

**Roxana Bojariu•Alexandru Dumitrescu•Sorin Burcea•Vasile Ștefan Crăciunescu
Marius Mătreăț•Sorin Ionuț Dascălu•Mădălina Godhart•Roxana Diana Cică
Liliana Florentina Velea•Zenaida Chițu•Andrei Niță•Marius Victor Bîrsan**

Schimbarea climatică în sectorul resurselor de apă

- de la bazele fizice la riscuri și adaptare



Roxana Bojariu•Alexandru Dumitrescu•Sorin Burcea•
Vasile Ștefan Crăciunescu•Marius Mătreață•
Sorin Ionuț Dascălu•Mădălina Godhart•
Roxana Diana Cică•Liliana Florentina Velea•Zenaida
Chițu•Andrei Niță•Marius Victor Bîrsan



Administrația Națională de Meteorologie

BUCUREȘTI 2019

Coperta: Câmpia Jijiei.
Foto copertă: Roxana Bojariu.

Copyright © Administrația Națională de Meteorologie

Responsabilitatea conținutului acestei cărți revine în totalitate
autorilor

Cuvânt înainte

Societatea trăiește deja schimbarea climatică, o schimbare mult mai rapidă decât cele din istoria geologică a Terrei de dinainte de Antropocen. În iulie 2013, Guvernul României a adoptat Decizia Guvernamentală numărul 529/2013 privind Strategia Națională în Schimbări Climatice (2013-2020), care stabilește obiectivele post-Kyoto, țintele și acțiunile a două componente principale, respectiv reducerea concentrației gazelor cu efect de seră și adaptarea la schimbarea climatică.

În acest context, cercetătorii din domeniul climei și al evaluării impactului climatic asupra sistemelor naturale și umane au misiunea important de a crea și transfera cât mai rapid și eficient cunoașterea științifică, astfel încât societatea să-și poată planifica și asuma o dezvoltare socio-economică durabilă în noile condiții. Participarea echipelor de cercetători din Administrația Națională de Meteorologie la eforturile europene și globale de analiză a evoluției climei și a impactului acesteia asupra sistemelor naturale și umane s-a concretizat în contribuții valoroase. În cadrul proiectului „Imdroflood” (“Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, a prognozei și atenuării efectelor pentru secetă și inundații pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real”) s-au derulat diverse activități pentru a îmbunătăți monitorizarea și avertizarea timpurie a secetei și a inundațiilor la nivelul bazinelor hidrografice, în general și a bazinului Prut, în special (luat în considerare drept caz de studiu). Proiectul IMDROFLOOD a fost finanțat în cadrul programului PN III- Cooperarea Europeană și Internațională – Subprogram 3.2 - Orizont 2020.

Această lucrare actualizează volumul publicat anterior în cadrul proiectului SEERISK, *Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare* (Bojariu și colab., 2015) cu elemente analizate și dezvoltate în cadrul proiectului IMDROFLOOD, cu particularizare la cazul resurselor de apă.

București, 15 iunie 2019

Mulțumiri

Această lucrare a fost realizată în cadrul proiectului «Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, a prognozei și atenuării efectelor pentru secetă și inundații pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real -IMDROFLOOD» din cadrul Programului Works for Water 2014 (JPI Water). Suntem recunoscători membrilor grupurilor de lucru din cadrul Programului *World Climate Research and Regional Climate și Coupled Modelling*, coordonatoare ale Programului CORDEX, precum și celor din cadrul Programelor *CMIP 5 și CMIP 6* pentru oportunitatea de a folosi rezultatele experimentelor numerice cu modele climatice. Mulțumim grupurilor de modelare ale instituțiilor menționate în lucrare pentru rezultatele de model furnizate comunității științifice. Mulțumim și Earth System Grid Federation pentru infrastructura pusă la dispoziție comunității științifice prin coordonarea asigurată de US Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, European Network for Earth System Modelling și celorlalți parteneri din Global Organisation for Earth System Science Portals (GO-ESSP).

Cuprins

1. Sistemul climatic	8
1.1. Circulația generală a atmosferei.....	11
1.2. Circulația generală a oceanului planetar	12
1.3. Procesele de feedback și forță în sistemul climatic	16
1.4. Ciclul hidrologic.....	18
1.5. Ciclurile carbonului.....	19
1.6. Efectul de seră.....	20
1.7. Variabilitatea internă a geosistemului climatic	22
1.8. Schimbarea climatică actuală.....	23
1.9. Fenomenele meteorologice extreme din perspectiva ciclului hidrologic	25
1.9.1. Ciclonii tropicali	27
1.9.2. Ciclonii extratropicali.....	28
1.9.3. Inundațiile.....	29
1.9.4. Seceta	29
1.10. Predictabilitatea climatică.....	32
2. Date și metode de analiză climatică	35
2.1. Date instrumentale și paleoclimatice	35
2.2. Tehnici statistice	36
2.3. Modelarea climatică și incertitudinile asociate.....	38
2.3.1. Modele climatice deterministe	39
2.3.2. Scenarii climatice.....	41
2.4. Simulări climatice	51
3. Indicii hidroclimatici	61
3.1. Indicele Palmer pentru severitatea secetei (IPSS)	61
3.2. Hazarduri și resurse legate de apă.....	63
4. Impactul schimbării climatice.....	72
4.1. Contextul socio-economic prezent și viitor	72
4.2. Traectoriile socio-economice comune	72
4.3. Scenarii de dezvoltare socio-economică regionale și naționale	72
4.4. Schimbări demografice	73
4.5. Schimbări ale folosirii terenului	75

4.6. Alte schimbări socio-economice.....	77
5. Riscuri legate de schimbarea climei.....	77
5.1. Definirea riscului climatic	78
5.2. Metodologii de evaluare a riscurilor climatice	79
5.3. Riscuri climatice prezente și viitoare	82
6. Adaptarea la schimbarea climei	83
6.1. Ciclul adaptării la variabilitatea și schimbarea climei	83
6.2. Adaptarea climatică în Europa	86
7. Concluzii.....	89
Glosar de termeni	91
Referințe bibliografice	104
Anexă. Listă de proiecte și programe privind produse și servicii climatice, evaluarea riscurilor și adaptarea la	116
variabilitatea și schimbarea climei.....	116

1. Sistemul climatic

Clima este înfășurătoarea fluctuațiilor meteorologice, pe o perioadă mare de timp. Organizația Meteorologică Mondială (OMM) definește clima, în Ghidul practicilor climatologice, ca reprezentând: «sinteza condițiilor de vreme dintr-o anumită zonă, pe baza șirurilor lungi de observație (minimum 30 de ani de referință) ale variabilelor atmosferice» (WMO 1984).

O altă abordare a înțelegerii climei pornește de la definirea unui sistem global format din atmosferă, ocean, criosferă (stratul de zăpadă, ghețarii continentali, permafrostul și gheața marină), litosferă și biosferă (Trenberth 1992). Clima este starea fizică medie a acestui geosistem (Bojariu și colab., 2015).

Clima, ca starea fizică a sistemului climatic, poate fi definită de un set de mărimi mediate la care se adaugă parametrii statistici corespunzători variabilității și fluctuațiilor (varianța, covarianța etc.), care caracterizează structura și evoluția sistemului climatic pe o perioadă de timp dată (Bojariu și colab., 2015).

Funcționarea sistemului climatic este asigurată de aportul energetic al radiației solare. Variații ale concentrației constituenților gazeși și ale aerosolilor din atmosferă împreună cu modificările poziției relative a Pământului față de Soare determină schimbări în intensitatea și distribuția radiației solare la suprafața terestră. Albedoul planetar definește cât din energia solară primită este reflectată în spațiu. Cea mai mare parte din albedoul planetar este datorată norilor, la care se adaugă albedoul suprafeței terestre și fenomenele de reflexie determinate de particulele solide și lichide, în suspensie în atmosferă (Bojariu și colab., 2015).

Componentele geosistemului care prin interacțiune definesc starea climatică observată sunt: (1) atmosfera; (2) oceanul planetar; (3) criosfera (zăpada, gheața marină și ghețarii continentali, permafrostul – solul permanent înghețat); (4) litosfera (continentele); (5) biosfera (figura 1).

Răspunsurile acestor componente la perturbații au scări de timp foarte diferite. Atmosfera poate ajunge la un nou echilibru, după ce asupra sa au acționat perturbații externe, într-un interval de ordinul săptămânilor până la o lună. Stratul oceanic de suprafață se ajustează într-un interval de ordinul săptămânilor sau lunilor. Stratul oceanic de adâncime medie are timpul de răspuns de ordinul anilor. Stratul oceanic de adâncime mare se ajustează la noile condiții într-un interval de ordinul sutelor și miilor de ani. Stratul continental de zăpadă și gheața marină sunt caracterizate de variabilitate sezonieră și interanuală. Ghețarii joacă un rol major în schimbările ce au loc pe intervale de sute și mii de ani. Învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii au un timp de răspuns de ordinul sutelor de mii de ani. Permafrostul are un timp caracteristic de răspuns de ordinul miilor și sutelor de mii de ani. Modificările litosferei și ciclul lung al carbonului au timpi caracteristici de ordinul sutelor de milioane de ani (§ 1.2) (Bojariu și colab., 2015).

Energia radiantă nereflectată determină circulația atmosferică, circulație influențată și de mișcarea de rotație a Pământului în jurul axei sale, prin efectul Coriolis. Vântul și căldura transferate oceanului planetar determină circulația oceanică, în condițiile mișcării diurne de rotație a planetei noastre, iar temperatura oceanelor influențează puternic umiditatea și căldura schimbate în procesele de interacțiune cu atmosfera. Atmosfera și oceanele sunt influențate la rândul lor de grosimea și suprafața stratului de gheață și de forma și caracteristicile suprafețelor continentale. Întregul sistem climatic evoluează continuu, condiționat de numeroase procese care amplifică sau diminuează perturbațiile exterioare sau cele generate de interacțiunile subsistemelor componente (§ 1.2) (Bojariu și colab., 2015).

Componentele cele mai active sunt atmosfera și oceanul planetar, ele asigurând practic transportul energiei în sistemul climatic (Bojariu și colab., 2015).

Eliberarea de căldură latentă în zonele de interconvergență tropicală (ITCZ) determină o mișcare ascendentă a aerului la ecuator și o mișcare

descendentă a aerului, care inhibă formarea norilor determinând menținerea deșerturilor, în regiunile subtropicale (figura 2).

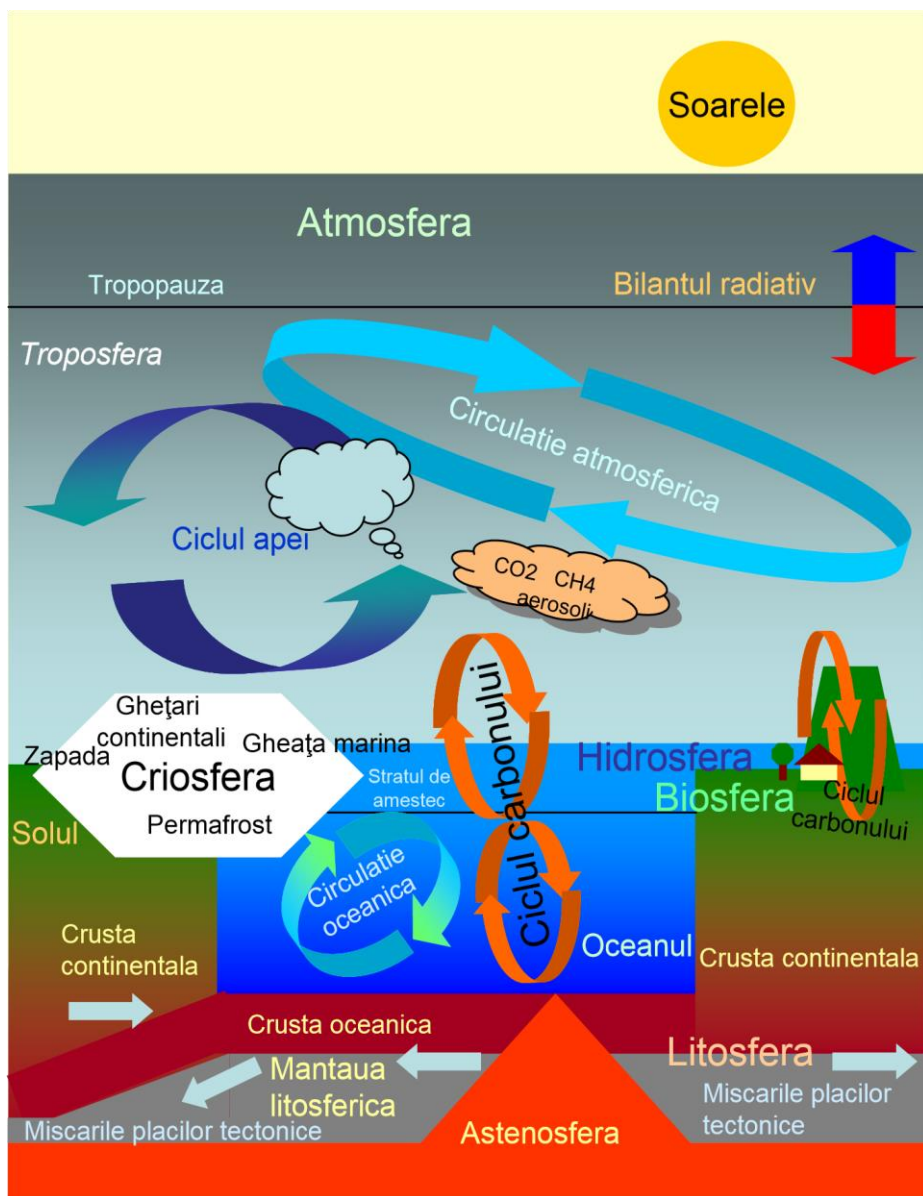


Figura 1. Reprezentare schematică a componentelor geosistemului climatic și a interacțiunilor dintre ele. După Bojariu și colab., 2015)

În plus, distribuția neuniformă a oceanelor și a regiunilor continentale introduce anomalii zonale în procesul de încălzire care determină circulații pe direcția vest-est – celule de tip Walker (figura 8) (Bojariu și colab., 2015).

Există și alte mecanisme care introduc asimetrii în circulația generală a atmosferei. Astfel, caracteristicile orografice pot determina, la rândul lor, perturbații ale curgerii atmosferice zonale, în troposferă. Masivele muntoase ca Himalaya, Alpii și Munții Stâncoși își fac simțite prezența în configurațiile undelor planetare cvasistaționare prin trăsături caracteristice, vizibile chiar în câmpurile mediate (Bojariu și colab., 2015).

1.1. Circulația generală a atmosferei

Procese radiative, chimice și dinamice care au loc în atmosferă contribuie împreună la configurarea caracteristicilor climatice terestre. Încălzirea datorată fluxului de energie radiantă este neuniformă pe suprafața terestră. Fluxul net de energie absorbit este pozitiv la latitudinile joase și negativ la latitudinile înalte.

Pentru păstrarea echilibrului termic, trebuie să existe un transfer de energie de la tropice la poli. Aproximativ 60 % din acest transfer energetic este asigurat de mecanismele circulației generale ale atmosferei (Peixoto & Oort 1992). Circulația generală a atmosferei este menținută, în prezența proceselor disipative, de conversia energiei potențiale, asociată distribuției de masă, în energie cinetică, asociată mișcărilor aerului. Încălzirea datorată fluxului de energie radiantă determină o structură termică medie caracterizată de izoterme și izobare aproximativ paralele cu cercurile latitudinale. La latitudinile medii și înalte circulația medie este aproape circumpolară, cu o componentă meridională (pe direcția nord-sud) redusă (Bojariu și colab., 2015).

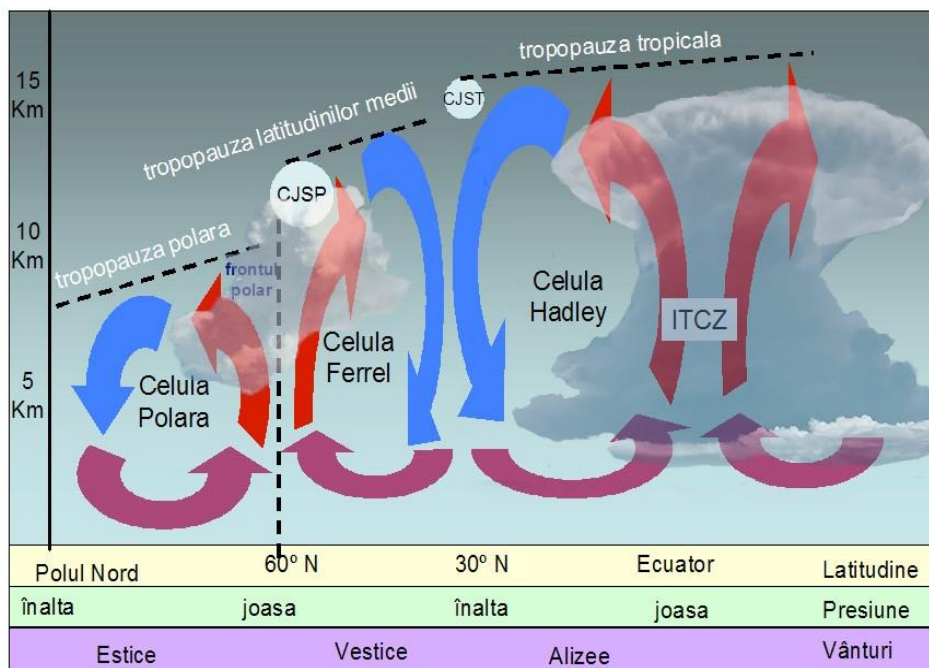


Figura 2. Secțiune meridianală reprezentând circulația generală a atmosferei în Emisfera Nordică. Cu ITCZ s-a notat poziția latitudinală medie a zonei intertropicale de convergență. CJSP reprezintă curentul jet subpolar iar CJST este curentul jet subtropical. După Bojariu și colab. (2015).

