuie să îl înțeleagă, chiar și la un nivel general, este conceptul de „punct critic”. În esență, este momentul când evoluția unui sistem devine ireversibilă. Un elastic, de exemplu, dacă este întins puțin, revine la situația inițială. Dacă este însă întins foarte mult, se poate rupe; situația devine acum ireversibilă.

Capitolul 6 face o analiză a tipurilor de puncte critice în contextul încălzirii globale. Astăzi, cantitatea ridicată de dioxid de carbon a avut deja o influență covârșitoare asupra climei Pământului, încât se poate foarte bine ca, chiar dacă reducem conținutul de dioxid de carbon la nivelul preindustrial, să nu mai găsim același Pământ ca cel de dinainte.

Iar veștile nu sunt deloc bune. Estimările indică faptul că multe puncte critice climatice sunt atinse odată ce temperatura medie globală depășește 1,5°C față de perioada preindustrială. Ori, azi ne apropiem vertiginos de această valoare. Simplu spus, s-ar putea să fi atins aceste puncte critice, doar că încă nu am realizat asta. Un exemplu de punct critic climatic este pădurea amazoniană: despăduririle și schimbările climatice pot transforma această pădure în savană. Procesul ar elibera cantități semnificative de CO₂ în atmosferă, accelerând încălzirea globală.

Un alt punct critic climatic este Circulația Meridională din Atlantic, care redistribuie căldura și dioxidul de carbon atât din apa de la suprafața oceanului, cât și pe verticală, între nivelurile oceanului. Încălzirea globală slăbește această circulație și, peste un prag critic, o poate chiar opri, cu impact major asupra modului în care căldura se distribuie în zonele învecinate Atlanticului.

Dintre punctele critice sociale, capitolul 6 menționează pe cele negative (crize financiare, migrații, conflicte politice, polarizare socială și crize medicale) dar și pe cele pozitive (cum ar fi adoptarea pe scară largă a vehiculelor electrice, care contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră). De fapt, acestea din urmă sunt singurele puncte critice de control pe care societatea le are în mod direct la îndemână.

Cât de relevante sunt aceste lucruri pentru România? Capitolul 6 ne amintește că România este vulnerabilă la fenomene climatice extreme precum seceta, valurile de căldură și reducerea biodiversității. Pentru toate acestea, circulația meridională din Atlantic joacă un rol important. Slăbirea acestei circulații, datorată încălzirii globale, va conduce iarna la scăderea numărului de zile cu zăpadă. Condițiile de secetă se vor accentua, iar debitele râurilor vor scădea atât iarna cât și vara.

Fenomenele extreme, consecință a încălzirii globale, mai au un ingredient: curenții de aer de mare altitudine. Curenții de aer se formează datorită diferențelor de temperatură dintre două zone, care generează astfel diferențe între presiuni, iar aerul cu presiunea mai mare (cel rece) este împins către cel cu presiunea mai mică (cel cald). Dacă temperatura ar fi fost aceeași peste tot, presiunea ar fi fost, de asemenea, egală și aerul ar fi rămas în loc.

Pentru curenții de aer de mare altitudine, este importantă diferența de temperatură dintre zona Arcticii, aproape de Polul Nord (mai rece) și zona ecuatorului (mai cald). Încălzirea globală crește temperatura peste tot, însă, în practică, Polul Nord se încălzește mai repede decât ecuatorul. Aceasta înseamnă că scade diferența de temperatură dintre Polul Nord arctic și ecuator.

La o diferență de temperatură mai mică, scade și curentul de aer de mare altitudine (jet stream), determinându-l să aibă forme geometrice mai sinuoase și să creeze situații meteorologice stagnante (pentru că aerul rece și cel cald nu se mai schimbă așa de repede). Vom avea blocaje atmosferice. Consecința este că schimbările de vreme vor fi mai rare în timp; valurile de căldură, atunci când vor apărea, vor dura mai mult.

Frecvența și intensitatea acestor valuri de căldură în România este discutată de capitolul 2. Statisticile arată că ceea ce experimentăm în viața noastră (valuri de căldură mai multe în ultimele veri) este confirmat de măsurători: în ultimii 70 de ani, în România s-a înregistrat o creștere atât a frecvenței, cât și a duratei valurilor de căldură. Dacă majoritatea județelor au înregistrat creșteri între 10 și 15 zile pe an ale valurilor de căldură, aceste creșteri sunt de peste 25 de zile în zonele din sud-vestul și estul țării.

Astăzi, recordurile din România vin împreună cu cele din lume. Dacă la nivel global, 22 iulie 2024 a fost cea mai caldă zi cel puțin din 1940, în perioada iunie-iulie 2024 România a fost lovită de cel mai intens și lung val de căldură din istoria recentă; 75% din zilele acestor două luni au reprezentat valuri de căldură.

Predicțiile climatologice restrânse la teritoriul României nu arată deloc încurajator, în cele două scenarii studiate (emisii medii de dioxid de carbon și emisii ridicate). De acum 100 de ani, temperatura medie din România a crescut cu aproape 2 grade. Ea va crește încă cu peste 1,5 grade până în 2100 (în scenariul emisiilor medii) și chiar încă cu peste 4 grade în scenariul emisiilor ridicate.

Impactul acestor creșteri de temperaturi asupra fenomenelor extreme în România, cum sunt valurile de căldură, este major. Până în anul 2050, s-ar putea înregistra până la 2-3 valuri de căldură suplimentare în zonele vestice și nordice, pentru scenariul emisiilor medii, cu o durată suplimentară a valurilor de căldură de 20 de zile. În scenariul pesimist, până în anul 2100, durata valurilor de căldură poate ajunge la 5 luni pe an în zona de sud și sud-est a României!

Astăzi, în lume, 80% din energia globală este încă obținută prin arderea combustibililor fosili. Este puțin probabil ca ȋintele acordului de la Paris să fie atinse și ca situația să se amelioreze, cel puțin pe termen scurt. De aceea este extrem de important ca aceste cifre ale valurilor de căldură să ajungă pe masa decidenților din România. Impactul valurilor de căldură asupra vieții cetățenilor trebuie tratat cu cea mai mare seriozitate; măsurile de pregătire pentru anul viitor și anii ce vin trebuie luate chiar de acum!

Încălzirea globală crește temperatura medie a Pământului; e normal atunci să ne așteptăm, statistic, la mai multe valuri de căldură și perioade secetoase mai lungi. Dar e mai mult de-atât.

Deoarece zona arctică se încălzește mai repede decât ecuatorul, scade diferența de temperatură dintre ele. Curentul jet își scade din intensitate și astfel „răcirea” care vine de la structurile de presiune care se deplasează sub influența curentului jet este mai puțin eficientă. De aceea, valurile de căldură și secetele din România, atunci când vor apărea, se vor întinde pe perioade mai mari de timp. Efectul este mai pronunțat în orașe, denumite și „insule de căldură urbană”, datorită faptului că betonul și asfaltul rețin căldura.

În plus, temperaturile mai ridicate duc la creșterea evaporării apelor din lacuri și sol. Aceasta poate epuiza sursele de apă de pe uscat și usca pământul, contribuind la condiții de secetă. Adicional, temperaturile mai ridicate duc și la rate mai mari de transpirație a plantelor, care usucă și mai mult vegetația, făcând seceta și mai pronunțată.

Problema secetei este abordată în capitolul 3. Aici se arată cum seceta înregistrată între 2018 și 2020 este cea mai lungă înregistrată vreodată. Suprafața afectată de ariditate a crescut astăzi cu 41,5% față de perioada 1971-1980. Mecanismul fizic este crearea unui dom de căldură deasupra Europei, datorat unui sistem persistent de înaltă presiune. Acest dom de căldură favorizează temperaturi record și secete severe. În România, 96% din suprafața țării era afectată de secetă moderată, în iulie 2022, când s-a atins această extremă. Măsurători în celuloza inelelor copacilor din pădurile munților Călimani au arătat că tendința de uscare din estul Europei este fără precedent în ultimii 700 de ani.