Perturbațiile asimetrice zonal (unde barocline) care se dezvoltă din instabilitățile curgerii atmosferice zonale sub forma sistemelor sinoptice tranziente sunt cele care asigură transferul eficient al energiei de la latitudinile joase la cele înalte. Numai o parte din energia potențială este transformabilă în energie cinetică. Energia potențială disponibilă este determinată de stratificarea atmosferei. La latitudinile joase energia cinetică este asociată circulațiilor termice directe (celula Hadley) (figura 2).

1.2. Circulația generală a oceanului planetar

Oceanul planetar, care acoperă 71 % din suprafața Pământului, reprezintă principalul rezervor termic și de umiditate pentru sistemul climatic. În jur de 40 % din transportul energiei în sistemul climatic este datorat circulației oceanice (Peixoto & Oort 1992). Procesele atmosferice sunt puternic influențate de variațiile temperaturii la suprafața oceanului

(SST). Variații ale temperaturii oceanului apar ca urmare a anomaliilor fluxului net de căldură la suprafață sau datorită modificărilor în circulația oceanică. Dovezi observaționale și studii teoretice arată că, în cea mai mare parte a oceanului planetar, circulația medie determinată de vânt are loc în stratul de amestec de la suprafața oceanică și în regiunea din vecinătatea termoclinei (figurile 3 și 4). În general circulația oceanică de suprafață urmează sensul circulației atmosferei inferioare, cu două excepții notabile. Astfel, curenții oceanici de suprafață se intensifică puternic în partea vestică a fiecărui bazin, în ambele emisfere și contracurenți de suprafață se deplasează împotriva vântului, în emisfera nordică, în vecinătatea zonelor de interconvergență tropicală (ITCZ) (figura 4) (Bojariu și colab., 2015).

Schimbările climatice care influențează semnificativ câmpul tensiunii vântului deasupra oceanelor modifică și transportul oceanic de căldură. Descrierea circulației oceanice de adâncime este o sarcină dificilă datorită lipsei datelor observaționale care să caracterizeze complet oceanul planetar. Totuși, observațiile existente arată că, în regiunile subpolare, apele de suprafață (mai calde) sunt separate de apele de adâncime (mai reci) prin intermediul unei termocline situată între 100 m și 1000 m adâncime. Această distribuție verticală de temperatură în coloana de apă nu poate fi menținută fără un transport continuu de ape reci în straturile oceanice abisale și de ape calde în straturile de suprafață (Bojariu și colab., 2015).

Legea de conservare a energiei în bazinele oceanice, a căror frontieră abisală este considerată izolată termic, impune ca energia primită din atmosferă în zonele tropicale și subtropicale să fie transferată înapoi atmosferei în zonele subpolare și polare. La latitudinile înalte, apele răcite, cu o concentrație mare de sare, ajung în straturile oceanice adânci, prin procesul de convecție termică. Aceste ape reci și saline se deplasează spre sud, de-a lungul coastei continentului american și în jurul continentului antarctic de unde, împreună cu masele de apă reci și saline, formate prin

convecție în aceste regiuni, se deplasează apoi spre est, în Oceanul Indian și Pacific (Bojariu și colab., 2015).

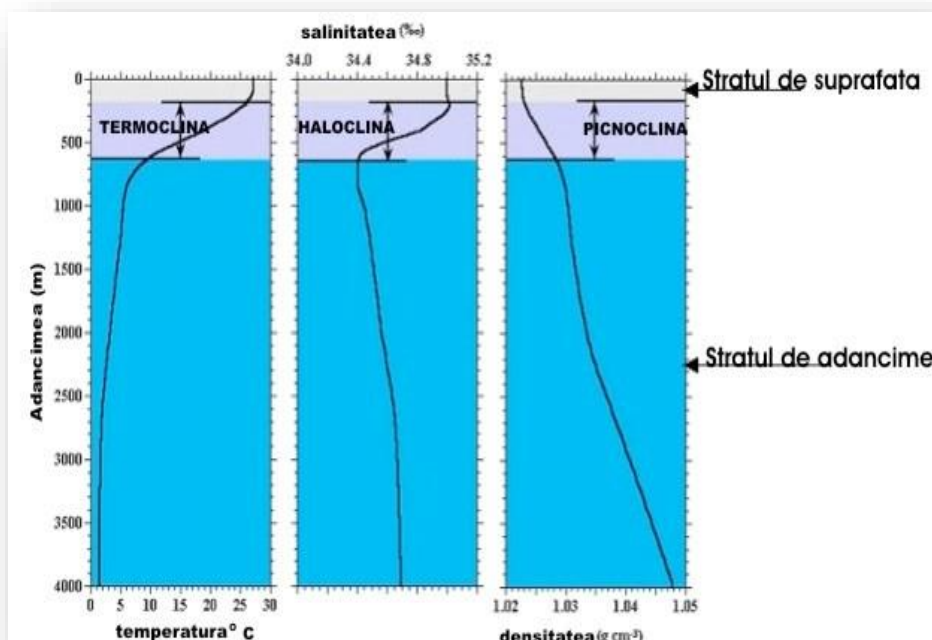


Figura 3. Reprezentare schematică a structurii termice, de salinitate și de densitate a oceanului planetar. După Bojariu și colab. (2015).

Din nordul Oceanului Indian și Pacific se reîntorc la suprafață ca ape calde, interacționând cu atmosfera, în nordul Atlanticului (figura 5). Circulația termosalină descrisă mai sus are scara de timp de ordinul a o mie de ani, dar există studii teoretice care pun în lumină posibilitatea existenței fluctuațiilor interdecenale ale caracteristicilor acestei circulații. Analize efectuate cu modele climatice sugerează faptul că circulația termosalină poate influența semnificativ evoluția sistemului climatic (Bojariu și colab., 2015).

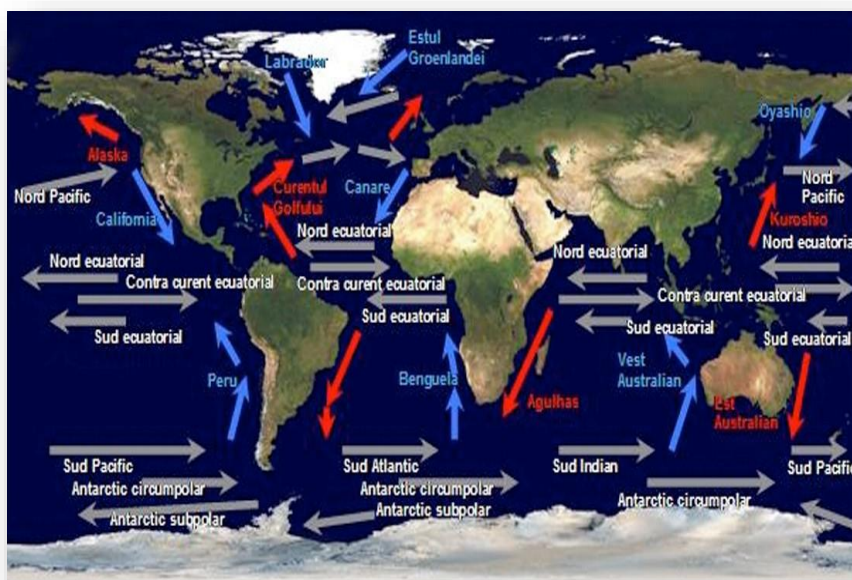


Figura 4. Reprezentare schematică a circulației oceanice din straturile de suprafață. După Bojariu și colab. (2015).

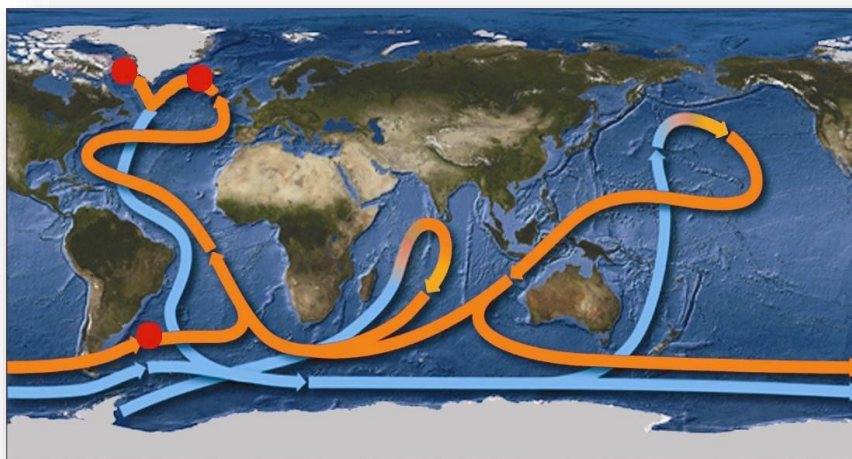


Figura 5. Schema circulației globale termosalină (după Broecker, 1987). Cercurile roșii indică locațiile unde se produce schimbul de căldură între atmosferă și masele de apă în circulație termosalină. După Bojariu și colab. (2015).

1.3. Procesele de feedback și forțaj în sistemul climatic

Temperatura Pământului calculată pe baza legii Stefan-Boltzmann, din radianța observată în spațiul cosmic, este de 255 K. Temperatura observată la suprafața terestră este însă în jur de 288 K. Diferența de 33 K este datorată existenței atmosferei terestre, semitransparentă pentru radiația solară din spectrul vizibil, dar aproape opacă pentru radiația infraroșie, din cauza prezenței gazelor atmosferice active (care intervin în transferul radiației solare), a norilor și a particulelor în suspensie. Acești constituenți absorb radiația infraroșie emisă de suprafața Pământului și o reemit atât spre spațiu cosmic, cât și înapoi spre suprafață contribuind la o reducere a pierderilor de energie în exterior (efectul de seră). Creșterea concentrației constituenților atmosferici radiativ-activi determină o creștere a temperaturii suprafeței terestre. Acesta e un exemplu de forțaj ce acționează în sistemul climatic. Alt forțaj este cel legat de activitatea Soarelui ce furnizează energia primară sistemului climatic terestru (Bojariu și colab., 2015).

Ca urmare a activităților umane, s-a calculat că, începând cu anul 1900, creșterea concentrațiilor dioxidului de carbon, a metanului, oxidului de azot și a compușilor de tip cloro-fluor-carbon a determinat o creștere a densității fluxului de energie radiantă la suprafața Pământului cu aproximativ 3 W/m² (Peixoto & Oort 1992). Ce înseamnă acest forțaj de 3 W/m² în plus pentru temperatura la suprafață este însă dificil de estimat datorită numeroaselor mecanisme de feedback ce acționează în sistemul climatic (Bojariu și colab., 2015).

Procesele de feedback sunt perturbații influențate de efectele lor, în buclă. Într-o astfel de buclă, «intrarea» este influențată de «ieșire». Feedback-ul pozitiv este acela în care perturbarea inițială este amplificată de efectele produse în sistem. Feedback-ul negativ apare când perturbația inițială este diminuată de impactul produs în sistem. Două exemple de

feedback-uri care acționează în sistemul climatic sunt prezentate schematic în figurile 6 și 7 (Bojariu și colab., 2015).

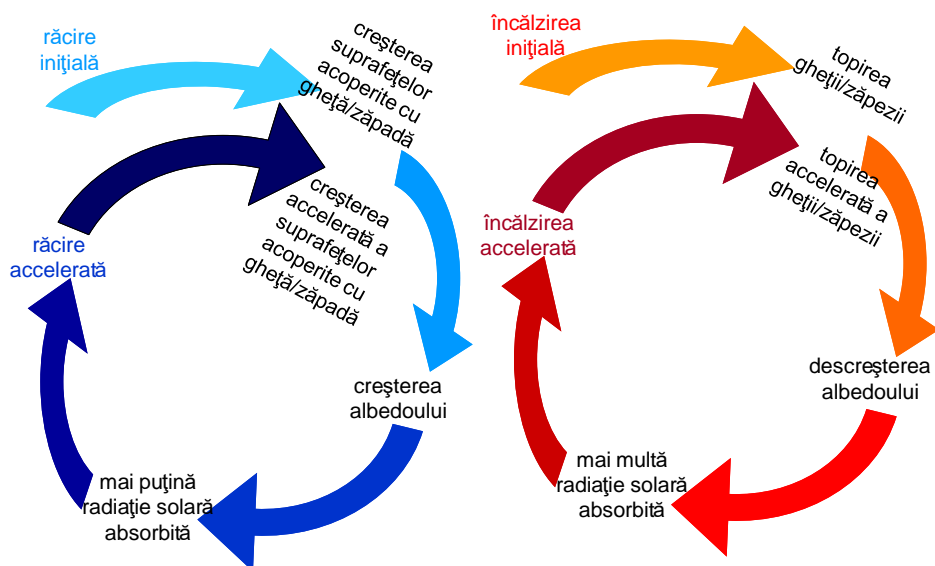


Figura 6. Reprezentarea schematică a feedback-ului pozitiv legat de albedoul gheții și zăpezii.

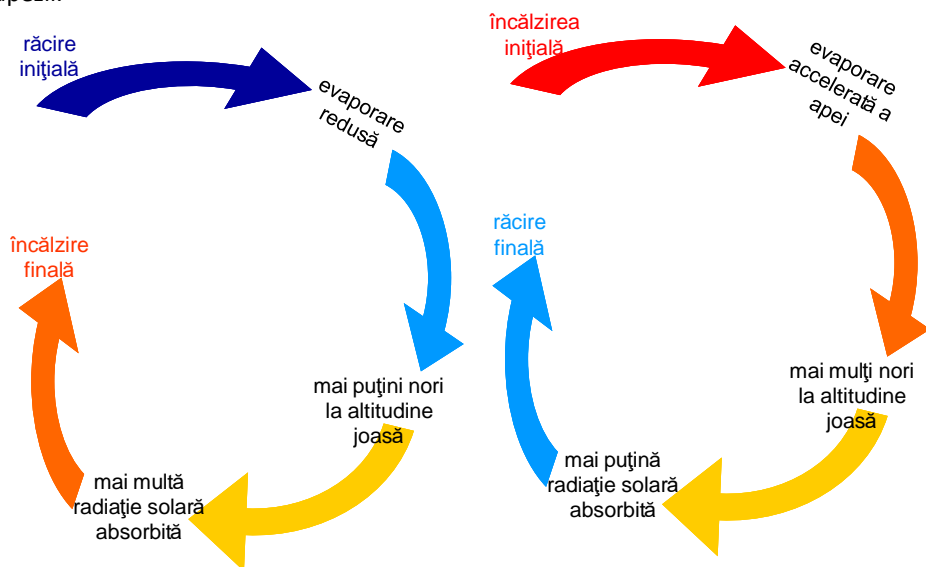


Figura 7. Reprezentarea schematică a feedback-ului negativ legat de norii joși. După Bojariu și colab. (2015).

Alte exemple de procese în buclă ce acționează în geosistem sunt: feedback-ul pozitiv al vaporilor de apă ce acționează odată cu creșterea cantității de vapori de apă în atmosferă, determinând o încălzire suplimentară care, la rândul ei, amplifică creșterea masei de vapori din atmosferă, accelerând încălzirea inițială; feedback-ul legat de tipul de folosință al solului ce depinde de albedoul suprafeței, acționând diferit în cazul suprafețelor acoperite cu vegetație și a celor aride (se consideră că în raport cu celelalte interacțiuni, efectul e relativ redus); feedback-ul negativ legat de procesele biotice – de exemplu, algele care produc particule de aerosoli, care la rândul lor favorizează formarea norilor în atmosferă – odată cu creșterea masei de alge, temperatura scade, ceea ce determină o reducere a cantității lor. În cazul norilor acționează atât un feedback pozitiv, cât și unul negativ, depinzând de tipul norilor, rezultatul net fiind însă o scădere a temperaturii globale odată cu creșterea nebulozității planetare.

Interacțiunea dintre oceane și atmosferă prin procesele de feedback și forțaj sunt fundamentale ca importanță pentru procesele dinamice ce guvernează clima și variabilitatea sa. Pe lângă răspunsul la fenomenele atmosferice, oceanele evidențiază propria scară de timp, configurată de procesele lente, comparativ cu cele atmosferice, datorită capacității sale calorice mari. Procesele oceanice, caracterizate de durate mari de timp, influențează, la rândul lor, circulația atmosferică prin procese de forțaj (Bojariu și colab., 2015).

1.4. Ciclul hidrologic

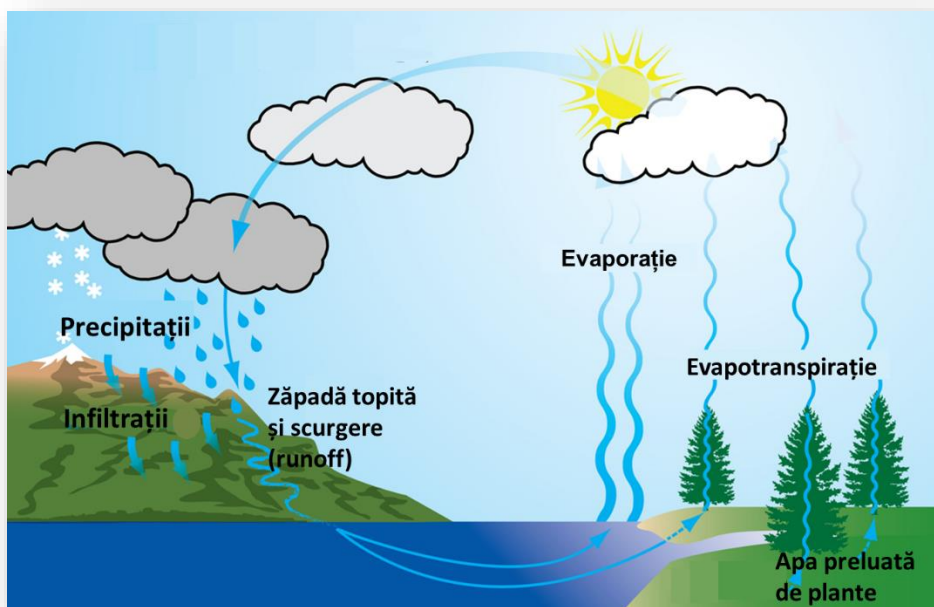


Figura 8. Reprezentarea schematică a ciclului hidrologic.

În Fig. 8 este ilustrată reprezentarea schematică a ciclului hidrologic.

1.5. Ciclurile carbonului

Ciclul lung al carbonului, ce acționează la scara de timp de milioane de ani, este cel inițiat de procesele de îndepărtare a dioxidului de carbon din atmosferă, odată cu precipitațiile, cu formarea de acid carbonic care erodează rocile calcaroase și cele cu silicați. Acest ciclu acționează ca un feedback negativ în geosystem. Procesele de erodare sunt cu atât mai intense cu cât temperatura aerului este mai mare. După o încălzire inițială, erodarea mai intensă îndepărtează cantități sporite de dioxid de carbon din atmosferă. Scăderea concentrației de dioxid de carbon determină, mai departe, o răcire în geosistem. Producții acestor reacții de erodare ajung în ocean unde organisme marine participă la precipitarea carbonatului de

calciu și a oxidului de siliciu (cu eliberare de dioxid de carbon în atmosferă). În zonele unde crusta oceanului se deplasează sub cea continentală, carbonatul de calciu și oxidul de siliciu se retransformă în silicați și dioxid de carbon emis în atmosferă, prin activitatea vulcanică. Ciclul scurt al carbonului implică componenta biosferei ce acoperă suprafețele continentale (figura 1).

1.6. Efectul de seră

Bilanțul radiativ, care determină câtă energie de la Soare devine disponibilă în geosistem, este influențat de compoziția atmosferei; mai precis, de concentrația gazelor radiativ-active și de cantitatea de aerosoli. Gazele radiativ-active (gazele cu efect de seră) lasă să treacă radiația solară incidentă, dar absorb radiația emisă de suprafața încălzită de Soare a Pământului și o reemit atât spre exterior, în spațiul cosmic, cât și înapoi, în sistemul terestru, determinând astfel o reducere a pierderilor de energie din sistem (Bojariu și colab., 2015).

În clima actuală, principalul gaz cu efect de seră este reprezentat de vaporii de apă. În atmosfera joasă, cantitatea de vaporii de apă este determinată de echilibrul natural dintre evaporație și precipitații, nefiind direct afectată de activitățile umane (deși există o influență indirectă, datorată feedback-urilor declanșate de încălzirea globală). Alte gaze radiativ-active importante sunt dioxidul de carbon, metanul, oxidul de azot și compușii carbonului cu clorul și fluorul. Pe termen lung, rolul dioxidului de carbon devine predominant. Ideea rolului important al dioxidului de carbon în schimbarea climatică globală este a chimistului suedez Svante Arrhenius. La sfârșitul secolului al XIX-lea, Arrhenius a propus ca explicație a ciclurilor glaciare, modificarea intensității efectului de seră prin modificarea concentrației dioxidului de carbon din atmosferă (Bojariu și colab., 2015).

Spre deosebire de alte gaze radiativ-active, dioxidul de carbon nu e distrus de reacții chimice sau fotochimice, iar timpul său de rezidență în atmosferă este de ordinul mai multor sute de ani. Există un efect de seră

natural, care sporește cu aproape 33°C temperatura medie globală la suprafața terestră, față de cazul în care n-ar exista atmosfera cu gaze radiativ-active (adică de la -18°C la 14°C) (Peixoto & Oort 1992). Efectul de seră natural a făcut posibilă dezvoltarea vieții pe planeta noastră.

Efectul de seră acționează și pe alte planete ale Sistemului Solar, dar rezultatele sunt diferite, în funcție de particularitățile atmosferei planetare existente. În cazul planetei Venus, cu o atmosferă a cărei masă este de 90 de ori masa atmosferei terestre și care e compusă în proporție de 90% din dioxid de carbon, temperatura la suprafață este de 477°C. Acolo, efectul de seră are o contribuție de 523°C. Pe Marte, cu o masă atmosferică mai mică decât 1% din masa atmosferei terestre, și cu o compoziție atmosferică formată în proporție de 80% din dioxid de carbon, temperatura la suprafață este de -47°C – mai mare cu 10° decât în cazul în care n-ar fi existat efectul de seră marțian (Bojariu și colab., 2015) .

Activitatea vulcanică (dar și unele activități ale omului) schimbă compoziția atmosferei prin emisia de gaze cu efect de seră și prin emisia de aerosoli, modificând astfel bilanțul radiativ. Există studii care sugerează că erupțiile vulcanice afectează sistemul climatic prin intermediul modurilor interne de variabilitate climatică (Kodera 1994). Efectul unei erupții individuale poate să-și pună amprenta în geosistem pe o perioadă de până la 2 ani, atunci când particulele emise de vulcan ajung în stratosferă, părăsind troposfera (stratul cel mai jos la atmosferei, unde se produce cea mai mare parte a fenomenelor meteorologice ce configurează clima). Eficacitatea injectării de aerosoli vulcanici în zona atmosferei înalte, unde aceștia pot rămâne mai mult timp, reducând radiația solară incidentă, până să se depună la suprafață, depinde, printre altele și de localizarea geografică a vulcanului – cei situați în zona ecuatorială provoacă efecte mai puternice în geosistem pentru că efectul erupției este amplificat de mișcarea atmosferică ascendentă ce domină la acele latitudini (figura 2). În cazul unei activități geologice intense, caracterizate de o frecvență ridicată a erupțiilor vulcanice, efectul lor poate influența sistemul climatic pe perioade mult mai mari de timp (Bojariu și colab., 2015).

Împreună cu efectele aerosolilor, cele ale caracteristicilor suprafeței terestre și efectele gazelor radiativ-active acționează asupra felului în care radiația solară incidentă este absorbită, reflectată și împrăștiată. Un fapt cert este că activitățile umane, generând cantități din ce în ce mai mari de gaze cu efect de seră, intervin neliniar asupra unuia din factorii genetici ai climei: energia de orginie solară, disponibilă în sistemul terestru. Este un exemplu cum intervenția umană în geosistem poate altera ritmuri naturale aparținând unor scări de timp aparent inaccesibile ființei umane (Bojariu și colab., 2015).

1.7. Variabilitatea internă a geosistemului climatic

Interacțiunilor complexe dintre componentele sistemului climatic generează variabilitatea sa internă. Astfel, El Niño-Oscilația Sudică (ENSO) este manifestarea cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific. Perioada observată a ENSO este între 2 și 7 ani. Efectele sale sunt globale (Trenberth & Hoar 1997) (Bojariu și colab., 2015).

Oscilația nord-atlantică (NAO) generează fluctuații climatice în emisfera nordică, de la coasta estică a Statelor Unite până în Siberia și din Arctica până în zona subtropicală a Atlanticului (figura 9; Bojariu 1997; Bojariu & Paliu 2000; Bojariu & Gimeno 2003a,b). Faza pozitivă a oscilației nord-atlantice este caracterizată de o intensificare a vânturilor de vest, la latitudinile medii. Această intensificare determină un aport de aer cald, oceanic peste cea mai mare parte a Europei. Simultan, o invazie de aer rece, de proveniență arctică se produce peste vestul Groenlandei (Bojariu și colab., 2015).

Scara de timp a fenomenului NAO cuprinde intervale de câteva săptămâni, un sezon, perioade interanuale și chiar interdecenale. Predictibilitatea chiar limitată a fazei oscilației nord-atlantice din iarnă poate fi importantă din punct de vedere socio-economic, datorită impactului pe care fenomenul îl are în agricultură și în gestionarea resurselor de apă și energetice, în România (Bojariu și Paliu 2001) ca în aproape întreaga Europă (Bojariu și colab., 2015).

În general, aceste moduri de variabilitate climatică produc fluctuații climatice care nu scot definitiv sistemul din starea sa climatică, ci determină variații în jurul ei. În sinergie cu alte perturbații, aceste fluctuații ce constituie variabilitatea climatică internă pot totuși determina trecerea sistemului de la o stare climatică la alta, producând schimbarea (Bojariu și colab., 2015).

1.8. Schimbarea climatică actuală

Schimbările climatice se traduc în modificări semnificative ale caracteristicilor statistice pentru mărimile fizice care caracterizează geosistemul. Manifestările vremii pot fi definite ca fluctuații de la starea de medie, înregistrate la un moment. Schimbările climatice se traduc în modificări ale mediei și ale tuturor acestor parametri statistici (figura 8).

Cantitatea de dioxid de carbon din atmosferă a crescut cu peste 40% față de epoca preindustrială, iar cantitatea de metan s-a dublat ca urmare a activităților umane (Raportul IPCC 2013), contribuind astfel la intensificarea efectului de seră. Cantitatea sporită de energie care apare ca urmare a intensificării efectului de seră (prin creșterea concentrației atmosferice a gazelor radiativ-active) este transportată în sistem de circulațiile atmosferice și oceanice și poate determina geosistemul să evolueze spre o nouă stare de referință, adică spre o nouă climă. Indexul anual al gazelor cu efect de seră (GES) elaborat de NOAA (SUA) arată că din 1990 până în 2013 forțajul radiativ al GES a crescut cu 34%, din care contribuția dioxidului de carbon acoperă 80%. Schimbarea climei a început deja. Temperatura medie globală a crescut cu aproape 1°C față de perioada preindustrială (Raportul special al IPCC privind încălzirea cu 1,5 °C). Temperatura medie în Europa a crescut chiar mai mult, cu aproape 1°C, tendința crescătoare cea mai accentuată înregistrându-se în ultimele decenii (IPCC 2013).

Nu doar temperatura aerului la suprafața terestră a crescut, observațiile indică o încălzire a întregii troposfere (stratul cel mai consistent al atmosferei din punct de vedere al masei și locul de producere

al principalelor fenomene de vreme și climă), începând cu a doua jumătate a secolului XX. În același timp, frecvența și intensitatea unor fenomene extreme observate au crescut, începând din 1950. Frecvența valurilor de căldură a crescut în mare parte din Europa, Asia și Australia. Din ce în ce mai multe episoade cu precipitații abundente s-au înregistrat în multe regiuni continentale, în special în America de Nord și Europa (IPCC 2013). Nu doar troposfera se încălzește, ci și oceanul planetar, după cum arată observațiile. Mai mult de 90% din energia reținută în sistem prin intensificarea efectului de seră, începând din 1971 până în 2010, a fost înmagazinată în oceanul planetar (IPCC 2013). Criosfera a fost și este și ea afectată de încălzirea globală. Învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii de Vest și-au redus din masă, cei mai mulți ghețari continentali s-au diminuat, iar aria acoperită de gheața marină din Arctica are o tendință puternică de scădere. Stratul continental de zăpadă sezonieră s-a redus, mai ales în lunile de primăvară. Nivelul oceanului planetar a crescut cu 19 cm în perioada 1901-2010 (IPCC 2013).

Conform estimărilor realizate pe baza rezultatelor mai multor experimente numerice, prezentate în Raportul al V-lea al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC 2013), temperatura medie globală va crește până la sfârșitul secolului XXI, față de perioada 1850-1900, probabil, cu peste 1,5°C în toate scenariile RCP de concentrații atmosferice ale gazelor cu efect de seră, cu excepția scenariului RCP 2.6. În cazul scenariilor RCP 6.0 și RCP 8.5 probabil că această creștere va depăși 2°C (IPCC 2013). Cantitatea de precipitații și configurațiile sale, la nivel global, se așteaptă să se modifice până la sfârșitul acestui secol, cu mari diferențieri regionale care vor accentua contrastele între regiunile umede și aride. Schimbările observate deja în criosferă vor continua și se vor amplifica în viitoarele decenii. Proiecțiile privind nivelul oceanului planetar sugerează creșteri depinzând de scenariu, cuprinse între 0,2 m și 0,55 m pentru RCP 2.6, între 0,32 m și 0,63 m pentru RCP 4.5, între 0,33 m și 0,63 m pentru RCP 6.0 și între 0,45 m și 0,82 m pentru RCP 8.5, experții neexcluzând însă valori care să depășească aceste estimări (datorită

incertitudinilor legate de mecanismele ce afectează învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii) (IPCC 2013). Rezultatele modelelor numerice, prezentate în același Raport al IPCC (2013), sugerează și o altă consecință a schimbării globale: intensificarea ciclului hidrologic. Această intensificare poate determina creșterea intensității și / sau a frecvenței unor evenimente extreme (secete, inundații, cicloni de la latitudinile medii, furtuni tropicale) în multe din regiunile globului. Alte fenomene extreme, precum valurile de căldură se vor produce cu frecvență sporită, vor fi mai persistente și mai intense pe continente (IPCC 2013).

1.9. Fenomenele meteorologice extreme din perspectiva ciclului hidrologic

Variabilitatea climatică determină, deseori, producerea unor fenomene meteorologice extreme. Un fenomen meteorologic este considerat extrem când determină trecerea sistemului analizat pe o stare mult diferită de norma climatică. În Raportul al III-lea al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC, 2001) fenomenele extreme de vreme sunt definite ca evenimente rare, față de distribuțiile lor statistice de referință, într-un loc precizat. În mod obișnuit, atributul «rar» asociat fenomenelor de vreme este cuantificat folosind percentilele distribuțiilor statistice de 10%, 5%, 1%, sau cele de 90%, 95% și 99%. Prin definiție, caracteristicile fenomenelor extreme de vreme pot varia foarte mult de la o regiune la alta și ele se modifică odată cu distribuțiile statistice ce definesc climatul analizat (figura 9). Un eveniment climatic extrem este o sinteză a mai multor evenimente extreme de vreme, pentru un anumit interval temporal (de exemplu, cantitatea sezonieră a precipitațiilor zilnice ce depășesc percentila de 95%) (Bojariu și colab., 2015).

În afară de criteriul rarității, comunitatea internațională mai folosește, pentru definirea evenimentelor extreme, criteriile de maxim/minim, intensitate și pe cel care cuantifică impactul socio-economic, transpus în pierderi umane (număr de morți și/sau persoane afectate) și materiale (costuri economice, costuri în sistemul de asigurări).

Una din problemele cele mai dificile în analiza fenomenelor extreme este lipsa șirurilor de observații omogene și suficient de lungi, mai ales când rezoluția temporală cerută este cea zilnică.

Pentru multe regiuni ale Terrei, date climatice relativ omogene (e.g. temperatură, precipitații, umiditate, presiune a aerului și vânt) sunt disponibile doar începând de la sfârșitul celui de-al II-lea război mondial, iar schimbările în valorile extreme sunt deseori mult mai afectate de neomogenitățile din date decât de schimbările în medii, datorită proceselor naturale (Bojariu și colab., 2015).

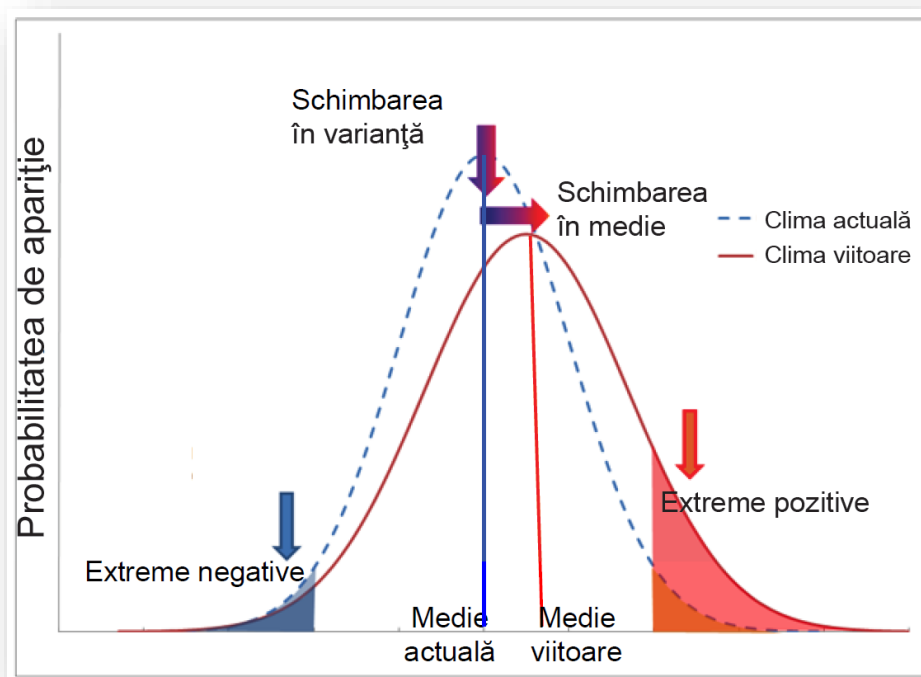


Figura 9. Modificări ale parametrilor statistici și impactul lor asupra caracteristicilor fenomenelor extreme. După Bojariu și colab. (2015).