Temperaturile ridicate usucă solul, dăunează culturilor și alimentează incendii de vegetație. Dar mai este un lucru. Aceste temperaturi ridicate determină creșterea umidității în atmosferă, care rezultă într-o capacitate ridicată de precipitații. În România, această creștere nu se manifestă egal pe tot parcursul anului. Vara vom avea din ce în ce mai multe valuri de căldură și secete, iarna mai puțină zăpadă (un lucru deja confirmat de măsurătorile ultimilor

60 de ani), iar precipitațiile se vor manifesta mai puternic primăvara și în special toamna, și diferit în funcție de regiune.

În capitolul 3 aflăm că jumătatea de nord-vest a României ar putea înregistra precipitații excedentare, deși va ploua peste tot mai mult. Iarna va ninge mai mult în sudul țării și mai puțin în est. Dacă comparăm anotimpurile, cele mai clare schimbări ale precipitațiilor sunt pentru sezonul de vară. Aici tendința este clar negativă, cu cea mai ploioasă vară în anul 1958 și cea mai secetoasă în anul 2000.

Un punct important este legat de definiția secetei, considerată în general dată de cantitatea de deficit de precipitații. În capitolul 3 se argumentează că ar trebui luată în calcul și temperatura, pentru că o valoare ridicată a temperaturii crește rata de evaporare și reduce umiditatea solului, amplificând efectul secetei, chiar și atunci când precipitațiile sunt cam aceleași.

Variații de precipitații vor exista de la o regiune la alta. Încălzirea globală însă va crește numărul de precipitații în special în nordul țării; în sud ele ar putea să aibă chiar o scădere. Ce ne spun aceste analize? Că apa va deveni o resursă vitală vara, în special în sudul țării. Nu numai populația poate fi afectată direct, dar mai ales culturile agricole, afectate de secetele din ce în ce mai prelungite.

Cum am menționat deja, la baza multor efecte extreme, consecințe ale încălzirii globale, stă creșterea cantității de vaporii de apă din atmosferă. Așa cum știm din experiența cu sauna, cu cât aerul este mai cald, cu atât el poate reține mai mulți vaporii de apă. Pentru fiecare creștere de 1°C a temperaturii, atmosfera poate reține cu aproximativ 7% mai multă umiditate.

Acești vaporii de apă suplimentari nu doar că amplifică efectul de seră (deoarece vaporii de apă sunt un gaz cu efect de seră puternic), dar oferă și mai mult „combustibil” pentru ploii și ninsori mai abundente. Simplu spus, cu mai multă umiditate în atmosferă, furtunile vor produce precipitații mai intense, ducând la inundații.

Capitolul 4 ne arată cum, în următorii 20 de ani, ne așteptăm la o intensificare a furtunilor severe, în special în nordul și sud-estul României. Un rol important îl vor juca două forțe opuse: creșterea instabilității atmosferice (care favorizează furtunile) și creșterea inhibiției convective (care încetinește dezvoltarea furtunilor). În condițiile în care nu se schimbă trendul actual în emisiile de dioxid de carbon, până în 2100 vom mai adăuga patru zile de zile favorabile furtunilor, pe an, în aproape jumătate din teritoriul țării.

Pe viitor, în Europa Centrală și de Est, în scenariul în care emisiile de carbon continuă la același nivel ca cel de astăzi, grindina de mari dimensiuni va avea o probabilitate cu 40-80% mai mare până la sfârșitul secolului. În capitolul 4 este scos în evidență faptul că evoluția viitoare a furtunilor severe depinde și de modul în care România se adaptează la noile provocări ridicate de încălzirea globală. Ca răspuns la secetă, ne putem aștepta la creșterea zonelor irigate. Aceasta însă schimbă microclimatul local, crește conținutul de umiditate atât din sol, cât și din atmosferă, și asta favorizează furtunile.

Pentru toate aceste provocări, înainte de a veni cu măsuri eficiente de reacție sau prevenție, este nevoie, în primul rând, să le înțelegem. De aceea este bine-venită propunerea din capitolul 4 pentru consolidarea infrastructurii de monitorizare și extinderea bazelor de date cu datele astfel obținute. Aceste date trebuie însă să ajungă la cercetători, pentru ca aceștia

să le analizeze corespunzător și să tragă concluziile necesare. Nu în ultimul rând, educația despre efectele fenomenelor extreme (și ale încălzirii globale) trebuie continuată, în special în zonele rurale mai îndepărtate, adesea afectate direct de aceste fenomene.

Având în vedere creșterea incidenței fenomenelor meteo extreme și faptul că unele din aceste fenomene au un impact mai mare în zonele urbane (de exemplu valurile de căldură) e important să ne întrebăm care sunt provocările actuale cu care se confruntă orașele din România în fața schimbărilor climatice? Astfel Capitolul 5 ne reamintește că cele mai frecvente hazarduri rămân temperaturile ridicate și furtunile severe. În "insulele de căldură urbană", temperatura depășește adeseori cu 2-3 grade Celsius temperatura din zonele învecinate. Este cunoscut faptul că această diferență este direct proporțională cu aria orașului. Capitolul 5 ne arată cum aproape jumătate din populația orașelor mari este supusă unui risc termic ridicat.

Pentru reducerea acestor riscuri, este crucial ca administrațiile marilor orașe să permită și să încurajeze dezvoltarea spațiilor verzi, precum și modernizarea clădirilor și a infrastructurii ținând cont de evoluțiile climatologice.

Dat fiind acest impact imediat asupra bunăstării și sănătății publice e important să înțelegem și care sunt atitudinile și percepțiile românilor față de schimbările climatice? În Europa, de exemplu, tinerii sunt conștienți de aceste probleme, iar unii dintre ei sunt chiar activi în a-și face cunoscute îngrijorările. Asta este un semn bun, în fond viitorul este al lor. Dar cum stăm la acest capitol în România? Capitolul 9 explorează exact acest subiect și ne prezintă detalii interesante despre modul în care am putea construi o platformă de dialog eficientă cu publicul larg despre schimbările climatice.

În mare, România reflectă parțial tendințele europene; de exemplu, nivelul de interes pentru fenomenele climatice crește odată cu nivelul de pregătire. Între problemele de mediu, doar 7% dintre românii intervievați le consideră prioritare pe cele climatice, pe primele locuri aflându-se problemele precum defrișările și eliminarea deșeurilor menajere.

Interesant este scepticismul relativ ridicat al românilor când vine vorba de cauza schimbărilor climatice: doar jumătate dintre ei cred că acestea sunt cauzate direct de emisiile de carbon din epoca industrială, cealaltă jumătate considerând că procesele naturale, independente de om, joacă un rol la fel de important.

În ciuda mesajelor negaționiste despre încălzirea globală, românii sunt conștienți de impactul schimbărilor climatice, iar unii dintre ei sunt chiar dispuși să își schimbe stilul de viață pentru a reduce impactul asupra mediului. Paradoxal, deși tinerii sunt printre cei care recunosc efectele, se pare că sunt printre cei mai puțin dispuși să își schimbe stilul de viață.

Ce putem învăța din aceste observații? În primul rând, dezvoltarea unei gândiri critice este crucială pentru conștientizarea faptului că schimbările climatice au ca primă cauză influența omului. Campaniile de comunicare, pe de altă parte, trebuie să se concentreze nu doar pe explicații științifice, ci și pe impactul direct asupra vieții oamenilor. Este clar că politicile publice care combat efectele negative ale schimbărilor climatice sau care promovează economia verde nu pot avea succes dacă societatea nu înțelege ce sunt aceste schimbări climatice și nu este de acord să facă schimbări.

Să sperăm că, în timp, când evidențele devin puternice și remarcate de societate, aceasta va

carbon, ci și pentru a ne pregăti pentru anii ce urmează, cu măsuri care să combată cât mai eficient efectele negative ale încălzirii globale, unele dintre ele deja ireversibile. De acest aspect depinde, în mare parte, calitatea vieții generațiilor care ne vor urma.