1.9.1. Ciclonii tropicali

Ciclonii tropicali se dezvoltă deasupra suprafețelor oceanice subtropicale și tropicale, unde temperatura apei la suprafață depășește 26°C. În Atlantic, pentru ciclonii tropicali puternici se folosește denumirea de uragan, iar în Pacific, cea de taifun. Studii recente au relevat faptul că în afară de temperatura apei la suprafața oceanului, un rol important îl joacă și profilul termic vertical, instabilitățile în coloana de aer și variațiile intensității și direcției vântului în funcție de înălțime.

Un alt factor important pentru variabilitatea ciclonilor tropicali este El Niño – oscilația sudică (ENSO). ENSO este manifestarea cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific. Efectele sale sunt însă globale (Trenberth & Hoar 1997). Efectul ENSO asupra dezvoltării ciclonilor tropicali variază de la un bazin oceanic la altul. Fazele pozitive ale ENSO inhibă activitatea ciclonică în Atlanticul tropical, dar o amplifică în cea mai mare parte a Pacificului. Faza negativă a ENSO (La Niña) determină condiții opuse în cele două bazine.

Ciclonii tropicali sunt influențați și de oscilația multidecenală a Atlanticului (AMO). Indicele AMO este calculat, de obicei, ca medie spațială a temperaturii apei oceanului la suprafață, pentru regiunea Atlanticului de Nord. Variabilitatea indicelui AMO relevă o perioadă de aproximativ 70 de ani. Numărul ciclonilor din Atlanticul tropical urmează, în paralel, aceeași evoluție, cu maxime în perioadele când indicele AMO este pozitiv și minime, când acesta are valori negative.

În anul 2005, numărul ciclonilor tropicali intensi din Atlantic a înregistrat un record absolut (figura 10), iar sezonul lor de activitate s-a prelungit neobișnuit de mult. Trenberth și Shea (2006) au apreciat că acest fapt s-a datorat efectelor cumulate ale încălzirii globale, episodului La Niña prezent în Pacific și fazei pozitive a oscilației multidecenale a Atlanticului.

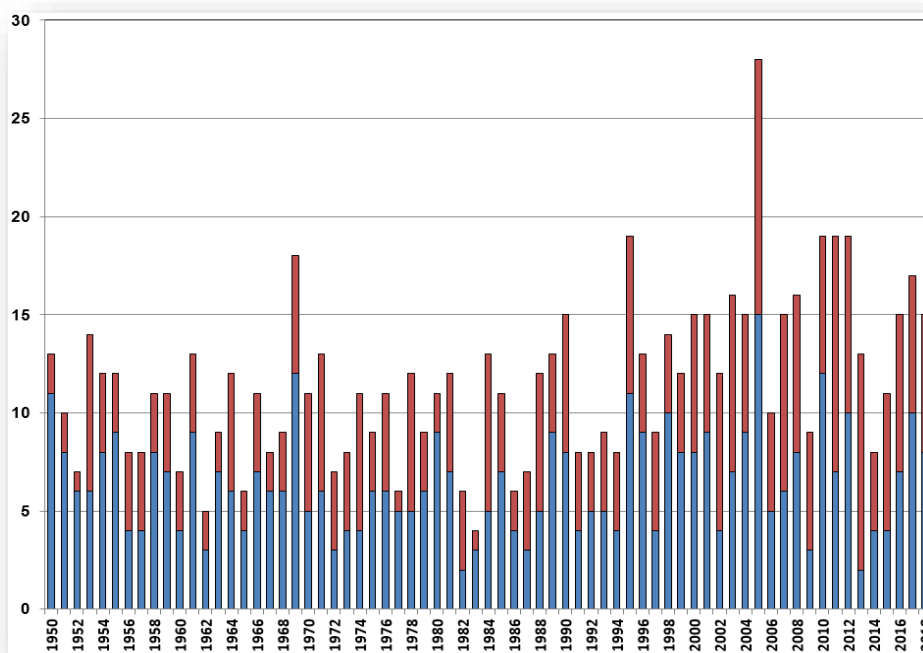


Figura 10. Numărul de uragane și uragane majore înregistrate în Atlantic (evaluare realizată de NOAA, SUA) (<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/tropical-cyclones/201813>).

1.9.2. Ciclonii extratropicali

Furtunile extratropicale se dezvoltă, în primul rând, datorită contrastului termic între masele de aer de la latitudinile medii, spre deosebire de ciclonii tropicali a căror sursă energetică principală este legată de evaporarea ce are loc la suprafața caldă a oceanului și precipitarea în troposfera tropicală a vaporilor de apă. Ciclonii extratropicali au tendința de a se dezvolta și deplasa în anumite regiuni – așa numitele *căi ale furtunilor* (storm track). O dificultate în analiza ciclonilor extratropicali o constituie lipsa de date de calitate, pe perioade lungi de timp. O analiză a datelor de presiune atmosferică, la mai multe stații din nordul Europei, nu a reușit să identifice tendințe semnificative în variabilitatea ciclonilor extratropicali, în ultima sută de ani.

Caracteristicile ciclonilor extratropicali din regiunea atlantico-europeană sunt strâns legate de variabilitatea oscilației nord-atlantice (NAO) prin fluctuațiile diferenței dintre anomaliile presiunii atmosferice în regiunea depresiunii islandeze și a maximului azoric (Bojariu & Gimeno 2003a). România este afectată atât de cicloni extratropicali de proveniență atlantică, cât și de cei ce se dezvoltă deasupra Mării Mediterane. Ciclonii mediteraneeni sunt sisteme de dimensiuni mai reduse și cu un timp de viață relativ mai mic decât în cazul ciclonilor nord-atlantici. În multe cazuri, un ciclon atlantic ce traversează Europa de la vest la est favorizează pătrunderi de mase foarte reci de aer care deasupra Mării Mediterane, mai calde, inițiază dezvoltarea unor cicloni mediteraneeni la extremitatea sa (Bordei 1983).

1.9.3. Inundațiile

În general, inundațiile apar ca efect al unor fenomene de tipul uraganelor, sistemelor de vreme ce tranzitează o regiune și/sau a topirii zăpezii. Există inundații cvasiperiodice, ca cele ale fluviului Nil. Zonele costiere pot fi și ele, ocazional inundate, în contextul creșterii nivelului mării, datorită vânturilor puternice ce însoțesc furtunile, sau a valurilor de tip tsunami, care iau naștere după un cutremur submarin puternic. Foarte primejdioase sunt viiturile rapide (*flash floods*), produse de precipitații intense, căzute într-un timp scurt pe o arie mică. Acestea sunt și cel mai greu de prognozat, în timp ce viiturile pe râurile mai mari, se propagă relative mai lent și predictabilitatea lor e mai ridicată, odată declanșate (Bojariu și colab., 2015).

1.9.4. Seceta

Secetele, deși nu sunt fenomene care se produc brusc, ca inundațiile rapide sau furtunile, datorită persistenței lor, care determină efecte socio-economice devastatoare, intră în categoria fenomenelor extreme. Seceta este definită diferit, în funcție de tipul de impact sau activitate socio-economică afectată. Din punct de vedere meteorologic, un interval

secetos este cel pentru care există un deficit important în regimul precipitațiilor. Seceta meteorologică se instalează după 10 zile consecutive fără precipitații (în anotimpul cald). Persistența secetei meteorologice se apreciază în funcție de numărul de zile fără precipitații și de numărul de zile cu precipitații sub media multianuală a perioadei pentru care se face analiza. Din punct de vedere agricol, seceta este definită prin parametri care afectează dezvoltarea și producția culturilor. Pe lângă cantitatea de precipitații, în seceta agrometeorologică devin importanți și alți parametri ca rezerva de apă din sol, evapotranspirația potențială, evapotranspirația reală, deficitul de apă din sol etc. Cerințele de apă ale plantelor depind de: condițiile de mediu cum ar fi parametrii meteorologici (precipitațiile, temperatura, umiditatea); parametrii hidrologici și fizici ai solului; faza de dezvoltare a culturii; specia de cultură. Seceta hidrologică se asociază cu perioadele în care precipitațiile sunt prea slabe sau de scurtă durată, astfel încât nu au efect asupra alimentării directe cu apă a rețelei hidrologice. Rezultatul secetelor hidrologice se face simțit în timp și spațiu pe suprafețe mult mai mari. În acest caz apar efecte asupra alimentării cu apă potabilă și industrială, asupra producerii de energie hidroelectrică și afectează semnificativ starea ecosistemelor (Bojariu și colab., 2015).

De-a lungul timpului, s-au făcut eforturi considerabile pentru dezvoltarea tehnicilor de analiză și monitorizare a secetei. Printre aceste tehnici, definirea indicilor cantitativi este cea mai răspândită abordare, însă subiectivitatea definirii secetei împiedică folosirea unui singur indice de secetă, folosit universal. Cele mai multe studii legate de analiza și monitorizarea secetei au folosit fie indicele Palmer de severitate a secetei (IPSS – în engleză PDSI), bazat pe o ecuație a bilanțului apei în sol (Palmer 1965), fie indicele standardizat de precipitații (SPI) (MkKee și colaboratorii 1993), bazat pe o abordare probabilistică. Indicii de secetă calculați exclusiv pe baza cantității de precipitații, printre care și SPI, se bazează pe două ipoteze: (1) faptul că variabilitatea precipitațiilor este mult mai mare decât a celorlalte variabile, precum temperatura și evapotranspirația; (2) celelalte variabile climatice sunt staționare pe termen lung (nu exercită

tendințe). În acest scenariu, importanța celorlalte variabile este neglijabilă, iar seceta este controlată de variabilitatea cantității de precipitații. Mai mulți autori au avertizat însă împotriva neglijării sistematice a importanței efectului temperaturii asupra condițiilor de secetă. Studii empirice au arătat că severitatea secetei este afectată de creșterea temperaturii. Rolul încălzirii asupra severității secetei este evidențiat în studii recente legate de analiza impactului secetei asupra producției agricole și a mortalității diferitelor specii de conifere și foioase (Williams și colaboratorii 2011; Martínez-Villalta și colaboratorii 2008; McGuire și colaboratorii 2010; Linares & Camarero 2011). Rolul puternic al temperaturii a fost evident în valul de căldură devastator din 2003 din Europa centrală, atunci când temperaturile extrem de ridicate au dus la creșteri drastice în evapotranspirație și au exacerbat severitatea secetei din vara respectivă (Rebetez și colaboratorii 2006), diminuând considerabil producția agricolă (Ciais și colaboratorii 2005). Fenomene similare au avut loc și în 2010, când un val de căldură puternic a dus la creșterea severității secetei în păduri și a produs incendii de păduri în Europa de est și în Rusia (Barriopedro și colaboratorii 2011). Studii recente au demonstrat că temperaturile ridicate contribuie substanțial la creșterea stresului secetelor și afectează mortalitatea pădurilor în condițiile lipsei precipitațiilor (Adams și colaboratorii 2009), ducând de asemenea și la scăderea producției agricole din ultimii ani (Lobell și colaboratorii 2011).

Exemple binecunoscute, pe plan internațional, sunt secetele din Great Plains, SUA, înregistrate în anii 1930, 1950 și 1980, precum și cele din Sahel, în sudul Saharei, din anii 1970 și 1980. Odată cu tendința de creștere a temperaturii medii globale, în ultimul secol, s-a înregistrat și o tendință de intensificare a evaporării apei din sol, accentuând efectele secetei în zonele vulnerabile. În ultimii 150 de ani a avut loc o creștere generală a temperaturilor ($0,5 \div 2^{\circ}\text{C}$), iar modelele climatice sugerează că această creștere se va menține și amplifica de-a lungul secolului XXI (IPCC, 2013). Așadar, utilizarea indicilor de secetă care țin cont de temperatură (precum IPSS) sunt de preferat, în special pentru aplicații legate de

proiecțiile climatice. Însă, indicelui Palmer de severitate a secetei îi lipsește caracterul multiscalar, care este esențial atât la evaluarea secetei în relație cu diverse sisteme hidrologice, cât și la diferențierea tipurilor de secetă (agricolă, meteorologică, hidrologică etc.) (Bojariu și colab., 2015).

1.10. Predictabilitatea climatică

Există două clase distincte de probleme de predicție: (1) probleme tip «condiții inițiale», care urmăresc să determine evoluția sistemului analizat ca o succesiune de stări pornind de la condițiile inițiale; (2) probleme tip «condiții la frontieră», care urmăresc să determine modificările în starea de echilibru a sistemului analizat datorată forțajului extern.

Lorenz (1975) a numit aceste două tipuri de probleme, probleme predictive de speța I respectiv, speța a II-a. Prognoza fluctuațiilor meteorologice, inclusiv a celor extreme, pe termen scurt (cu anticipație până la maximum 10-14 zile) este una de speța I, după clasificarea lui Lorenz. Performanța predicției de speța I este afectată de erori în cunoașterea condițiilor inițiale, imperfecțiuni ale modelului predictiv folosit și de natura haotică/nelinară a proceselor din sistemul de analizat. Neliniaritatea intrinsecă a proceselor atmosferice face ca în cazul cunoașterii detaliate a condițiilor inițiale (ceea ce nu e cazul), erorile (chiar infinitezimale) să se amplifice în timp și să reducă semnificativ performanța prognozei, peste un anumit interval de anticipație (Bojariu și colab., 2015).

Estimările prognostice cu intervale de anticipație mai mari de aproximativ două săptămâni valorifică un potențial existent în sistemul climatic, potențial configurat de procesele cu variație lentă ce se derulează la frontierele troposferei (comparativ cu cele pur troposferice, cu timpi caracteristici mult mai mici). Studiile de până acum (e.g., Lorenz 1975) au sugerat că, dincolo de intervalul de anticipație de două săptămâni, există un maxim relativ al predictibilității potențiale la scările de timp sezoniere și anuale, iar la scările interdecenale și seculare, proiecțiile climatice oferă

și ele un potențial de predictabilitate exploatabil (figura 11) (Bojariu și colab., 2015).

Astfel, predicția fluctuațiilor meteorologice în general și a celor extreme, în special, nu e teoretic posibilă, pe termen lung, sub forma anticipării succesiunii stricte a tuturor stărilor cvasistaționare prin care trece sistemul analizat, pornind de la condiții inițiale date, ci mai degrabă sub forma anticipării răspunsului de echilibru la modificările parametrilor externi. Cunoscând aceste modificări, care sunt mult mai lente decât scara de timp a fluctuațiilor atmosferice, am putea anticipa tipul de stare de echilibru spre care tinde sistemul forțat extern și caracteristicile statistice ale fluctuațiilor meteorologice (inclusiv ale celor extreme) consistente cu acea stare de echilibru.

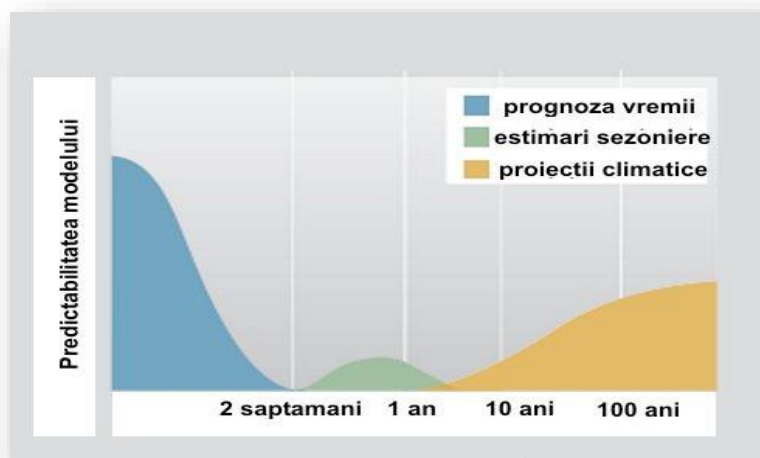


Figura 11. Reprezentarea schematică a scărilor de timp asociate predictibilității vremii și climei. După Bojariu și colab. (2015).

Condițiile la suprafața oceanului (de exemplu anomaliile temperaturii apei) sunt considerate sursa principală de predictabilitate pentru intervalele extinse de prognoză. Alte surse de predictibilitate pentru intervalele sezonier și anual, în regiunea atlantico-europeană, discutate în

literatura științifică actuală, sunt: extinderea banchizei arctice, umiditatea solului, extinderea și grosimea stratului de zapadă pe continente, starea vortexului stratosferic (în sezonul rece). Abordările predictive folosesc tehnici statistice, deterministe și combinații ale celor două (Bojariu și colab., 2015).

2. Date și metode de analiză climatică

2.1. Date instrumentale și paleoclimatice

Caracteristicile climatice actuale se studiază pe baza înregistrării valorilor parametrilor climatici obținute cu echipamente standard. Instrumentele de măsură trebuie instalate în locații potrivite, întreținute, iar observațiile realizate cu rigurozitate. Echipamentele pentru măsurători trebuie plasate astfel încât să asigure reprezentativitatea și omogenitatea șirurilor de observații. Principalele mărimi climatice măsurate sunt: temperatura, cantitatea de precipitații, umiditatea aerului, presiunea atmosferică, viteza și direcția vântului, etc.

Măsurătorile temperaturii aerului la suprafață se fac folosind termometre. În ultimele decenii, s-au făcut eforturi pentru a se înregistra variația temperaturii pe mai multe niveluri ale atmosferei, pe de-o parte, prin rețeaua de stații de radiosondaj, iar pe de altă parte, folosind dispozitive de măsurare plasate pe sateliți. Șiruri de date cu acoperire globală, provenind din radiosondaje, sunt disponibile începând cu anul 1958, iar cele satelitare, din 1979. Cantitatea de precipitații se măsoară notând periodic cantitatea de apă dintr-un recipient expus fenomenelor atmosferice. Trebuie luate în calcul fenomene ca evaporarea și efectul vântului. Variabilitatea spațială și temporală a precipitațiilor este mult mai mare decât a temperaturii, de unde și dificultatea crescută în procesul de analiză al acestui parametru climatic. Cantitatea de apă din aer poate fi exprimată ca: (1) presiune a vaporilor de apă; (2) umiditate relativă; (3) umiditatea absolută; (4) rata de amestec; (5) punctul de rouă. Instrumentul standard de măsurare a umidității e psihrometru. Vântul, de obicei, este măsurat folosind anemometrul, a cărui cupă se rotește pe un

ax vertical, perpendicular pe direcția vântului. Locația anemometrului trebuie aleasă cu grijă, având în vedere că orice obstacol din apropiere poate afecta calitatea măsurărilor (Bojariu și colab., 2015).