De aceea, trecerea în revistă a politicilor climatice din capitolul 7 este binevenită. Apartenența la Uniunea Europeană vine nu doar cu avantaje, ci și cu norme și planuri comune; neutralitatea climatică în anul 2050 nu face excepție. Este bine de știut că România a adoptat o serie de documente strategice pentru a se alinia cu celelalte țări europene. În plus, este binevenită și prezența Comitetului Interministerial privind schimbările climatice, care funcționează la Centrul Guvernului. În perioada următoare, România urmează să adoptă o „strategie de adaptare la schimbările climatice”.

Că este loc de mai bine, nu se poate nega. Nu este de mirare că alte țări vestice sunt în "pole position" când vine vorba de inițiative climatice; România este cel mai adesea reactivă față de acestea. Capitolul 7 menționează o inițiativă pentru o "lege a climei" care ar putea armoniza diferitele aspecte ale implementării. Din păcate însă aceasta nu pare să avanseze la momentul actual în forurile decizionale din România.

Emisiile de dioxid de carbon au fost în 2019 cu 70% mai mici decât cele din 1990; este mai mult o întâmplare, rezultat al tranziției de la economia poluantă și neperformantă din perioada comunistă, la cea de piață a zilelor noastre. Această cifră trebuie să ajungă la 78% în 2030 pentru a atinge neutralitatea climatică în 2050. Ponderea surselor de energie regenerabilă în consumul brut de energie trebuie să crească la 36% în 2030 și 86,1% în anul 2050. Acest proces implică, evident, și un cost. De exemplu, reducerea subvențiilor directe și indirecte care încă există pentru consumul de combustibili fosili va avea pentru România un cost fiscal estimat la 0,42% din PIB în 2021. În plus, vor fi necesare investiții în surse regenerabile de energie (pompe de căldură, hidrogen verde etc.).

În fața acestor provocări, ridicate de raportul de față, comunitatea științifică trebuie să continue să facă ceea ce a făcut dintotdeauna: să fie sinceră în investigațiile ei științifice. Indiferent de ceea ce crede sau își dorește societatea, măsurătorile trebuie să scoată la iveală situația actuală și ceea ce va urma în diferitele scenarii. Așa cum s-a întâmplat de-a lungul istoriei, consensul comunității științifice este punctul de plecare în luarea unor decizii de către decidenții politici.

Raportul de față are marele avantaj că se referă specific la România. El poate fi folosit pentru a înțelege impactul încălzirii globale asupra țării noastre, în special legătură cu fenomenele extreme, legătura mai puțin cunoscută de public. Desigur, evoluția climei are o puternică componentă statistică, nu putem spune cu siguranță dacă în iulie anul viitor va fi un val de căldură, dar putem spune cu siguranță că vor fi mai multe în anii ce vin. Cu cât rezultatele științifice ale acestui raport ajung mai repede la publicul larg, cu atât societatea va înțelege mai devreme că trebuie să luăm măsuri nu numai pentru a reduce emisiile de carbon, dar și pentru a ne proteja din timp de efectele fenomenelor extreme.

Figuri grafice

Capitolul 1

Figura 1 - Temperatura medie globală lunară între ianuarie 1940 și decembrie reprezentată ca o serie de timp pentru fiecare an. Sursa datelor: ERA5 via CS3/ECMWF.

Figura 2 - Distribuția anuală (1940—2023) a anomaliilor temperaturii medii globale față de perioada de referință 1991—2020. Pentru comparație sunt prezentate separat și distribuțiile anomaliilor temperaturii pentru 1940, 1980 și 2023.

Figura 3 - Distribuția anuală (1940—2023) a numărului de zile cu anomalii ale temperaturii medii globale față de perioada de referință 1991—2020 mai mari de 1°C.

Figura 4 - Conținutul de căldură al oceanului (în Zetta Joule, ZJ) din stratul 0—2000 m pentru intervalul 1960—2023 față de perioada de referință 1981—2010.

Figura 5 - Concentrația lunară a dioxidului de carbon (sus, exprimată în părți per milion) și a metanului (jos, exprimată în părți per miliard) din atmosferă între ianuarie 2003 și decembrie 2023 (media pe coloană obținută din date satelitare).

Capitolul 2

Figura 1 - Evoluția, la nivel de țară, a duratei (a) și frecvenței (b) valurilor de căldură pentru perioada 1951-2023. Perioada analizată 1950-2023. Sursa datelor: EOBS 29.0e (Cornes et al. 2018).

Figura 2 - Tendința liniară a duratei (a) și frecvenței (b) valurilor de căldură pentru sezonul extins Mai — Septembrie. Punctele indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic. Perioada analizată 1950-2023. Sursa datelor: EOBS 29.0e (Cornes et al. 2018).

Figura 3 - a) Distribuția duratei (adică suma tuturor zilelor afectate de un HW) pe două perioade, 1961-1990 (bare portocalii) și 1991-2023 (bare roșii); b) Distribuția numărului de HW (adică suma tuturor HW) pe două perioade, 1961-1990 (bare gri) și 1991-2023 (bare roșii) și c) Distribuția anomaliilor cumulative (adică suma anomaliilor temperaturii maxime zilnice pentru toate zilele afectate de un HW) pe două perioade, și anume 1961-1990 (bare gri spre portocaliu) și 1991-2023 (bare galben spre roșu). Săgețile negre și roșii din a), b) și c) indică rata de schimbare (ca %) între cele două perioade analizate.

Figura 4 - a) Evoluția temporală și b), c), d) și e) - schimbările temperaturii medii anuale. În b) și c) hărțile arată schimbările de temperatură pentru perioada 2031-2050, iar în d) și e) hărțile arată schimbările de temperatură pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). În b), c), d) și e) schimbările sunt raportate la perioada 1971- 2000. Zonele hasurate indica tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificatie). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 5 - a) Evoluția temporală a temperaturii medii lunare, mediată la nivelul României, pentru scenariul cu emisii medii (RCP45) și b) pentru scenariul cu emisii ridicate (RCP85). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 5 - a) Evoluția temporală a temperaturii medii lunare, mediată la nivelul României, pentru scenariul cu emisii medii (RCP45) și b) pentru scenariul cu emisii ridicate (RCP85). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 6 - Hărțile corespunzătoare schimbărilor în frecvența valurilor de căldura. Modificările sunt raportate la perioada 1971 — 2000. Hărțile din partea superioară arată schimbările în frecvența valurilor de căldura pentru perioada 2031-2050, iar hărțile din partea inferioară, pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările care rezultă din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). Zonele hasurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificatie). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 7 - Similar cu Figura 6, dar pentru schimbările în durata valurilor de căldura.

Capitolul 3

Figura 1 - O tendință generală de uscare pe întreg teritoriul României în decursul ultimilor 66 de ani, Zonele hașurate indică tendințe semnificative din punct de vedere statistic (nivel de încredere de 99 %). Sursa date: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018)

Figura 2 - Evoluția temporală a procentului de suprafață afectată de secetă la nivelul României pentru a) SPEI12, pentru trei categorii de severitate a secetei: moderată (galben), severă (portocaliu) și extremă (roșu închis).

Figura 3 - Evoluția temporală a fenomenului de secetă, pe trei categorii (moderată, severă și extremă), pe baza indicelui SPEI12 la 19 stații cu observații pe termen lung de pe teritoriul României. Numele stațiilor analizate este indicat în fiecare panel. Fiecare panel arată evoluția fenomenului de secetă pe o perioadă de câte 25 de ani. a) Perioada 1901 — 1925; b) Perioada 1926 — 1950; c) Perioada 1951 — 1975; d) Perioada 1976 — 2000 și e) Perioada 2001 — 2023.