Observații instrumentale sistematice se fac, pe scară mare, începând cu a doua jumătate a secolului al XIX-lea. Există măsurători ale temperaturii, cantităților de precipitații și presiunii atmosferice începând chiar din prima parte a secolului al XVIII-lea, dar ele sunt limitate la Europa.

Fluctuațiile climatice au scări de timp foarte diferite, de la sezon, an, la sute de milioane de ani, fiecare componentă a variabilității având asociată un mecanism specific. Limitarea asociată intervalului relativ scurt pentru care există date instrumentale poate fi redusă folosind datele paleoclimatice. Paleoclimatologia este domeniul ce studiază variabilitatea și schimbările climatice pe intervale de timp ce preced perioada instrumental (Bojariu și colab., 2015).

Tehnicile folosite pentru reconstrucțiile paleoclimatice oferă informații asupra variațiilor de la scară de câteva sute de ani la cea de milioane de ani. Analiza inelelor din trunchiurile de copaci furnizează informații pentru cel mult ultimii 10 000 de ani. Cele mai multe probe de gheață se limitează a oferi informații doar pentru ultimul milion de ani. Sedimentele oceanice oferă o fereastră de timp extinsă până la 100 de milioane de ani în urmă (Bojariu și colab., 2015) .

2.2. Tehnici statistice

Complexitatea sistemului climatic face dificilă analiza sa. Metode statistice din ce în ce mai sofisticate sunt necesare pentru a identifica multitudinea de relații existente la diferite scări spațiale și temporale între variabilele ce caracterizează starea climatică. Aplicate cu discernământ, tehnicile statistice pot deveni unelte puternice de analiză ale datelor observaționale și ale rezultatelor experimentelor numerice. Scopul oricărei analize statistice este identificarea configurațiilor repetabile în setul de date și confruntarea acestora cu teoriile ce vizează explicarea

proceselor climatice supuse analizei. În general, analizele statistice identifică în şirurile de date semnale asociate unor procese climatice care depăşesc «zgomotul» de fond. Analizele descriptive pun în lumină aspectele particulare ale variabilităţii din setul de date (semnalul). Pentru aceasta se calculează indici de tipul mediei şi abaterii standard. Se definesc indici şi pentru a caracteriza evenimentele considerate extreme. Testele de semnificaţie statistică sunt foarte importante în a stabili dacă variaţiile analizate sunt diferite sau nu de ceea ce ar trebui să ne aşteptăm de la o serie de timp aleatoare (Bojariu şi colab., 2015).

Un exemplu de test statistic care identifică tendinţele în seriile de date climatice este testul neparametric Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1938, 1975), care compară magnitudinea relativă a eşantionului de date – în locul valorilor şirurilor de date (Gilbert 1987). Unul dintre marile avantaje ale acestui test constă în faptul că datele nu trebuie să fie asociate unei anumite distribuţii. În lucrarea de faţă, nivelul de semnificaţie statistică a testului Mann-Kendall a fost fixat la 10% (bidirecţional). Magnitudinea tendinţelor în şirurile de date de observaţii poate fi estimată folosind estimatorul Theil-Sen, cunoscut de asemenea sub numele de *Sen's slope estimator* (El-Shaarawi & Piegorsch 2001; Gilbert 1987) sau *Kendall robust line-fit method*, care reprezintă mediana pantelor dintre toate perechile de puncte dintr-un eşantion de date. Legătura statistică dintre valorile ce formează două şiruri de observaţii climatice poate fi identificată folosind coeficientul de corelaţie Spearman.

Există şi analize statistice care trec de nivelul descriptiv şi încearcă să răspundă unor întrebări legate de ipoteze privind mecanismele fizice ce ar putea genera comportamentul spaţio-temporal observat în datele de observaţie. Statistica nu poate oferi însă, singură, răspunsurile la problemele legate de sistemul climatic. În spatele statisticii există un cadru fizic ce trebuie înţeles în detaliu şi acest lucru necesită tehnici de modelare numerică construite pe baza legilor fizicii (Bojariu şi colab., 2015).

2.3. Modelarea climatică și incertitudinile asociate

Cercetările climatice au o relație particulară cu obiectul lor de studiu datorită imposibilității utilizării paradigmei clasice conform căreia experimentele fizice sunt special proiectate să selecteze teoriile valide dintre cele propuse pentru a explica caracteristicile sistemului analizat. Cercetătorii proceselor geofizice sunt puși în fața unui unic experiment, la a cărei elaborare nu au contribuit, și care se derulează de câteva miliarde de ani, pe Terra. În acest domeniu, ca în multe altele, dezvoltarea explozivă a tehnologiei informatice a impus soluția utilizării experimentelor numerice (Bojariu și colab., 2015) .

Modele matematice deterministe ale sistemului climatic, înglobând caracteristicile fizice deduse din datele observaționale, sunt folosite pentru a proiecta experimente numerice care încearcă să clarifice problemele legate de fluctuațiile climatice naturale și de influențele activităților umane. În general, un model climatic descrie, în termeni matematici, având la bază legile fizicii, comportamentul sistemului analizat, pornind de la o stare inițială și constrâns de condițiile externe și de frontieră. Sistemul climatic al Pământului (geosistemul) este configurat de interacțiunea componentelor sale: atmosfera, hidrosfera (oceanul planetar și rețeaua hidrologică continentală), criosfera (zăpadă, ghețari, permafrost, calote glaciare și gheața marină), biosfera și litosfera. Pentru a modela geosistemul nu este suficient să descriem separat componentele sale, este necesar să luăm în considerare și procesele ce cuplează aceste componente (Peixoto & Oort 1992). Datorită sinergiei dintre componentele geosistemului, răspunsul său la perturbațiile externe diferă de suma răspunsurilor individuale furnizate de componentele menționate mai sus. Primele tipuri de modele având cuplate componente ale geosistemului au fost cele de circulație atmosferică și oceanică (cu dinamica gheții marine inclusă). Recent, au fost dezvoltate abordări noi ce permit legarea interactivă de subsistemul cuplat ocean-atmosferă a proceselor biologice și geochimice (inclusiv a celor ce determină ciclul

carbonului), rezultând așa numitele modele de geosistem (Earth System Models – ESM; Foley și colaboratorii 1998) (Bojariu și colab., 2015).

2.3.1. Modele climatice deterministe

Pentru a descrie evoluțiile viitoare ale variabilelor climatice în vederea evaluării hazardurilor legate de climă, uneltele la îndemâna noastră sunt modelele climatice globale și regionale cu care putem realiza experimente numerice, în condițiile scenariilor ce descriu perturbațiile externe (precum schimbări ale compoziției atmosferei datorită creșterii concentrației gazelor cu efect de seră - GES).

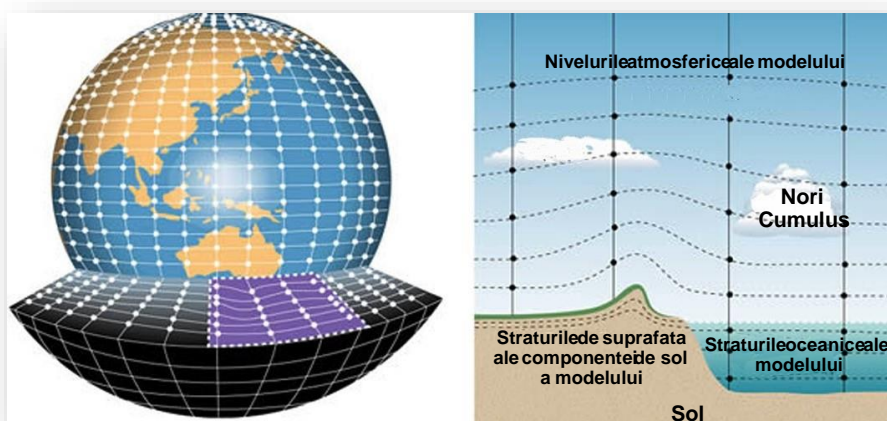


Figura 12. Reprezentarea schematică a unui model climatic global rezultat din cuplajul oceanului cu atmosfera (după Bureau of Meteorology, Australia, 2008).

Intervalul de integrare sau numărul de iterații folosit, precum și rezoluția spațială necesare rulării modelului depind de natura problemei analizate.

Realizarea modelelor circulației generale a atmosferei (AGCM) și oceanului (OGCM) necesită tehnici numerice pentru obținerea soluțiilor unui sistem de ecuații în fiecare punct al grilei globale (figura 12), algoritmi de calcul pentru diferitele tipuri de parametrizări ale proceselor fizice care au loc la scări nerezolvabile de rezoluția spațială a grilei, seturi de date la frontiera atmosferei, în acord cu rezoluția orizontală și verticală a modelului construit și condițiile inițiale pentru variabilele prognostice.

Problemele legate de variabilitatea climatică necesită, în general, integrări începând cu intervale multianuale și mergând până la cele de ordinul miilor de ani.

În cazul ideal, singurele condiții la frontieră fixate pentru atmosferă ar trebui să fie distribuția și caracteristicile orografice ale suprafețelor continentale. Toți ceilalți factori, cum ar fi temperatura oceanului la suprafață (SST), distribuția gheții marine, albedoul, concentrația diferiților constituenți ai atmosferei ar trebui predicționați de alte componente și transmiși apoi componentei atmosferice. În multe experimente numerice, aceste componente care reprezintă geosistemul sunt cuplate cu modele atmosferice. Există și cazuri când se folosesc seturile de date climatologice disponibile pentru a prescrie comportamentul lor. În acest caz avem de-a face cu experimente de forțaj al atmosferei care ignoră răspunsul cuplat (feedback-ul) al celorlalte componente.

Modelele climatice globale (GCMs) furnizează condițiile la limită (de obicei, la o rezoluție spațială de la 50 km până la 150 km) pentru modelele climatice regionale (RCMs), care practic proiectează dinamic evoluțiile globale la scări spațiale foarte fine (mai puțin de 50 de km). În afară de proiectarea dinamică la scări fine, există și metodele statistice ce pot fi utilizate pentru a modela evoluțiile unei părți a geosistemului la rezoluții spațiale și mai fine, de la aproximativ 1 km la 10 km.

Chiar dacă s-au realizat progrese privind simularea proceselor biochimice și fizice în modele, rămân încă destule incertitudini și lucruri de clarificat. Efectul norilor reprezintă încă un factor major de incertitudine pentru modelele climatice. Norii au efecte importante asupra climatului.

Unul dintre rolurile pe care norii îl joacă în climă este acela de a răci suprafața terestră prin reflectarea luminii solare înapoi în spațiu; altul este de încălzire a stratului atmosferic din apropierea suprafeței, prin blocarea radiațiilor infraroșii emise de suprafața încălzită către atmosferă.

Un exemplu este și cel ce privește evoluția socio-economică viitoare a populației, industriei și tehnologiei, care determină nivelul emisiilor și cel al concentrațiilor atmosferice de gaze cu efect de seră. Estimarea evoluției viitoare a nivelurilor de concentrație al GES și al aerosolilor este necesară pentru realizarea experimentelor numerice pentru proiecțiile viitoare ale climei.

2.3.2. Scenarii climatice

Dinamica schimbării climatice în următoarele decenii și secole depinde în mare măsură de evoluția activităților umane viitoare. De aceea, modelele climatice sunt rulate în condițiile unor scenarii de dezvoltare socio-economică.

Factorii externi impuși modelelor climatice - cum ar fi viitoarele concentrații ale GES - sunt derivați din diferite scenarii pentru viitor. Scenarii ale emisiilor/concentrațiilor GES sunt utilizate pentru a evalua impactul unei game de activități umane asupra componentelor sistemului terestru. Scenariile nu prezic viitorul, dar ele ajută la o mai bună înțelegere a incertitudinilor și a căilor de evoluție, în scopul evaluării fezabilității opțiunilor de adaptare la schimbările climatice și a diminuării emisiilor care le provoacă sub un nivel critic de la care capacitatea adaptivă a speciei noastre nu ar mai putea funcționa. Trebuie să luăm în considerare faptul că modificările climatice determină schimbări atât în sistemele naturale cât și în cele umane (prin schimbările tehnologice, economice, stilul de viață și politică), acestea din urmă, la rândul lor, influențând schimbările climatice (Bojariu și colab., 2015).

Prima abordare în proiectarea scenariilor climatice a fost una liniară, constând în următoarele etape: (1) producerea de scenarii socio-economice care conduc la diferite niveluri de emisii de aerosoli și GES

(adică scenariile de tipul IPCC SRES); (2) transformarea acestor emisii în concentrații; (3) descrierea influențelor lor asupra sistemului climatic și (4) evaluarea implicațiilor acestor schimbări climatice, împreună cu schimbările socio-economice și de mediu, asupra sistemelor naturale și umane (figura 13-a). Scenariile IPCC SRES se bazează pe diferiți factori care determină schimbări în emisiile de aerosoli și GES, inclusiv creșterea populației și durabilitatea dezvoltării socio-economice. Acești factori cuprind o gamă de posibile evoluții viitoare care ar putea influența sursele de aerosoli și GES, cum ar fi tipul de sistem energetic folosit și modificarea utilizării terenurilor. Există 40 de scenarii diferite, fiecare plecând de la un set de supoziții în ceea ce privește emisia viitoare de gaze cu efect de seră și utilizarea în viitor a terenului.

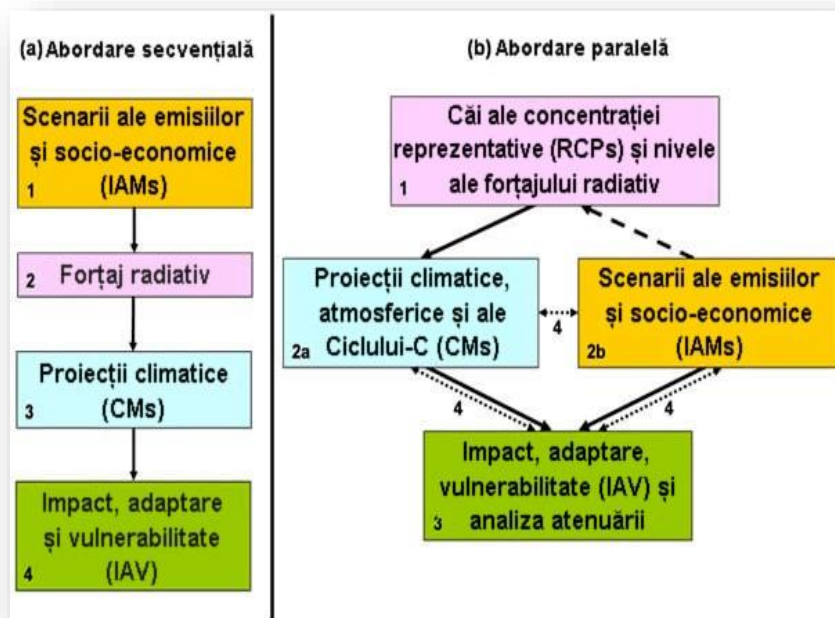


Figura 13. Abordări în dezvoltarea scenariilor globale: (a) abordare secvențială precedentă; (b) abordare paralelă propusă. Numerele indică pașii analitici (2a și 2b acționează în același timp). Săgețile indică transferuri de informație (solid), selecția RCP-urilor (liniuite) și integrarea informației și feedback-urilor (punctat). Sursa: Moss și colaboratorii (2008).

Majoritatea scenariilor includ o creștere a consumului de combustibil fosil și a produsului intern brut global (PIB). Aceste scenarii privind emisiile se organizează în familii care conțin trăsături evolutive similare în anumite privințe (Bojariu și colab., 2015).

Rapoarte de evaluare ale proiecțiilor viitoare sunt elaborate periodic de Grupul Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (IPCC), pe baza acestor scenarii. În echipa SRES s-au definit linii evolutive (cu numele de A1, A1T, A1F1, A1B, A2, B1 și B2), care descriu factorii ce determină emisiile de aerosoli și GES, relațiile dintre ei și evoluția lor în timpul secolului XXI (Nakicenovic și colaboratorii 2000). Fiecare linie evolutivă reprezintă diferite evoluții demografice, sociale, economice, tehnologice și de mediu care diverg din ce în ce mai mult pe măsură ce se apropie de sfârșitul secolului XXI (www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf). Familia A1 de scenarii se caracterizează prin: (1) creștere economică rapidă; (2) populație globală care ajunge la 9 miliarde în 2050, iar apoi descrește gradual; (3) răspândirea rapidă a tehnologiilor noi și eficiente; (4) o lume convergentă – venitul și modul de viață converg între regiuni; (5) interacțiuni sociale și culturale extinse în toată lumea. De exemplu, familia A2 de scenarii presupune: (1) operare independentă, națiuni încrezătoare în propriile forțe; (2) creșterea continuă a populației; (3) dezvoltarea economică orientată la nivel regional; (4) modificări tehnologice mai lente și mai fragmentate și îmbunătățiri la venitul pe cap de locuitor. Familia B1 de scenarii reprezintă o lume mai integrată și mult mai prietenoasă din punct de vedere ecologic, caracterizată prin: (1) creștere economică rapidă la fel ca la A1, dar cu schimbări rapide față de o economie a serviciilor și a informațiilor; (2) creșterea populației la 9 miliarde în 2050 și apoi descreștere ca la A1; (3) reducerea intensității materiale și introducerea resurselor tehnologice curate și eficiente; (4) accentuare a soluțiilor globale în ceea ce privește stabilitatea economică, socială și a mediului. Scenariile de tip B2 ilustrează o lume mai divizată, însă mult mai prietenoasă din punct de vedere ecologic, reprezentată de: (1) creșterea continuă a populației, dar la un nivel mai lent față de A2; (2) accentuarea soluțiilor locale de stabilitate economică, socială și a mediului, în dauna celor

globale; (3) nivele medii ale dezvoltării economice; (4) modificări tehnologice mai puțin rapide și mai fragmentate față de A1 și B1 (Bojariu și colab., 2015).