Figura 4 - Comparatie spațială a principalelor secete la nivelul României. Prezentate sunt doar lunile când s-a atins maximul, în termeni de intensitate, pentru primele 3 evenimente analizate pentru perioada 1901 — 2023. a) SPEI12 - Septembrie 1946; b) SPEI12 - Mai 2020 și c) SPEI12 - Iulie 2022. Valorile de culoare albe indică regiunile afectate de un excedent de umezeală/precipitații, în timp ce valori de culoare maro indică regiunile afectate de secetă.

Figura 5 - Anomaliile medii ale indicelui de secetă SPEI12 Decembrie. În a) și b) hărțile arată schimbările SPEI12 Decembrie pentru perioada 2031-2050, iar în c) și d) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2051-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP4.5), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP8.5). În a), b), c) și d) schimbările sunt raportate la perioada 1971 — 2000. Zonele hasurate indica tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificatie). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 6 - Ciclul anual al cantităților de precipitații pentru patru perioade climatologice: 1961 — 1990 (portocaliu); 1971 — 2000 (verde deschis), 1981 — 2010 (gri) și 1991 — 2000 (verde închis). De asemenea este indicată și cantitatea anuală de precipitații pentru fiecare perioada climatologică în partea dreapta de sus. Sursa datelor: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018).

Figura 7 - a) Evoluția temporală a cantităților de precipitații medii anuale, mediate la nivelul României și tendința liniară corespunzătoare (linia roșie); b) Tendința liniară a cantităților de precipitații la nivel de țară; c) ca în a) dar pentru sezonul de iarnă (DJF); d) ca în b) dar pentru sezonul de iarnă (DJF); e) ca în a) dar pentru sezonul de primăvară (MAM); f) ca în b) dar pentru sezonul de primăvară (MAM); g) ca în a) dar pentru sezonul de vară (JJA); h) ca în b) dar pentru sezonul de vară (JJA); i) ca în a) dar pentru sezonul de toamnă (SON); j) ca în b) dar

pentru sezonul de toamna (SON). În b), d), f) și h) zonele hașurate indica o tendință semnificativă din punct de vedere statistic, la nivelul de semnificație de 99%. Sursa datelor: TerraClim (Abatzoglou et al. 2018).

Figura 8 - a) Evoluția temporală și b), c), d) și e) - schimbările cantităților de precipitații anuale. În b) și c) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2031-2050, iar în d) și e) hărțile arată schimbările cantităților de precipitații pentru perioada 2071-2100. Hărțile din partea stângă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii medii (RCP45), în timp ce hărțile din partea dreaptă arată schimbările rezultate din scenariul cu emisii ridicate (RCP85). În b), c), d) și e) schimbările sunt raportate la perioada 1971 — 2000. Zonele hasurate indica tendințe semnificative din punct de vedere statistic (99% nivel de semnificație). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Figura 9 - a) Evoluția temporală a cantităților de precipitații lunare, mediata la nivelul României, pentru scenariul cu emisii medii (RCP45) și b) pentru scenariul cu emisii ridicate (RCP85). Sursa date: RoClib (Dumitrescu et al. 2023).

Capitolul 4

Figura 1 - Distribuția numărului de ore cu condiții pentru apariția furtuni însoțite de descărcări electrice și a furtunilor severe (furtuni care pe lângă descărcări electrice pot să producă grindină de mari dimensiuni, vânt și precipitații intense) în România între 1940 și 2023: (a) și (b) numărul mediu anual (ore pe an) și (c) și (d) schimbarea în numărul mediu anual (ore în 10 ani). Punctele indică regiunile în care creșterea este statistică din punct de vedere statistic.

Figura 2 - Distribuția numărului mediu anual de ore per 5 ani cu (a) grindină de mari dimensiuni (> 2 cm) și (b) foarte mari dimensiuni pentru intervalul 1950-2021 pe baza setului de date dezvoltat de Battaglioli et al. (2023). De asemenea este reprezentată și trendul (număr de ore per 10 ani) pentru (c) grindină de mari dimensiuni și (d) grindină de foarte mari dimensiuni. Scara de culori este definită separat pentru fiecare dintre cele patru hărți.

Figura 3 - Distribuția numărului mediu de zile cu condiții pentru furtuni (a) pentru perioada istorică 1971-2020 și previziunile (schimbarea pentru numărul anual de condiții pentru furtuni) pentru 2021-2050 (b) și (c) și pentru 2071-2100 (d) și (e). Au fost utilizate două scenarii climatice RCP4.5 (b) și (d) și RCP8.5 (c) și (e). Figura este adaptată după Figura 12 din Púčik et al. (2017).

Figura 4 - Distribuția mediilor care susțin apariția furtunilor cu grindină de mari dimensiuni (a)-(c) pentru grindină cu diametrul mai mare de 2 cm și (d)-(f) pentru grindină cu diametrul mai mare de 5 cm. (a) și (d) prezintă distribuția evenimentelor cu grindină (evenimente pe an) pentru perioada 1971-2020. Schimbarea procentuală față de perioada istorică este prezentată în (b) și (e) pentru scenariul RCP45, iar în (c) și (f) pentru scenariul RCP85. Figura este adaptată după Figura 2 din Rädler et al. (2019).

Capitolul 5

Figura 1 - Intensitatea medie (sus) și maximă (jos) a Insulei de Căldură Urbană la suprafață, în orașele cu mai mult de 30.000 de locuitori, în luna iulie, pe timp de noapte (stânga) și pe timp de zi (dreapta).

Figura 2 - Ponderea populației care locuiește în areale construite cu risc termic ridicat și foarte ridicat (cumulat zi și noapte) în orașele cu o populație mai mare de 30.000 de locuitori.

Figura 3 - Modificări ale temperaturii maxime (TXm, °C) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

Figura 4 - Modificări ale temperaturii minime (TNm, °C) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

Figura 5 - Modificări ale numărului de valuri de căldură (HWn) în perioada 2021-2040 față de 1981-2010.

Capitolul 6

Figura 1 - Evoluția concentrației de CO₂ (în părți per million - ppm) din atmosferă în ultimii 800.000 ani, derivate din sondaje în calota glaciară din Antarctica. Maximele și minimele marchează ciclurile glaciare. Pe parcursul acestor cicluri, concentrația de CO₂ nu a depășit 300 ppm. Creșterea din ultimii 60 ani este de 100 de ori mai mare decât creșterile precedente, naturale. (Lüthi, et al., 2008). Disponibil la NOAA: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=121>

Figura 2 - Reprezentare conceptuală a unei tranziții critice. Dacă bila albastră din partea stângă este împinsă spre dreapta cu o forță relativ mică, ea nu va depăși punctul de maxim din dreapta și va rămâne în apropierea stării de echilibru inițiale. În schimb, dacă aceeași bilă este împinsă suficient de puternic înspre dreapta, atunci ea va depăși punctul de maxim și va trece rapid și ireversibil în starea de echilibru din dreapta, care este semnificativ diferită de cea inițială. Încălzirea globală poate "împinge" sistemele climatice peste punctele lor critice.

Figura 3 - Componente climatice critice.

Capitolul 7

Figura 1 - Evoluția emisiilor și absorbțiilor agregate GES (emisii nete) per sector (în kt CO₂-eq), 1989-2019.

Figura 2 - Emisii de GES per tip de gaze (cota procentuală din total). Sursa: INEGES 2021 (Raportul inventarului național - NIR și Format comun de raportare - CFR).

Figura 3 - Țintele și traiectoria estimată privind reducerea emisiilor nete de GES. Sursa: PNIESC (2024, 63).

Capitolul 8

Figura 1 - Evoluția emisiilor și absorbțiilor agregate de GES (emisii nete), 1989-2019 Sursa: STL (2023, 37).

Figura 2 - Ponderea estimată a SRE în consumul final brut de energie pe tip de tehnologie Sursa: PNIESC (2024, 68).

Figura 3 - Traiectoria capacității instalate de producție per tehnologie SRE, 2019-2050 Sursa: PNIESC (2024, 70).

Figura 4 - Evoluția estimată a mixului de energie electrică, 2019-2050 Sursa: PNIESC (2024, 79).

Capitolul 9

Figura 1 - Principalele probleme de mediu indicate de respondenți. Schimbările climatice vin pe locul 5, după defrișări, managementul deșeurilor, poluarea atmosferică, folosirea resurselor naturale.

Figura 2 - Nivelul de îngrijorare a respondenților față de impactul schimbărilor climatice asupra generațiilor viitoare (stânga sus), asupra lumii (dreapta sus), asupra României (stânga jos) și asupra nivelului individual (dreapta jos).

Glosar

Absorbant de carbon: Orice proces, activitate sau mecanism care absoarbe dioxid de carbon din atmosferă, cum ar fi pădurile, solurile și oceanele.

Acidificarea oceanelor: Scăderea pH-ului oceanului cauzată de absorbția de dioxid de carbon din atmosferă, afectând organismele marine și ecosistemele.

Acordul de la Paris: Acord global din 2015 care vizează limitarea creșterii temperaturii medii globale la sub 2°C peste nivelurile preindustriale și eforturi pentru a limita creșterea la 1,5°C.

Adaptare: Procesul de ajustare la clima actuală sau așteptată și la efectele sale, pentru a modera daunele sau a exploata oportunitățile benefice.

Albedo: Frațiunea de radiație solară reflectată de o suprafață sau obiect, exprimată ca procent; suprafețele cu albedo ridicat, precum gheața și zăpada, reflectă mai multă energie solară.

Anomalii climatice: Abateri de la valorile medii climatologice pe termen lung pentru un anumit parametru climatic, cum ar fi temperatura sau precipitațiile, indicând variații climatice semnificative.

Anomalia temperaturii: Diferența dintre temperatura măsurată într-o anumită perioadă și o valoare de referință (medie climatologică pe termen lung), utilizată pentru a evidenția variațiile climatice de la o perioadă la alta.

Atenuare: Intervenții umane menite să reducă sursele sau să mărească absorbția de gaze cu efect de seră, cu scopul de a limita amploarea schimbărilor climatice.

Calota glaciară din Antarctica: Cea mai mare masă de gheață de pe Pământ, care acoperă continentul antarctic și conține suficiente rezerve de apă dulce pentru a crește nivelul mării cu zeci de metri dacă s-ar topi complet.

Calota glaciară din Groenlanda: Masă vastă de gheață care acoperă aproximativ 80% din Groenlanda, a doua cea mai mare calotă glaciară din lume, a cărei topire contribuie semnificativ la creșterea nivelului mării.

Circulația Meridională din Atlantic (Atlantic meridional overturning circulation, AMOC): Un sistem major de curenți oceanici care transportă apă caldă din tropice către Atlanticul de Nord, influențând clima regională și globală. Slăbirea sau oprirea AMOC ar putea avea efecte semnificative asupra climei.

Captarea și stocarea carbonului (CSC): Tehnologii care captează dioxidul de carbon emis de surse mari, cum ar fi centralele electrice, și îl stochează în subteran pentru a preveni eliberarea în atmosferă.

Conținutul de căldură al oceanului: Cantitatea totală de energie termică stocată în oceane, care joacă un rol crucial în reglarea climatului global prin absorbția excesului de căldură din atmosferă.

CAPE — Energia Potențială Disponibilă pentru Convecție (Convective Available Potential Energy): Este o măsură a instabilității atmosferice și reprezintă energia disponibilă pentru formarea furtunilor convective (cum ar fi furtunile cu descărcări electrice).

Creșterea nivelului mării: Ridicarea nivelului mediu global al mării datorită expansiunii termice a apei și topirii ghețarilor și calotelor glaciare.

Defrișare: Înlăturarea permanentă a pădurilor și conversia terenului pentru alte utilizări, ceea ce reduce absorbția de CO₂ și eliberează carbonul stocat în copaci.

Dioxid de carbon (CO₂): gaz cu efect de seră predominant, produs prin arderea combustibililor fosili, defrișări și alte procese industriale, având cel mai mare impact asupra încălzirii globale datorită concentrației sale ridicate și duratei lungi de viață în atmosferă.

Emisii antropogene: Emisii de gaze și particule rezultate din activitățile umane, inclusiv industrializarea, transportul, agricultura și defrișările.

Energie regenerabilă: Energie obținută din resurse care se reînnoiesc natural într-un interval de timp scurt, cum ar fi soarele, vântul, apa și biomasa.

Fenomen meteorologic extrem: Evenimente meteorologice rare și intense, cum ar fi valurile de căldură, secetele, inundațiile, furtunile severe și precipitațiile extreme, care depășesc valorile obișnuite și au potențialul de a provoca daune semnificative.

Forțare radiativă: Măsură a influenței unui factor asupra echilibrului energetic al sistemului climatic; o forțare pozitivă încălzește sistemul, în timp ce una negativă îl răcește.

Furtuni convective: Furtuni care se formează prin convecție atmosferică, caracterizate de nori cumulonimbus și asociate adesea cu precipitații intense, descărcări electrice, vânturi puternice și grindină.

Furtuni severe: Evenimente meteorologice intense care pot include tornade, grindină de mari dimensiuni, vânturi puternice și precipitații extreme, având potențialul de a provoca daune semnificative infrastructurii și vieții umane.

Gazele cu efect de seră (GES): Gaze prezente în atmosferă care absorb și emit radiație în intervalul infraroșu, contribuind astfel la efectul de seră și la încălzirea globală. Exemplele principale includ dioxidul de carbon (CO₂), metanul (CH₄), oxidul de azot (N₂O) și gazele fluorurate.

Grindină de mari dimensiuni: Precipitații solide cu diametrul de cel puțin 2 centimetri, care se formează în nori cumulonimbus și pot cauza daune considerabile.

Impact social și economic al schimbărilor climatice: Consecințele schimbărilor climatice asupra societății și economiei, inclusiv pierderi economice, migrație, insecuritate alimentară, conflicte sociale și afectarea sănătății umane.

Indicele Standardizat de Precipitații-Evapotranspirație
(Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI):

Un indice climatic care cuantifică seceta atât prin considerarea precipitațiilor, cât și a evapotranspirației potențiale, oferind o măsură a deficitului sau surplusului de apă.

Instabilitate atmosferică: O condiție în atmosferă care favorizează ascensiune aerului cald și umed, conducând la formarea de nori și potențial la dezvoltarea furtunilor convective și a fenomenelor meteorologice severe.

Insula de Căldură Urbană (ICU): Este un fenomen climatic urban în care zonele dens construite, precum orașele, sunt mai calde decât zonele rurale din jur. Acest fenomen este cauzat de activitățile umane, suprafețele impermeabile (beton, asfalt) și lipsa vegetației, care împiedică răcirea naturală a solului. Insulele de căldură urbane intensifică efectele valurilor de căldură și cresc riscurile asociate sănătății în orașe.

Încălzire globală: Creșterea observată a temperaturii medii globale a aerului și a oceanelor, cauzată în principal de emisiile antropogene de gaze cu efect de seră.

Mecanisme de feedback: Procese care pot amplifica sau diminua răspunsul sistemului climatic la o perturbare inițială, cum ar fi feedback-ul albedo-zăpadă sau feedback-ul vaporilor de apă.

Metan (CH_4): Un gaz cu efect de seră puternic, cu un potențial de încălzire globală de mai mare decât CO_2 , emis din surse naturale și antropogene, cum ar fi agricultura, extracția combustibililor fosili și descompunerea deșeurilor.

Modele climatice: Reprezentări matematice complexe ale sistemului climatic al Pământului, utilizate pentru a simula interacțiunile dintre atmosferă, oceane, suprafața terestră și gheață, și pentru a proiecta schimbările climatice viitoare.

Pierderea biodiversității: Reducerea diversității speciilor și ecosistemelor, adesea cauzată de schimbările climatice, poluare, pierderea habitatului și activități umane.