O altă abordare a scenariilor ce sunt impuse modelelor climatice a fost recent proiectată pentru o mai bună integrare între factorii socio-economici, schimbările din sistemul climatic și vulnerabilitatea sistemelor naturale și umane. În loc să pornească de la scenarii socio-economice care conduc la diferite niveluri de emisii ale aerosolilor și gazelor cu efect de seră, noile scenarii încep cu concentrațiile viitoare de aerosoli și gaze cu efect de seră (figura 13-b). Aceste noi scenarii descrise de Moss și colaboratorii (2008) sunt așa numitele „căi reprezentative de evoluție a concentrațiilor» (RCPs). Scenariile RCP pot fi folosite simultan, fie de modelele geosistemului (ESM) pentru a explora schimbările viitoare ale răspunsurilor fizice și biogeochimice la schimbarea compoziției atmosferice și a forțajului radiativ, sau de modelele de evaluare integrată (IAMs) pentru a explora condițiile socio-economice alternative care ar rezulta în astfel de modificări viitoare ale compoziției atmosferei (figura 28-b) (Moss și colaboratorii 2008). În faza paralelă a noii abordări, sunt efectuate noi experimente climatice cu ajutorul modelelor pentru a produce proiecții climatice folosind seriile de timp ale concentrațiilor și ale utilizării terenurilor din cele patru scenarii RCP. Aceste proiecții numerice vor fi folosite pentru a construi noi scenarii climatice pentru aplicarea lor în studii ale impactului, adaptării și vulnerabilității (IAV) și IAM (figura 28-b) (Moss și colaboratorii 2008).

Prin noua abordare, comunitatea științifică trebuie să producă scenarii cantitative ale modificărilor socio-economice, inclusiv modificările demografice, tehnologice, energetice și de utilizare a terenurilor în concordanță cu scenariile concentrațiilor (RCPs). Scenariile de tip RCP nu sunt legate de nici un scenariu socio-economic, dar fiecare dintre ele este în concordanță cu multe tipuri de evoluții socio-economice, deoarece diferite schimbări socio-economice viitoare ar putea conduce la schimbări similare în compoziția atmosferică. Liniile evolutive de dezvoltare socio-

economică definite de comunitatea științifică pot fi apoi folosite ca un set comun de ipoteze de către comunitățile IAM și IAV. Comunitatea IAV combină aceste rezultate cu cele obținute de comunitatea celor ce modelează geosistemul (ESM), având la bază scenarii de tip RCP, pentru a analiza impactul schimbărilor climatice, opțiunile la adaptare și vulnerabilitatea la schimbările climatice (figura 14) (Bojariu și colab., 2015).

Societatea are trei abordări diferite de răspuns la schimbările climatice: de atenuare, de adaptare și de acceptare a daunelor climatice inevitabile.

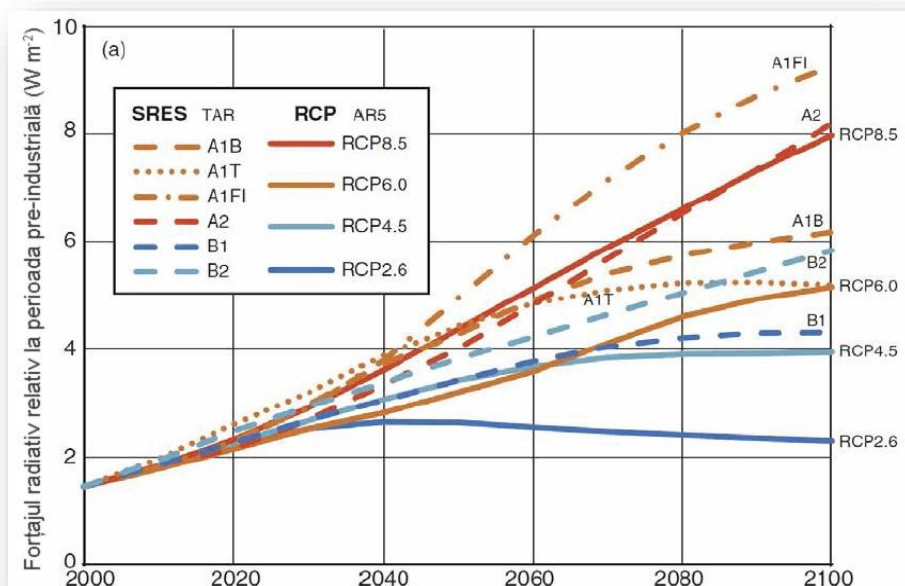


Figura 14. Forțajul radiativ (Wm^{-2}) proiectat pe secolul XXI, din scenariile SRES și RCP. Figură din raportul IPCC AR5 WGII, Capitolul 1.

Cea mai bună soluție pare a fi o combinație a acestor abordări. Pentru elaborarea politicilor privind schimbările climatice este necesar să se prezinte informații cu privire la: (1) ce acțiuni de atenuare ar putea fi necesare pentru a produce un rezultat climatic; (2) care va fi potențialul

de adaptare; (3) ce impact inevitabil s-ar putea să apară pentru o serie de proiecții ale schimbărilor climatice.

Procesul de elaborare a politicilor necesită realizarea unui compromis între costurile relative, beneficiile, riscurile și efectele secundare neașteptate ale diferitelor niveluri ale schimbărilor climatice.

În contextul evaluării riscurilor climatice, distincția între necesitățile pe termen lung și scurt pentru a răspunde impactului climei nu este de obicei foarte clară. Variabilitatea climatică este importantă pentru intervalele scurte de timp (de obicei, pe scări intra-anuale și inter-anuale), în timp ce schimbările climatice acționează pe termen lung, dincolo de scara decenală. Politicile elaborate pentru a funcționa pe intervale de timp de mai multe decenii sunt relativ puține, pentru că, pe de-o parte, decidenții evită o repartizare de resurse pentru care nu există efecte în societate pe termen scurt, iar pe de altă parte, există incertitudini asociate proiecțiilor climatice viitoare. Deși tendințele observate în schimbările climatice sunt de așteptat să continue, există incertitudini semnificative cu privire la rata exactă a schimbării și impactul său concret. De exemplu, există incertitudini asociate cu folosirea diferitelor modele, scenarii și metode de proiectare la scară mai fină, precum și incertitudini legate de diferențele dintre scările temporale, intervalele de proiecție și domeniile de interes unde sunt aplicate (Capela și colaboratorii 2014).

Schimbarea climei este rezultatul interacțiunii geosistemului natural cu antroposfera (formată din sisteme socio-economice). Modificări în ecosisteme, resurse naturale, activități economice și de infrastructură, precum și bunăstarea oamenilor, depind nu numai de schimbările climatice, dar și de alte schimbări ale mediului (descrise în scenariile de mediu) și de capacitatea societății și a economiei de a amortiza și a se adapta la impact (descrisă în scenarii de vulnerabilitate și capacitate de adaptare). O mai bună integrare a tuturor tipurilor de scenarii este necesară și în abordarea altor probleme, cum ar fi implicațiile ecologice și economice ale diferitelor seturi de politici de adaptare și atenuare a efectelor schimbării climatice (Capela și colaboratorii 2014).

În ultimii ani, o echipă internațională de oameni de știință în domeniul climei, economiști și experți în modelarea sistemelor energetice au construit o serie de scenarii noi care examinează modul în care societatea globală, demografia și economia s-ar putea schimba în secolul următor. Acestea sunt cunoscute sub numele de "traietorii socio-economice comune" (Shared Socioeconomic Pathways - SSPs).

Noile SSP-uri oferă cinci traietorii pe care lumea ar putea evolua (Fig. 15). În comparație cu scenariile anterioare, acestea oferă o viziune mai largă asupra unei lumi "*business as usual*", fără acorduri climatice viitoare, încălzirea globală în 2100, variind de la 3,1 grade C până la 5,1 grade C față de nivelurile preindustriale.

Scenariul SSP1 e caracterizat de durabilitatea dezvoltării și o abordare ecologistă, ceea ce înseamnă provocări reduse pentru atenuare și adaptare. Este o lume în care investițiile educaționale și de sănătate accelerează tranziția demografică, iar accentul pus pe creșterea economică vizează contextul mai larg al bunăstării umane. Susținută de un angajament din ce în ce mai mare pentru atingerea obiectivelor de dezvoltare, inegalitatea este redusă. Consumul este orientat către o limitare a folosirii resurselor materiale și energetice.

Scenariul SSP2 descrie o cale de mijloc, ceea ce înseamnă provocări medii pentru atenuare și adaptare. Lumea urmează o cale în care tendințele sociale, economice și tehnologice nu se schimbă semnificativ față de modelele istorice. Dezvoltarea și creșterea veniturilor au o evoluție inegală. Instituțiile globale și naționale lucrează, dar fac progrese lente în atingerea obiectivelor de dezvoltare durabilă. Creșterea populației globale este moderată. Inegalitatea veniturilor persistă sau se îmbunătățește încet, iar provocările legate de reducerea vulnerabilității la schimbările sociale și de mediu rămân.

Scenariul SSP3 este descris ca unul în care caracteristica principală este rivalitatea regională, ceea ce înseamnă provocări majore pentru atenuare și adaptare. Un naționalism reînviat, preocupările legate de competitivitate și securitate și conflictele regionale împing țările să se concentreze din ce

În ce mai mult asupra problemelor interne sau, cel mult, regionale. Politicile se schimbă în timp pentru a deveni din ce în ce mai orientate spre problemele de securitate națională și regională. Țările se concentrează asupra atingerii obiectivelor privind energia și securitatea alimentară în doar cadrul propriilor regiuni. Investițiile în educație scad și se constată declinul dezvoltării tehnologice. Dezvoltarea economică este lentă, consumul este intensiv, iar inegalitățile persistă sau se înrăutățesc în timp. Creșterea populației este scăzută în țările dezvoltate și înaltă în cele în curs de dezvoltare.

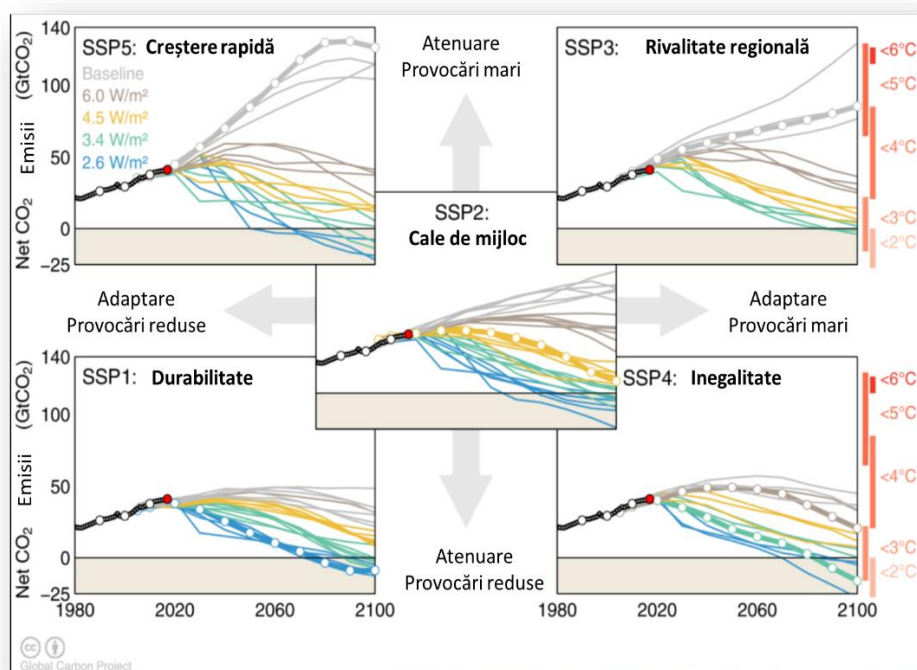


Figura 15 Reprezentarea celor 5 scenarii SSP cu emisiile și creșterile asociate de temperatură (la sfârșitul secolului) și legătura cu scenariile RCP. După Glen Peters and Robbie Andrews și Global Carbon Project (<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>).

O prioritate internațională scăzută pentru abordarea preocupărilor legate de mediu conduce la o degradare puternică a mediului în unele regiuni.

Scenariul SSP4 este caracterizat de inegalitate, ceea ce se traduce prin provocări scăzute pentru atenuare și ridicate ridicate pentru adaptare. Investițiile foarte inegale în capitalul uman, combinate cu disparitățile din ce în ce mai mari în ceea ce privește oportunitățile economice și puterea politică, duc la creșterea inegalităților și stratificării. De-a lungul timpului, se creează o diferență între o societate conectată la nivel internațional care contribuie la sectoarele intensive ale cunoașterii și capitalului din economia globală și o colecție fragmentată de societăți cu venituri reduse și slab dezvoltate care lucrează într-o economie slab tehnologizată. Coeziunea socială se degradează, conflictele devin tot mai frecvente. Sectorul energetic conectat la nivel global se diversifică, cu investiții atât în combustibili pe bază de carbon, cum ar fi cărbunele și petrolul neconvențional, dar și pe sursele de energie cu emisii reduse de carbon. Politicile de mediu se concentrează asupra problemelor locale din jurul zonelor medii și înalte de dezvoltare.

Scenariul SSP5 este unul de dezvoltare pe bază de combustibili fosili, ceea ce înseamnă provocări importante pentru atenuare și provocări reduse pentru adaptare. Această lume se bazează pe piețele competitive, inovare și societățile participative pentru a produce progrese tehnologice rapide și dezvoltarea capitalului uman. Piețele globale sunt din ce în ce mai integrate. Există, de asemenea, investiții puternice în domeniul sănătății, al educației și al instituțiilor pentru a spori capitalul uman și social. În același timp, impulsivitatea dezvoltării economice și sociale este combinată cu exploatarea resurselor abundente de combustibili fosili și adoptarea unui stil de viață ce exploatează intens resursele materiale și de energie din întreaga lume. Toți acești factori duc la o creștere rapidă a economiei globale. Problemele locale de mediu precum poluarea aerului sunt gestionate cu succes. Există încredere în capacitatea de a gestiona în mod eficient sistemele sociale și ecologice, inclusiv prin geo-inginerie, dacă este necesar.

Există incertitudini în alegerea scenariilor de dezvoltare socio-economică viitoare și ele sunt transmise în scenariile de emisie. Scenariile privind emisiile viitoare ale gazelor cu efect de seră sunt, la rândul lor, introduse ca date de intrare în modelele numerice care simulează evoluția sistemului climatic global. Modelele climatice globale generează, și ele, incertitudini legate de reprezentarea corectă și completă a proceselor fizice. Pe de-o parte, avem de-a face cu un sistem complex, care se comportă neliniar – sistemul climatic – iar pe de altă parte, resursele de calcul sunt și ele limitate. Trebuie subliniat că proiectarea la nivel regional (în cazul de față, la nivelul României) a semnalului încălzirii globale, presupune adăugarea unor noi verigi la lanțul de incertitudini deja existent, în situația evaluării schimbării climatice globale. La toate acestea se adaugă incertitudinile generate de sistemul actual de observații. În ultimii ani s-au înregistrat progrese în localizarea, și în unele cazuri, minimizarea incertitudinilor legate de reprezentarea proceselor fizice. Resursele de calcul s-au mărit și ele. Nu suntem însă în situația de a fi eliminat toate incertitudinile în evaluarea semnalului încălzirii globale și evaluările impactului acestuia asupra societății umane trebuie să țină seama de existența lor (Bojariu și colab., 2015).

Din perspectiva adaptării, este important să se evalueze toate schimbările posibile în relație cu incertitudinile asociate acestora. O parte din incertitudinile în proiecțiile climatice viitoare există din cauza limitărilor teoretice în modelarea climei și a interacțiunilor sale cu ecosistemele și sistemele umane. Acestea sunt intrinseci științei, deci anumite niveluri de incertitudine vor fi mereu prezente și trebuie să fie incluse în procesele de luare a deciziilor. Date fiind aceste niveluri inevitabile de incertitudine, adaptarea la schimbările climatice ridică provocări în planificarea politicilor pe termen lung (Capela și colaboratorii 2014).

2.4. Simulari climatice

Modele numerice care simulează comportamentul sistemului climatic sunt folosite, împreună cu datele de observație, pentru a evalua caracteristicile schimbărilor climatice pe termen mediu și lung. Astfel de evaluări au fost realizate și pentru România – ele sunt proiecții ale schimbărilor climatice în viitor, valabile în contextul scenariilor specifice de evoluție a concentrațiilor atmosferice ale gazelor cu efect de seră.