Precipitații: Orice formă de apă care cade din atmosferă pe suprafața Pământului, inclusiv ploaie, zăpadă, lapoviță sau grindină, esențială pentru ciclul hidrologic și resursele de apă.

Protocolul de la Kyoto: Acord internațional adoptat în 1997 care stabilește obiective obligatorii de reducere a emisiilor pentru țările industrializate.

Puncte critice climatice: Praguri în sistemul climatic care, odată depășite, pot declanșa schimbări rapide, ireversibile și de mare amploare în sistemul climatic, cum ar fi topirea calotelor glaciare.

Puncte critice sociale: Praguri în sistemele sociale care, odată depășite, pot declanșa schimbări rapide și profunde în structurile sociale, economice sau politice, influențând capacitatea societății de a răspunde la provocări precum schimbările climatice.

Puncte de inflexiune: Praguri critice în sistemul climatic care, odată depășite, pot conduce la schimbări rapide și ireversibile în mediul natural.

Scenarii climatice: Proiecții ale evoluției viitoare a climatului bazate pe diferite ipoteze privind dezvoltarea socio-economică, emisiile de gaze cu efect de seră și politici de mediu, utilizate pentru a evalua potențialele impacturi și riscuri climatice.

Scenariile RCP (Representative Concentration Pathways) sunt traiectorii în funcție de timp ale concentrațiilor de gaze cu efect de seră (GES) adoptate de Grupul Interguvernamental privind Schimbările Climatice (IPCC) pentru a oferi o bază pentru modelarea și cercetarea climatică. Aceste traiectorii reprezintă diferite scenarii ale potențialelor niveluri viitoare de forțare radiativă, o măsură a modificării nete a echilibrului energetic al sistemului climatic al Pământului cauzată de activitățile umane. Scenariile RCP permit oamenilor de știință să proiecteze schimbările climatice viitoare în cadrul diferitelor scenarii de emisii. Aceste proiecții sunt esențiale pentru înțelegerea impactului potențial al schimbărilor climatice asupra diferitelor aspecte ale sistemului terestru, inclusiv temperatura, regimul precipitațiilor, creșterea nivelului mării și fenomenele meteorologice extreme. Scenariile RCP joacă, de asemenea, un rol esențial în fundamentarea politicilor climatice și a procesului decizional. Prin ilustrarea consecințelor potențiale ale diferitelor căi de emisie, acestea ajută factorii de decizie politică să evalueze eficacitatea strategiilor de atenuare și adaptare și să identifice căile către un viitor mai durabil. În acest capitol am folosit două tipuri de scenarii RCP: RCP 4.5 - Acest scenariu presupune stabilizarea forțării radiative în jurul valorii de 4.5 W/m² până în 2100, fără a depăși acest nivel. Reprezintă o traiectorie intermediară cu eforturi de atenuare moderate. RCP 8.5 - Acest scenariu presupune menținerea unui nivel ridicat al emisiilor de gaze cu efect de seră pe parcursul secolului XXI, ceea ce conduce la o forțare radiativă de 8.5 W/m² până în 2100. Acesta reprezintă o traiectorie cu emisii foarte mari de gaze cu efect de seră și eforturi de atenuare limitate.

Schimbări climatice: Modificări semnificative și de durată ale climei la nivel global sau regional, în principal datorate activităților umane care cresc concentrațiile gazelor cu efect de seră în atmosferă, dar la care poate contribui și variabilitatea naturală. Aceste schimbări includ creșterea temperaturilor medii globale, variații ale precipitațiilor, evenimente meteorologice extreme și creșterea nivelului mării.

Semnale de Atenționare Timpurie (Early Warning Signals): Indicatoare precursor care sugerează apropierea unui sistem de un punct critic sau de o tranziție bruscă, permițând anticiparea și gestionarea riscurilor asociate.

Secetă: se referă, în general, la condiții anormal de uscate. În termeni generali, seceta este un fenomen natural definit ca fiind apariția susținută și extinsă a unei disponibilități de apă sub medie. Cu toate acestea, semnificația cuvântului „uscat” poate fi ambiguă și poate duce la confuzie în ceea ce privește definirea efectivă a secetei. Pot fi recunoscute cinci tipuri generale de secetă, care descriu un set ierarhic util de caracterizare a deficitului de apă, fiecare cu impacturi diferite: 1. seceta meteorologică - definită pe baza deficitului de precipitații; 2. seceta agricolă, în care disponibilitatea apei din sol pe parcursul sezonului de vegetație este factorul critic; 3. seceta hidrologică - în care deficitele acumulate în debitele râurilor sau în alimentarea apelor subterane sunt de primă importanță; 4. seceta ecologică - este un deficit episodic în disponibilitatea apei care determină ecosistemele să depășească pragurile de vulnerabilitate, afectează serviciile ecosistemice și declanșează reacții în sistemele naturale și/sau umane; 5. seceta socio-economică - ia în considerare impactul condițiilor de secetă (meteorologică, agricolă sau hidrologică) asupra cererii și ofertei de anumite bunuri economice, precum fructe, legume, cereale și carne. Seceta socio-economică apare atunci când cererea pentru un bun economic depășește oferta ca urmare a unui deficit de aprovizionare cu apă cauzat de condițiile meteorologice.

Temperatură medie anuală: Media aritmetică a temperaturilor medii zilnice înregistrate pe parcursul unui an, utilizată pentru a evalua tendințele climatice la nivel regional sau global.

Temperatura medie globală: Valoarea medie a temperaturilor la suprafața Pământului, calculată pe baza măsurătorilor din întreaga lume, utilizată ca indicator al stării climatului global.

Tornado: Coloane de aer în rotație rapidă, care coboară dintr-un nor cumulonimbus și ating suprafața Pământului, având potențialul de a provoca distrugeri semnificative pe o cale îngustă și de lungime variabilă.

Valuri de căldură: Perioade prelungite de temperaturi extrem de ridicate, adesea combinate cu umiditate crescută, care pot avea efecte negative asupra sănătății umane, agriculturii și infrastructurii.

Referințe

- Abatzoglou, J. T., et al., TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958—2015, DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>.
- ADMINISTRAȚIA FONDULUI PENTRU MEDIU
https://www.afm.ro/casa_verde_pf_informatii_utile.php
- Aguiar, F. C., et al., Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010>
- Allen, J. T., et al., Understanding hail in the earth system, DOI: <https://doi.org/10.1029/2019RG000665>.
- Allen, J., et al., Climate Change and Severe Thunderstorms, DOI: [10.1093/acrefore/9780190228620.013.62](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.62).
- Amihăesei, V.-A., et al., Changes in snow cover climatology and its elevation dependency over Romania (1961—2020), DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101637>.
- Amihăesei, V.-A., et al., RoCliB— bias-corrected CORDEX RCMdataset over Romania, DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.161>.
- Angearu, C. V., et al., Multi-temporal analysis and trends of the drought based on modis data in agricultural areas, Romania, DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12233940>.
- Antonescu, B., et al., A 41-year bioclimatology of thermal stress in Europe, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.7051>.
- Antonescu, B., et al., Tornadoes in Europe: An Underestimated Threat, DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>.
- Antonescu, B., et al., Tornadoes in Europe: Synthesis of the Observational Datasets, DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0298.1>.
- Antonescu, B., et al., Tornadoes in Romania, 143, 689—701, DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00181.1>.
- Bakke, S. J., et al., Recent European drying and its link to prevailing large-scale atmospheric patterns, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48861-4>.
- Bakke, S. J., et al., The 2018 northern European hydrological drought and its drivers in a historical perspective, DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-2020-239>.

Balting, D. F., et al., Northern Hemisphere drought risk in a warming climate, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00218-2>.

Battaglioli, F., et al., Modeled Multidecadal Trends of Lightning and (Very) Large Hail in Europe and North America (1950–2021), DOI <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-22-0195.1>.

Biesbroek, R., Policy integration and climate change adaptation, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.07.003>

Blauhut, V., et al., Lessons from the 2018--2019 European droughts: a collective need for unifying drought risk management, DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2201-2022>.

Boers, N., et al., Critical slowing down suggests that the western Greenland Ice Sheet is close to a tipping point, DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2024192118>

Boers, N., Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01097-4>

Boulton, C. A., et al., Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01287-8>

Boyd, D., et al., Mitigation co-benefits of climate change adaptation: A case-study analysis of eight cities, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103563>

Brando, P. M., et al., Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis, DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010235>.

Burcea, S., et al., Hail Climatology and Trends in Romania: 1961–2014, DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0126.1>.

Busuioc, A., et al., Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4054>.

Cai, Y., et al., Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO₂ emission reduction, DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2964>

Caldarescu, D. E., et al., Compound Hot and Dry Events in Europe: Variability and Large-Scale Drivers, DOI: <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.688991>.

Chen, C., et al., Measuring the adaptation gap: A framework for evaluating climate hazards and opportunities in urban areas, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.007>

Chen, X., et al., Global surface warming enhanced by weak Atlantic overturning circulation, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0320-y>

Chen, Y. , et al., European Summer Wet-Bulb Temperature: Spatiotemporal Variations and Potential Drivers, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0420.1>.

Cheval, S., et al., Climate change perception in Romania. Theoretical and Applied Climatology, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04041-4>.

Cheval, S., et al., MODIS-based climatology of the Surface Urban Heat Island at country scale (Romania), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101056>

Cook, B. I., et al., Megadroughts in the Common Era and the Anthropocene, DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00329-1>.

Cornes, R. C., et al., An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets, DOI: <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.

Croitoru, A. E., et al., Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3567>.

Croitoru, A.-E. E., et al., Changes in heat waves indices in Romania over the period 1961—2015, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.016>.

Dakos, V., et al., Slowing down as an early warming signal for abrupt climate change, DOI: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0802430105>.

DeAngelis, A., et al., Evidence of enhanced precipitation due to irrigation over the Great Plains of the United States, DOI: [10.1029/2010JD013892](https://doi.org/10.1029/2010JD013892).

Dima, M., et al., Evidence for two distinct modes of large-scale ocean circulation changes over the last century, DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2867.1>

Dobri, R. V., et al., Drought extent and severity on arable lands in Romania derived from normalized difference drought index (2001—2020), DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13081478>.

Dudău, R. et. al., Scenarii de adopție a pompelor de căldură în România până în 2030, https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2024/06/Raport-EPG_Scenarii-de-adopție-a-pompelor-de-caldura-in-Romania-pana-in-2023.pdf

Dumitrescu, A., et al., ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961—2013) for nine meteorological variables, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1757-z>.

Ene, D. , et al., Future changes in heatwaves characteristics in Romania, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04412-5>.

EPG 2023: Argumente pentru o lege a Climei în România
<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2023/12/Argumente-pentru-o-lege-a-climei-in-Romania.pdf>

EPG 2024: Argumente pentru o lege a climei în România
<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2023/12/Argumente-pentru-o-lege-a-climei-in-Romania.pdf>

EPG 2024: Bolstering the electricity grid: A priority to achieve Romania's 2030 decarbonisation objectives
<https://www.enpg.ro/bolstering-the-electricity-grid-a-priority-to-achieve-romaniyas-2030-decarbonisation-objectives/>

EPG 2024: The Cost of Romania's Industrial Transition: An Assessment of the Steel, Cement, and Chemicals Sectors
<https://www.enpg.ro/wp-content/uploads/2024/09/EPG-SLIDE-DECK-The-cost-of-Romania-as-Industrial-Transition-18.09.pdf>

European Environment Agency EEA, Climate change as a threat to health and well-being in Europe: focus on heat and infectious diseases.
<https://www.eea.europa.eu/publications/responding-to-climate-change-impacts>

Faranda, D., et al., Persistent anticyclonic conditions and climate change exacerbated the exceptional 2022 European-Mediterranean drought, DOI:
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbc37>.

Fuss, S., et al., Betting on negative emissions, DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2392>.

Groenemeijer, P., et al., A climatology of tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database, DOI: 10.1175/MWR-D-14-00107.1.

Gupta, J., et al., Earth system justice needed to identify and live within Earth system boundaries, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01064-1>.

Haberlie, A. M., et al., The effect of urbanisation on the climatology of thunderstorm initiation, DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.2499>.

Hagen, B., et al., European Climate Change Perceptions: Public support for mitigation and adaptation policies, DOI: <https://doi.org/10.1002/eet.1701>.

Han, Q., et al., Accelerated exacerbation of global extreme heatwaves under warming scenarios, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.7541>.

Hari, V., et al., Increased future occurrences of the exceptional 2018—2019 Central European drought under global warming, DOI:
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-68872-9>.

Hasan, S., et al., Safe and just Earth system boundaries, DOI:
<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>.

Häußler, S., et al., Climate change adaptation networks for small and medium-sized cities, DOI: <https://doi.org/10.1007/s43545-021-00267-7>

Hondula, D.M., et al., Rising temperatures, human health, and the role of adaptation, DOI: <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0016-4>.

Ionita, M., et al., Assessment of droughts in Romania using the Standardized Precipitation Index, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2141-8>.

Ionita, M., et al., Changes in drought features at the European level over the last 120 years, DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1685-2021>

Ionita, M., et al., Forecasting low flow conditions months in advance through teleconnection patterns, with a special focus on summer 2018, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-70060-8>.

Ionita, M., et al., Long term drought intensification over Europe driven by the weakening trend of the Atlantic Meridional Overturning Circulation, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101176>

Ionita, M., et al., Long-term drought intensification over Europe driven by the weakening trend of the Atlantic Meridional Overturning Circulation, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101176>.

Ionita, M., et al., Multidecadal variability of summer temperature over Romania and its relation with Atlantic Multidecadal Oscillation, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0786-8>.

Ionita, M., et al., Past megadroughts in central Europe were longer, more severe and less warm than modern droughts, DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00130-w>.

Ionita, M., et al., The European 2015 drought from a climatological perspective, DOI: <https://doi.org/doi:10.5194/hess-21-1397-2017>.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, DOI: [10.1017/CBO9781139177245](https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245).

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policy Makers, DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Jackson, L. C., et al., Global and European climate impacts of a slowdown of the AMOC in a high resolution GCM, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2540-2>

Jacob, D., et al., EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>

Kautz, L.-A., et al., Atmospheric Blocking and Weather Extremes over the Euro-Atlantic Sector -- A Review, DOI: <https://doi.org/10.5194/wcd-3-305-2022>.

Keith, D. W., et al., Field experiments on solar geoengineering: report of a workshop exploring a representative research portfolio, DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0175>.

Kravitz, B., et al., Climate model response from the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP), DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jgrd.50646>.

Kreibich, H., et al., The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>.

Kühne, T., et al., Lightning Fatalities in Europe (2001-2020), in press.

Laaha, G., et al., The European 2015 drought from a hydrological perspective, DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-3001-2017>.

Lenton, T. M., et al., The Global Tipping Points Report 2023, DOI: <https://global-tipping-points.org/>

Lhotka, O., et al., The 2021 European Heat Wave in the Context of Past Major Heat Waves, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2022EA002567>.

Limitarea schimbărilor climatice și a impactului lor: o abordare integrată pentru România <https://www.presidency.ro/ro/presa/clima-si-sustenabilitate/raportul-limitarea-schimbarilor-climatice-si-a-impactului-lor-o-abordare-integrata-pentru-romania>

Liu, W., et al., Overlooked possibility of a collapsed Atlantic Meridional Overturning Circulation in warming climate, DOI: [10.1126/sciadv.1601666](https://doi.org/10.1126/sciadv.1601666).

Luo, B., et al., Increased Summer European Heatwaves in Recent Decades: Contributions From Greenhouse Gases-Induced Warming and Atlantic Multidecadal Oscillation-Like Variations, DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2023EF003701>.