Pentru a evalua tendințele viitoare ale climei în România am folosit, în cele ce urmează, experimentele numerice realizate atât cu modele climatice globale, disponibile în cadrul programelor CMIP 3 (tabelul 5) și CMIP 5 (tabelul 6) cât și cu cele regionale, disponibile în cadrul programului EuroCORDEX (tabelul 7; Jacob și colaboratorii, 2014). Metodologia de bază pentru evaluarea schimbărilor în valorile variabilelor climatice folosește conceptul de ansamblu de experimente. În acest caz, de interes este evoluția valorii rezultate din medierea variabilelor climatice simulate de fiecare experiment numeric, membru al ansamblului, pe perioade comune. Această mediere elimină o parte din «zgomotul» creat de particularitățile de construcție ale fiecărui model și extrage mai eficient semnalul legat de răspunsul comun al ansamblului de experimente la creșterea concentrației atmosferice a gazelor cu efect de seră (figura 39). Pe de altă parte, medierea ansamblului de experimente îngustează plaja de variabilitate posibilă și aplicarea mediei multimodel, în cazul evaluării fenomenelor extreme, necesită precauție metodologică.

În cazul nostru particular – schimbarea climei în România - mediile ansamblurilor de experimente CMIP3, CMIP5, CMIP 6 și EURO-CORDEX simulează relativ bine comportamentul sezonier observat, în climatul actual, chiar dacă există diferențe cantitative. Intervalul de referință pentru climatul actual este 1961-1990 pentru ansamblurile de modele globale și 1971-2000 pentru cele regionale. Datele de observație folosite pentru a evalua capacitatea modelelor de a reprezenta climatul regional în aceste intervale sunt cele din setul ROCADA (Birsan și Dumitrescu 2014b). Rezoluția spațială a setului ROCADA este de $0,1^\circ$ în latitudine și

longitudine. Experimentele cu modele globale au rezoluții spațiale diferite. Pentru a calcula mediile ansamblurilor cu modele globale, datele simulate au fost interpolate pentru a fi aduse la o rezoluție comună de 1° în latitudine și longitudine. Experimentele EURO-CORDEX cu modele regionale au prin construcție o rezoluție de 0,125° în latitudine și longitudine.

Deși intervalele de referință, ansamblurile de modele și tipurile de scenarii impuse modelelor folosite diferă, făcând dificilă o comparație cantitativă directă, putem trage anumite concluzii generale. În cazul temperaturii, o problemă comună tuturor ansamblurilor de simulări analizate este supraestimarea valorilor în lunile de vară și în cele de iarnă și subestimarea lor în anotimpurile de tranziție (figurile 16 și 18). În cazul ratei precipitațiilor, se observă din compararea datelor observate cu cele simulate că modelele climatice globale folosite tind să supraestimeze precipitațiile în sezonul rece și să le subestimeze în sezonul cald (figurile 17 și 20). Totuși, modelele climatice globale utilizate reușesc să simuleze calitativ comportamentul sezonier atât al temperaturii cât și al ratei de precipitații pentru teritoriul României, astfel încât putem avea un grad rezonabil de încredere în privința proiecțiilor viitoare realizate cu aceste modele.

Pe de altă parte, mediile ansamblului de experimente regionale care simulează clima actuală sunt mai aproape de observații, ceea ce era de așteptat, ținând cont că reprezentarea proceselor locale este mai bună la RCM-uri și deci răspunsul local la semnalul global mai corect nuanțat (Fig. 19, 21 și 22).

Tabelul 1. Modelele climatice globale ale programului CMIP 3 ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România.

Nr.	Centrul de modelare climatică globală	Model
1	BCCR (Norvegia)	BCCR_BCM2_0
2	CCCma (Canada)	CCCMA_CGCM3_1
3	CNRM (Franța)	CNRM_CM3

4	CSIRO (Australia)	CSIRO_MK3_0
5	GFDL (Statele Unite ale Americii)	GFDL_CM2_0 GFDL_CM2_1
6	INM (Rusia)	INCM3_0
7	MIROC (Japonia)	MIROC3_2_medres
8	MIUB (Germania)	MIUB_echo_g
9	MPI (Germania)	MPI_ECHAM5
10	NASA (Statele Unite ale Americii)	GISS_model_E_R
11	UKMO (Marea Britanie)	UKMO_HadCM3

Tabelul 2. Modelele climatice globale ale programului CMIP 5 ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România.

Nr.	Centrul de modelare	Modelele folosite
1	BCC (China)	BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1(m)
2	CCCma (Canada)	CanESM2
3	CNRM-CERFACS (Franța)	CNRM-CM5
4	CSIRO-BOM (Australia)	ACCESS1.0 ACCESS1.3
5	CSIRO-QCCCE (Australia)	CSIRO-Mk3.6.0
6	GCESS (China)	BNU-ESM
7	IPSL (Franța)	IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR IPSL-CM5B-LR
8	MIROC (Japonia)	MIROC5 MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM

9	MOHC (Marea Britanie)	HadGEM2-CC HadGEM2-ES
1	MPI-M (Germania)	MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR
11	MRI (Japonia)	MRI-CGCM3
12	NASA GISS (Statele Unite ale Americii)	GISS-E2-H GISS-E2-H-CC GISS-E2-R GISS-E2-R-CC
13	NCAR (Statele Unite ale Americii)	CCSM4
14	NCC (Norvegia)	NorESM1-M
15	NSF-DOE-NCAR (Statele Unite ale Americii)	CESM1(BGC) CESM1(CAM5)

Tabelul 3. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România și bazinul Dunării, pentru temperatură.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	IPSL-INERIS (Laboratorul de Știința Climei și Mediului, IPSL, CEA/CNRS/UVSQ – Institutul Național al Mediului Industrial și la Riscurilor, Halatte, Franța)	WRF331F	IPSL-CM5A-MR

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
4	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
5	MPI-CSC (Institutul Max-Planck – Centrul de Servicii Climatice Hamburg, Germania)	REMO2009	MPI-ESM-LR
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
8	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tabelul 4. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România și bazinul Dunării, pentru precipitații.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
4	MPI-CSC (Institutul Max-Planck – Centrul de Servicii Climatice Hamburg, Germania)	REMO2009	MPI-ESM-LR
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tabelul 5. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România și bazinul Dunării, pentru stratul de zăpadă.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	IPSL-INERIS (Laboratorul de Știința Climei și Mediului, IPSL, CEA/CNRS/UVSQ – Institutul Național al Mediului Industrial și la Riscurilor, Halatte, Franța)	WRF331F	IPSL-CM5A-MR
4	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tabelul 6. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România și bazinul Dunării, pentru evapotranspirația potențială.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
2	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
3	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
4	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

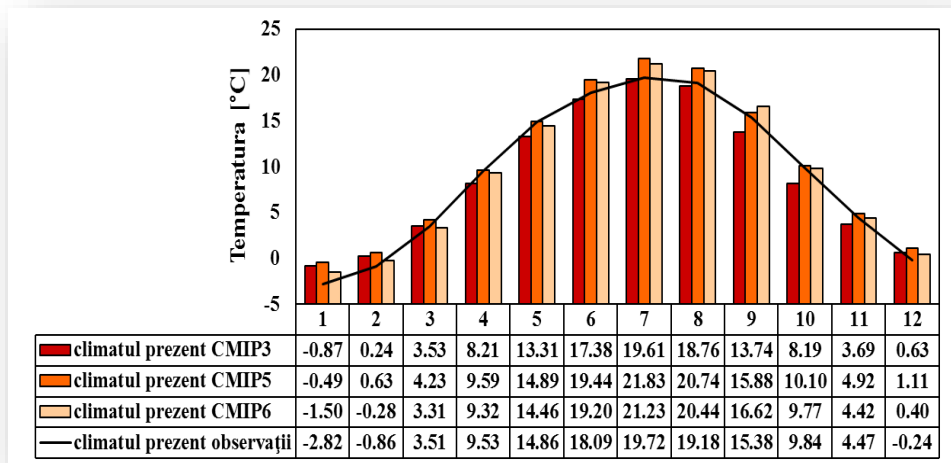


Figura 16. Mediile multianuale (1961-1990) ale valorilor lunare de temperatură (în °C) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice globale.

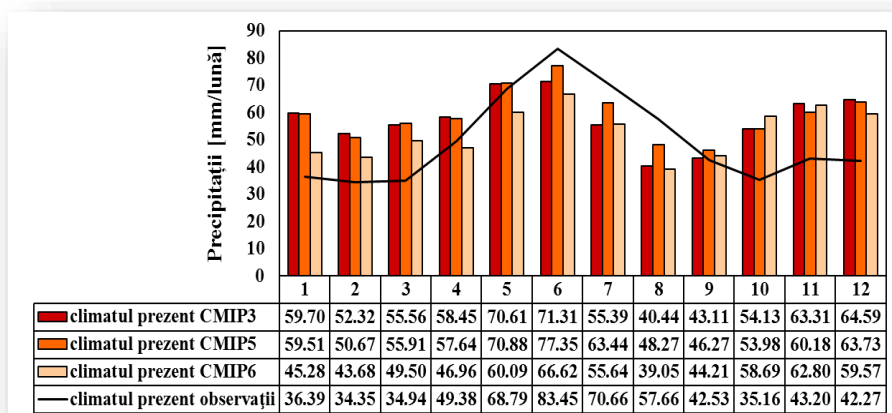


Figura 17. Mediile multianuale (1961-1990) ale ratei medii lunare a precipitațiilor (în mm/zi) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice globale.

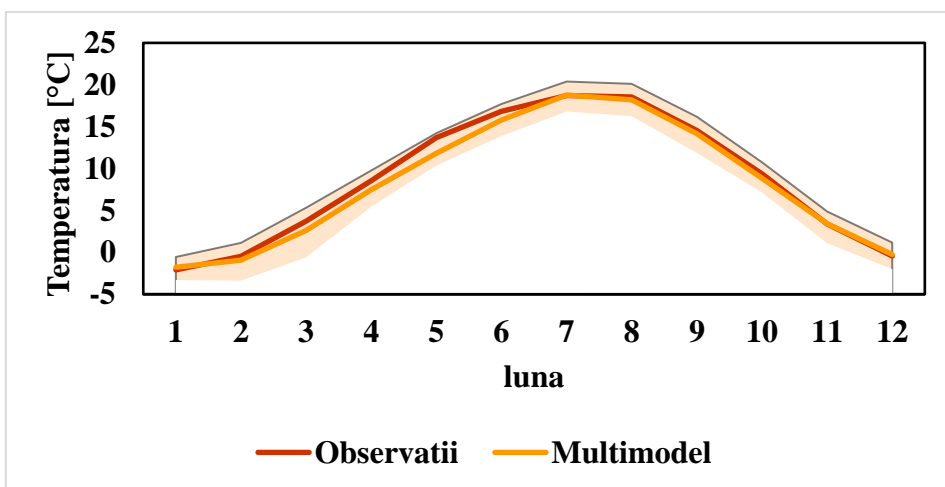


Figura 18. Mediile multianuale (1971-2000) ale valorilor lunare de temperatură (în °C) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din

programul EuroCORDEX (prezentate în tabelul 4).

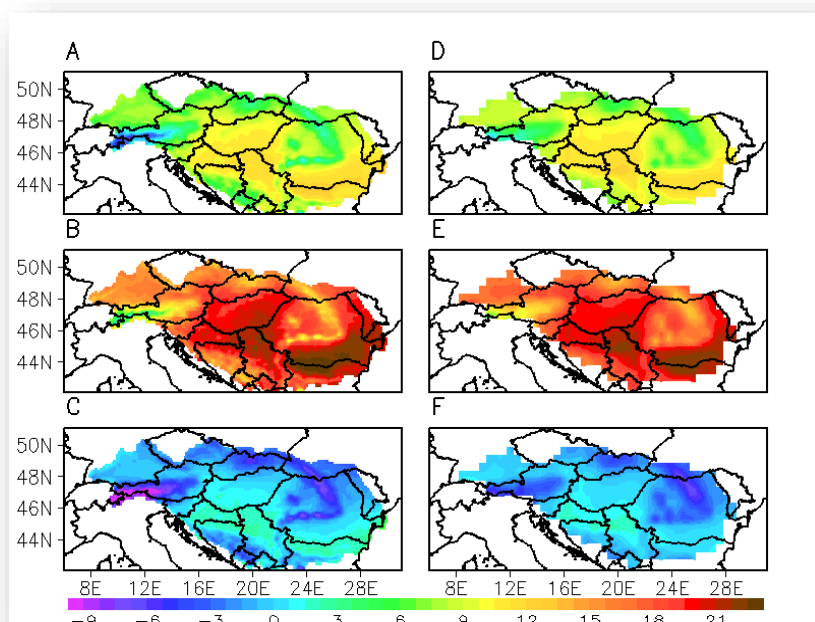


Figura 19. Simulările temperaturii aerului anuale (A și D), de vară (B și E) și de iarnă (C și F) modelate cu ansamblul de modele regionale (stânga) și observate (dreapta, date CRU gridate) pentru bazinul Dunării, în perioada de referință 1971-2000.

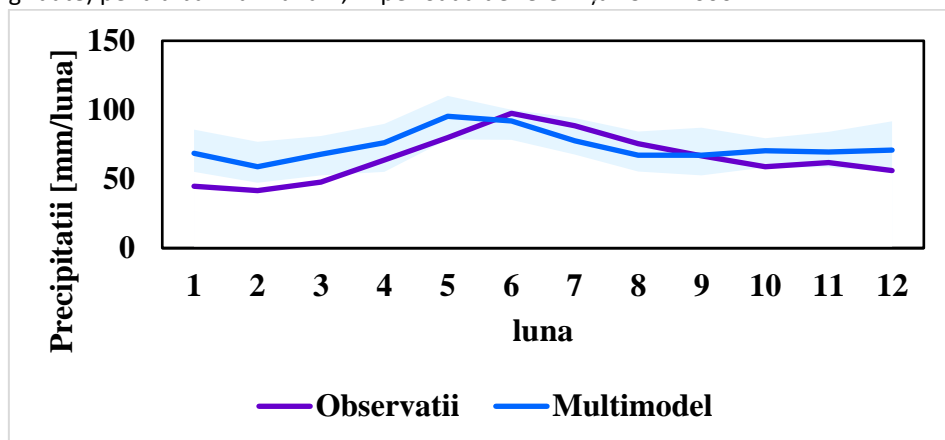


Figura 20. Mediile multianuale (1971-2000) ale ratei medii lunare a precipitațiilor (în mm/lună) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EuroCORDEX (prezentate în tabelul 6).

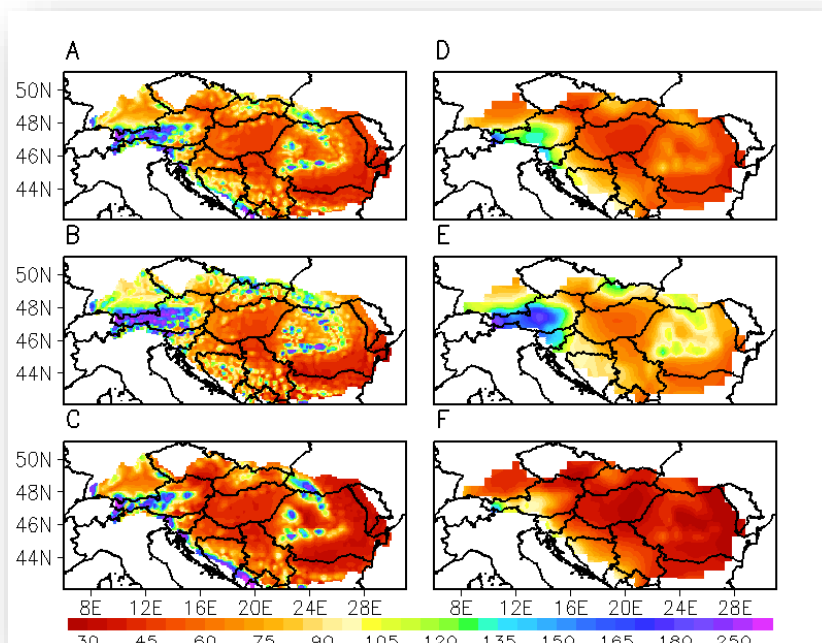


Figura 21. Simulările cantităților de precipitații anuale (A și D), de vară (B și E) și de iarnă (C și F) modelate cu ansamblul de modele regionale (stânga) și observate (dreapta, date CRU gridate) pentru bazinul Dunării, în perioada de referință 1971-2000.

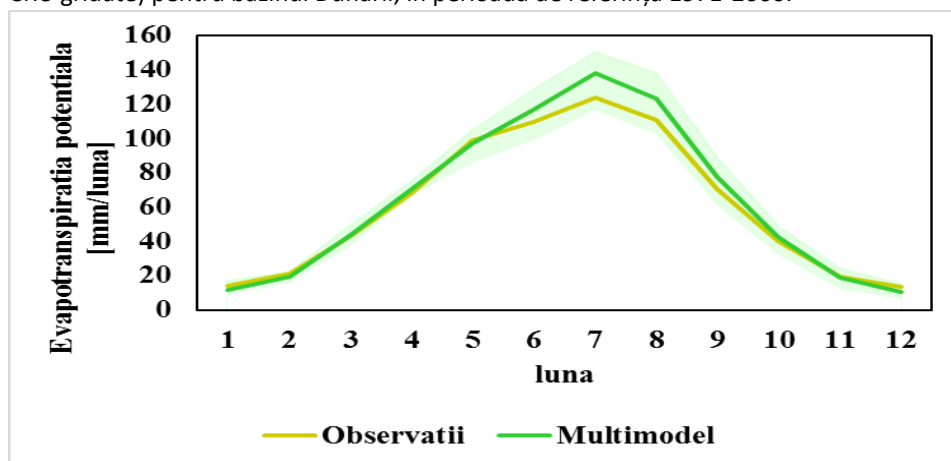


Figura 22. Mediile multianuale (1971-2000) ale evapotranspirației potențiale medii lunare (în mm/lună), la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 5).