Lüthi, D., et al., High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present, DOI: <https://doi.org/10.1038/nature06949>

Ma, Q., et al., The role of transient eddies and diabatic heating in the maintenance of European heat waves: a nonlinear quasi-stationary wave perspective, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05628-9>.

Mahoney, K., Extreme hail storms and climate change: Foretelling the future in tiny, turbulent crystal balls?, DPO: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0233.1>.

Malik, A., et al., Impacts of climate change and extreme weather on food supply chains cascade across sectors and regions in Australia, DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00570-3>.

McCulloch, M. T., et al., 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5oC, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01919-7>

McKay, D. I. A., et al., Exceeding 1.5oC global warming could trigger multiple climate tipping points, DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>

McKee, T. B., et al., The relationship of drought frequency and duration yo time scales, DOI: <https://doi.org/10.1002/jso.23002>.

Milkoreit, M., Science and Climate Change Diplomacy: Cognitive Limits and the Need to Reinvent Science Communication, DOI: https://doi.org/10.1142/9789814440073_0006

Nagavciuc, V., et al., A past and present perspective on the European summer vapor pressure deficit, DOI: <https://doi.org/10.5194/cp-20-573-2024>.

Nagavciuc, V., et al., A ~700 years perspective on the 21st century drying in the eastern part of Europe based on $\delta^{18}O$ in tree ring cellulose, DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00605-4>.

Nagavciuc, V., et al., The first tree-ring reconstrruction of streamflow variability over the last 250 years in the Lower Danube, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129150>.

Nistor, L., The Ranking and Rating of Climate Change in Romania: Trends and Individual-Level Determinants, DOI: <https://doi.org/10.31577/sociologia.2022.54.2.6>.

OECD, OECD Economic Surveys: Romania 2024
DOI: <https://doi.org/10.1787/106b32c4-en>

Patriche, C. V., Applying RUSLE for soil erosion estimation in Romania under current and future climate scenarios, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00687>.

Perkins, S. E., A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014>.

Perkins, S. E., et al., On the Measurement of Heat Waves, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>.

Perkins-Kirkpatrick, S. E., et al., Increasing trends in regional heatwaves, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16970-7>.

PLANUL NAȚIONAL INTEGRAT ÎN DOMENIUL ENERGIEI ȘI SCHIMBĂRILOR CLIMATICE 2025-2030,
https://energie.gov.ro/wp-content/uploads/2024/09/A-doua-versiune-in-limba-romana-a-proiectului-PNIESC-actualizat-16.09.2024_RO-1.pdf

Poortinga, W., et al., Climate change perceptions and their individual-level determinants: A cross-European analysis, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.01.007>

Poortinga, W., et al., Uncertain climate: An investigation into public scepticism about anthropogenic climate change, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.001>.

Púčik, T., et al., Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0777.1>.

Rädler, A.T., et al., Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0083-7>.

Raworth, K., Doughnut economics: seven ways to think like a 21st century economist, ISBN: 978-1603586740

Regulament EU 2021/1119 din 30 iunie 2021 de instituire a cadrului pentru realizarea neutralității climatice
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119>

Robinson, P. J., On the Definition of a Heat Wave, DOI:
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2).

Rockström, J., et al., Safe and just Earth system boundaries, DOI:
<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>

Roibu, C. C., et al., The Response of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Populations to Climate in the Easternmost Sites of Its European Distribution, DOI: <https://doi.org/10.3390/plants1123310>.

Roibu, C.-C., et al., A tree ring-based hydroclimate reconstruction for eastern Europe reveals large-scale teleconnection patterns, DOI:
<https://doi.org/10.1007/S00382-022-06255-8>.

Rousi, E., et al., The extremely hot and dry 2018 summer in central and northern Europe from a multi-faceted weather and climate perspective, DOI:
<https://doi.org/10.5194/nhess-23-1699-2023>.

Russo, A., et al., The synergy between drought and extremely hot summers in the Mediterranean, DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf09e>.

Sauer, I. J., et al., Integrating climate change adaptation in coastal governance of the Barcelona metropolitan area, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09953-6>

Scholz, P. , et al., Hotspots for warm and dry summers in Romania, DOI:
<https://doi.org/10.5194/nhess-22-1347-2022>.

Schubert, S. D., et al., Northern Eurasian heat waves and droughts, DOI:
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00360.1>.

Seneviratne, S. I., et al., Changes in Climate Extremes and their Impacts on the Natural Physical Environment, DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>

Shehata, A., et al., Climate Change Frame Acceptance and Resistance: Extreme Weather, Consonant News, and Personal Media Orientations, DOI:
<https://doi.org/10.1080/15205436.2021.1967998>

Smith, P., et al., Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions, DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>.

Soci, C., et al., The ERA5 global reanalysis from 1940 to 2022, DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.4803>.

Stagge, J. H., et al., Observed drought indices show increasing divergence across Europe, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14283-2>.

Stefan, S., et al., Study of meteorological and hydrological drought in southern Romania from observational data, DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1039>.

STRATEGIA ENERGETICĂ A ROMÂNIEI 2025-2035, CU PERSPECTIVA ANULUI 2050, https://energie.gov.ro/wp-content/uploads/2024/06/Strategia_Energetica_vf_rev_1206-1-1.pdf

Strategia Națională de Renovare pe Termen Lung, 2020. HG 1034 din 27 noiembrie 2020, publicată în Monitorul Oficial nr. 1247 din 17 decembrie 2020, <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocumentAfis/236612>

Strategia națională privind adaptarea la schimbările climatice pentru perioada 2024-2030, cu perspectiva anului 2050 (H.G. nr. 1010/2024) <https://www.universuljuridic.ro/strategia-nationala-privind-adaptarea-la-schimbarile-climatice-pentru-perioada-2024-2030-cu-perspectiva-anului-2050-h-g-nr-1010-2024/>

STRATEGIA PE TERMEN LUNG A ROMÂNIEI PENTRU REDUCEREA EMISIILOR DE GAZE CU EFECT DE SERĂ,
<https://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/LTS%20-%20Versiunea%201.0%20-%20Ro%20-%2005.05.2023.pdf>

Tang, B.H., et al., Trends in United States large hail environments and observations, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0103-7>.

Taszarek, M., et al., A climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>.

Taszarek, M., et al., Differing Trends in United States and European Severe Thunderstorm Environments in a Warming Climate, DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0004.1>.

Tong, S., et al., Urban heat: an increasing threat to global health, DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n2467>.

Topor, N., Ani ploioși și secetoși în Republica Populară Romină, LCCN: 90217177

Vaideanu, P., et al., Examining the Eastern European heatwave of 2023 from a long-term perspective: the role of natural variability vs. anthropogenic factors, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-1207>.

Van Loon, A. F., et al., Review article: Drought as a continuum: memory effects in interlinked hydrological, ecological, and social systems, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-421>.

Vautard, R., et al., Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3>.

Vicedo-Cabrera, A. M., et al., The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>.

Vicente-Serrano, S. M., et al., A New Global 0.5° Gridded Dataset (1901–2006) of a Multiscalar Drought Index: Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index, DOI: <https://doi.org/10.1175/2010JHM1224.1>.

Wheatcroft, S. G., The Soviet Famine of 1946–1947, the Weather and Human Agency in Historical Perspective, DOI: <https://doi.org/10.1080/09668136.2012.691725>.

WMO, Handbook of Drought Indicators and Indices, https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf#:~:text=The%20indicators%20and%20indices%20discussed%20in

Winkelmann, R., et al., Social tipping processes for sustainability: An analytical framework, DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.04488>

World Weather Attribution, 2024: World Weather Attribution. <https://www.worldweatherattribution.org/>,.

Yamada, T. J., et al., Extreme precipitation intensity in future climates associated with the Clausius-Clapeyron-like relationship, DOI: <https://doi.org/10.3178/hrl.8.108>.

Zscheischler, J., et al., Future climate risk from compound events, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>.