3. Indicii hidroclimatici

3.1. Indicele Palmer pentru severitatea secetei (IPSS)

Indicele Palmer pentru Severitatea Secetei – IPSS (PDSI este acronimul în limba engleză) – a fost introdus de climatologul american Palmer (1965). Deși numele său se referă doar la «secetă», indicele poate fi aplicat și pentru analiza excesului de umiditate.

Indicele a fost utilizat pentru analiza severității secetelor din perioada instrumentală (Diaz 1983; Karl 1986; Dai și colaboratorii 1998), pentru reconstituirea unor secete în condiții paleoclimatice (Stahle și colaboratorii 1985; Cook și colaboratorii 1999) sau pentru analiza schimbării climei (Karl și colaboratorii 1996; Dai și colaboratorii 2004). De asemenea, IPSS a fost aplicat atât pentru stații meteorologice individuale (Guttman 1991; Guttman și colaboratorii 1992), cât și pentru areale (Dai și colaboratorii 1998, 2004). Byun & Wilhite (1999) consideră că rezoluția temporală potrivită pentru IPSS este de o lună sau cel puțin două săptămâni.

IPSS măsoară efectul cumulat al deficitului/surplusului de precipitații lunare raportat la cantitatea optimă de precipitații, aceasta din urmă definită drept cantitatea de precipitații necesară pentru menținerea unui conținut optim de apă în sol, astfel încât plantele să aibă o creștere normală (ferită de stresul lipsei de apă) într-o anumită regiune (Qi & Wilson 2000). Palmer a construit indicele care îi poartă numele pe baza componentelor bilanțului hidric, în cazul unui areal anume, luând în considerare nu doar deficitul de precipitații, ci și alte variabile ca temperatura aerului și conținutul de apă disponibilă din sol (Hayes 2002).

Obiectivul inițial al IPSS a fost de a permite compararea condițiilor de umiditate din areale diferite (Palmer 1965). Din punct de vedere al analizei secetei o valoare a IPSS de -3,5 în Podișul Dobrogei de Sud are aceeași semnificație cu o valoare de -3,5 în Podișul Central Moldovenesc sau în Carolina de Sud (Barbu și Popa, 2011). Datorită faptului că evaluarea severității secetei cu ajutorul IPSS se bazează nu doar pe aportul

precipitațiilor și al temperaturilor, ci și pe caracteristicile solurilor, cele mai bune rezultate sunt obținute în regiuni cu relief relativ plan, cât mai omogen din punct de vedere al condițiilor fizico-geografice. De astfel, Palmer a dezvoltat indicele în regiuni de câmpie din statele Iowa și Kansas, iar cercetările ulterioare au dovedit că IPSS dă rezultate concludente mai ales în astfel de regiuni.

Unul din argumentele care pledează pentru utilizarea IPSS constă în capacitatea acestuia de a urmări perisitența secetei. De exemplu, o lună cu exces de precipitații care apare într-o perioadă extinsă cu deficit, nu înseamnă finalul secetei (Hayes 2002). Această situație nu este întotdeauna bine evidențiată cu ajutorul altor indici (ca SPI) care nu iau în considerare condițiile pluviometrice precedente celor din luna pentru care se calculează indicele de secetă. Calificativele acordate lunilor în funcție de IPSS au fost stabilite de Palmer (1965) tocmai pentru a «puncta» începutul și sfârșitul unei perioade secetoase (tabelul 7).

Tabelul 7. Calificative acordate lunilor în funcție de Indicele Palmer pentru Severitatea Secetei (IPSS) (după Barbu și Popa, 2011).

IPSS	Calificativ
$\leq -4,0$	Extrem de secetos
-3,00...-3,99	Secetă severă
-2,00...-2,99	Secetă moderată
-1,00...-1,99	Secetă slabă
-0,50...-0,99	Secetă incipientă
-0,49...-0,49	Aproximativ normal
0,50...0,99	Umed incipient
1,00...1,99	Umed slab
2,00...2,99	Moderat umed
3,00...3,99	Foarte umed
$\geq 4,0$	Extrem de umed

IPSS se diferențiază de alți indici prin inerția sa, ceea ce nu este mereu un avantaj; astfel, începutul și sfârșitul secetei pot fi marcate artificial, datorită inerției IPSS. Alley (1984) face o sinteză a avantajelor utilizării IPSS. Printre cele mai evidente se numără cuantificarea abaterii față de normală a alimentării cu apă dintr-un areal și compararea temporală și spațială între condițiile de secetă.

Literatura științifică a domeniului (Alley 1984; Karl & Knight 1985; Hayes 2002) evidențiază punctele slabe ale Indicelui Palmer: (1) pragurile de atribuire a calificativelor au fost acordate doar în funcție de cercetările lui Palmer din Iowa și Kansas, și nu pe baza unor studii de caz complexe; (2) IPSS este sensibil la caracteristicile solului, iar coeficientul dependent de tipul de sol este insuficient pentru surprinderea detaliilor proceselor din sol; (3) nu se iau în calcul precipitațiile solide (topirea zăpezii e un factor neglijat); (4) tehnica Thornthwaite de estimare a evapotranspirației potențiale este relativ simplistă din perspectiva proceselor implicate în evapotraspirație.

Calculul IPSS se bazează pe date de precipitații, temperatura aerului, condiții pedologice generale (conținutul apei disponibile din sol) și condiții radiative (latitudinea locului). Pentru a obține valoarea IPSS, este necesar ca în prealabil să se calculeze un indice al anomaliei umidității din sol (Z_i) pentru fiecare lună (i), după următoarea formulă:

$$Z_i = k \cdot (P - \alpha \cdot PE - \beta \cdot PR - \gamma \cdot PRO + \delta \cdot PL)$$

unde: k este un factor empiric de ponderare, specific fiecărui areal; α , β , γ , δ sunt coeficienți de evapotranspirație, alimentare, scurgere și pierdere a apei în sol, calculați ca ponderi ale cantităților reale față de cele potențiale pentru fiecare variabilă; P , PE , PR , PRO , PL reprezintă cantitatea reală de precipitații, evapotranspirația potențială calculată după metoda Thornthwaite, alimentarea potențială, scurgerea potențială și pierderea umezelii solului.

3.2. Hazarduri și resurse legate de apă

Există fenomene meteorologice (de vreme) și climatice extreme, specifice diferitelor regiuni ale globului, în funcție de caracteristicile locale, care afectează atât ecosistemele, cât și comunitățile locale umane, perturbând activitățile socio-economice. Apariția acestor fenomene extreme intră în categoria hazardurilor naturale. Locuitorii României nu se

pot aștepta la hazarduri de tipul producerii furtunilor tropicale sau uraganelor și nu au de ce să se pregătească pentru a le face față. În schimb, trecerea și dezvoltarea furtunilor de tipul ciclonilor mediteraneeni, sau a celor convective sunt cele care pot provoca în zona țării noastre episoade cu precipitații abundente, rezultând inundații și alunecări de teren, ceea ce transformă producerea lor în hazarduri naturale pentru societatea noastră.

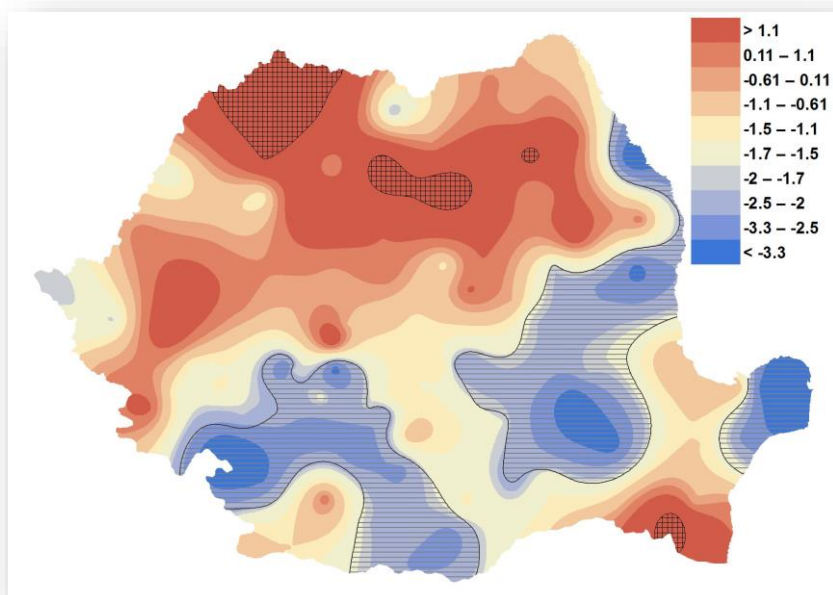


Figura 23. Tendințele pe perioada de 50 de ani (1961-2010) pentru valorile anuale ale indicelui Palmer. Zonele hașurate prezintă tendințe semnificative statistic la nivelul de încredere de 90% (conform testului Mann Kendall).

Valurile de căldură au devenit mai frecvente în ultimele decenii și frecvența lor va crește în deceniile care urmează (Bojariu și colaboratorii, 2015). Studiile din literatura domeniului arată că acele condiții asociate producerii de valuri de căldură favorizează și alte tipuri de hazarduri cum ar fi incendiile de vegetație și secetele. Observațiile ne sugerează existența

unor tendințe spre aridizare mai ales în regiuni din sud-vestul, sud-estul și vestul României, acolo unde în 50 de ani valorile indicelui Palmer au crescut, în general, cu mai mult de 2 unități. În regiuni din nord-vestul țării, indicele Palmer prezintă în 50 de ani creșteri semnificative statistic de aproximativ o unitate, sugerând prezența unei tendințe spre excendent de apă în sol (Figura 23; Bojariu și colab, 2015).

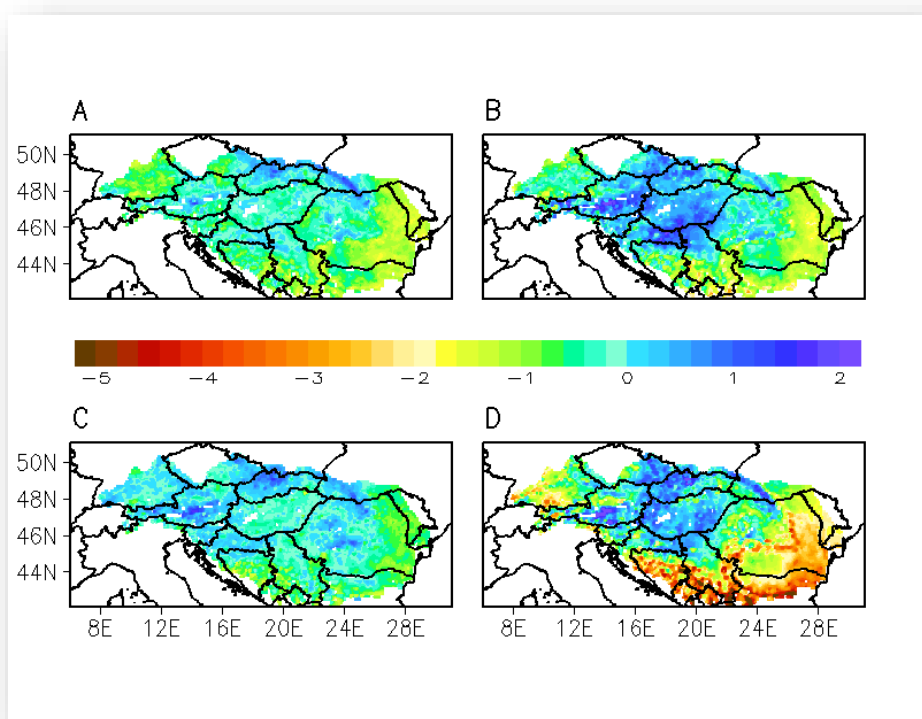


Figura 24. Schimbarea în valorile medii anuale ale IPSS în orizonturile de timp 2021-2050 vs. 1971-2000 (dreapta) și 2071-2100 vs. 1971-2000 (stânga) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), pentru bazinul Dunării, calculate folosind rezultatele anasmablului de experimente numerice cu 5 modele regionale (tabel 6).

Proiecțiile viitoare ale indicelui Palmer de severitate a secetei, calculat pentru teritoriul României, sugerează că secetele vor fi din ce în

ce mai intense, în condițiile semnalului încălzirii globale, mai ales pentru bazine hidrologice din sudul și estul României (Fig. 24).

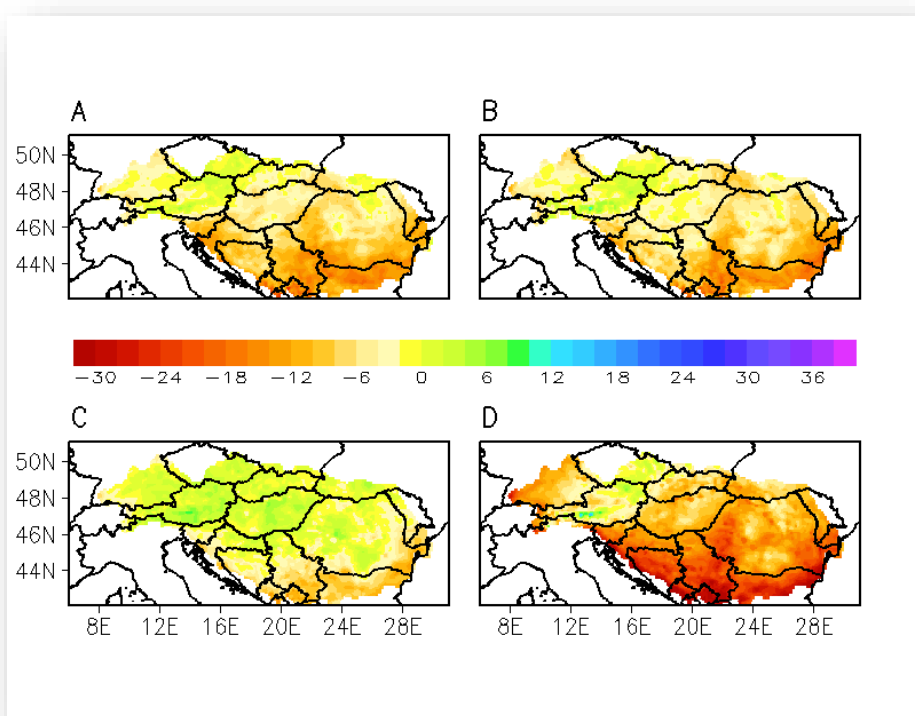


Figura 25. Schimbarea în valorile medii ale cantității de precipitații de vară (în %) în orizonturile de timp 2021-2050 vs. 1971-2000 (dreapta) și 2071-2100 vs. 1971-2000 (stânga) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), pentru bazinul Dunării, calculate folosind rezultatele ansamblului de experimente numerice cu 7 modele regionale (tabel 4).

Intensitatea precipitațiilor a crescut și va crește și în viitor, în condițiile scenariilor schimbării climatice.

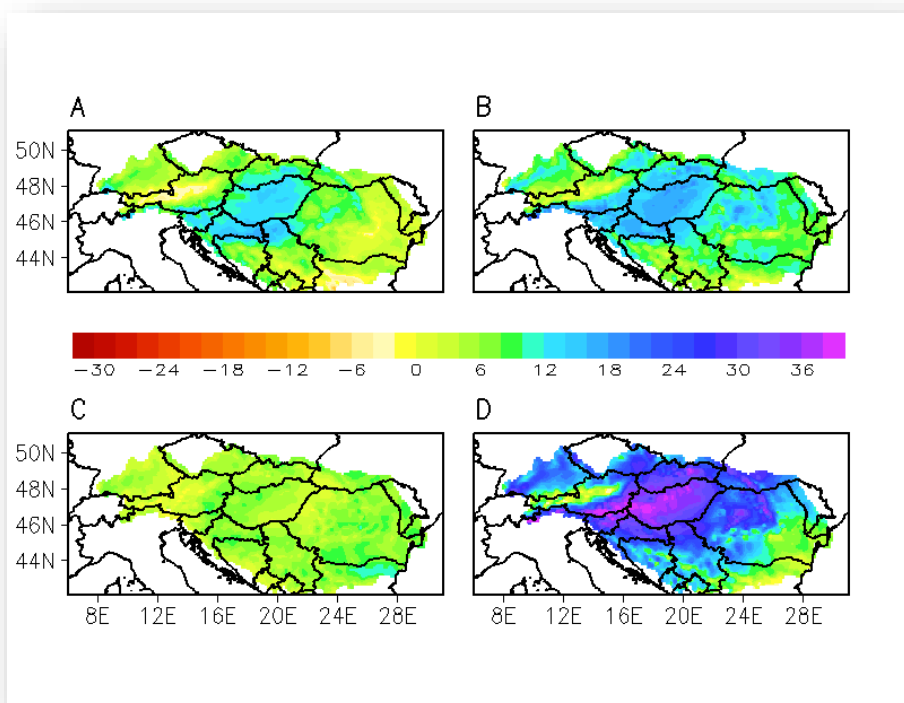


Figura 26. Schimbarea în valorile medii ale cantității de precipitații de iarnă (în %) în orizonturile de timp 2021-2050 vs. 1971-2000 (dreapta) și 2071-2100 vs. 1971-2000 (stânga) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), pentru bazinul Dunării, calculate folosind rezultatele anasmablului de experimente numerice cu 7 modele regionale (tabel 4).

Aceste creșteri mari apar mai ales în zonele de munte, dar tendința este aceeași pentru întreg teritoriul țării cu excepția unor areale reduse din sud-vestul României (Bojariu și colab., 2015). Precizările cantitative în legătură cu schimbările în frecvența unor tipuri de hazard prezentate până acum trebuie luate în considerare *cum grano salis*, ținând cont de incertitudinile ce însoțesc proiecțiile ce folosesc modelarea climatică.

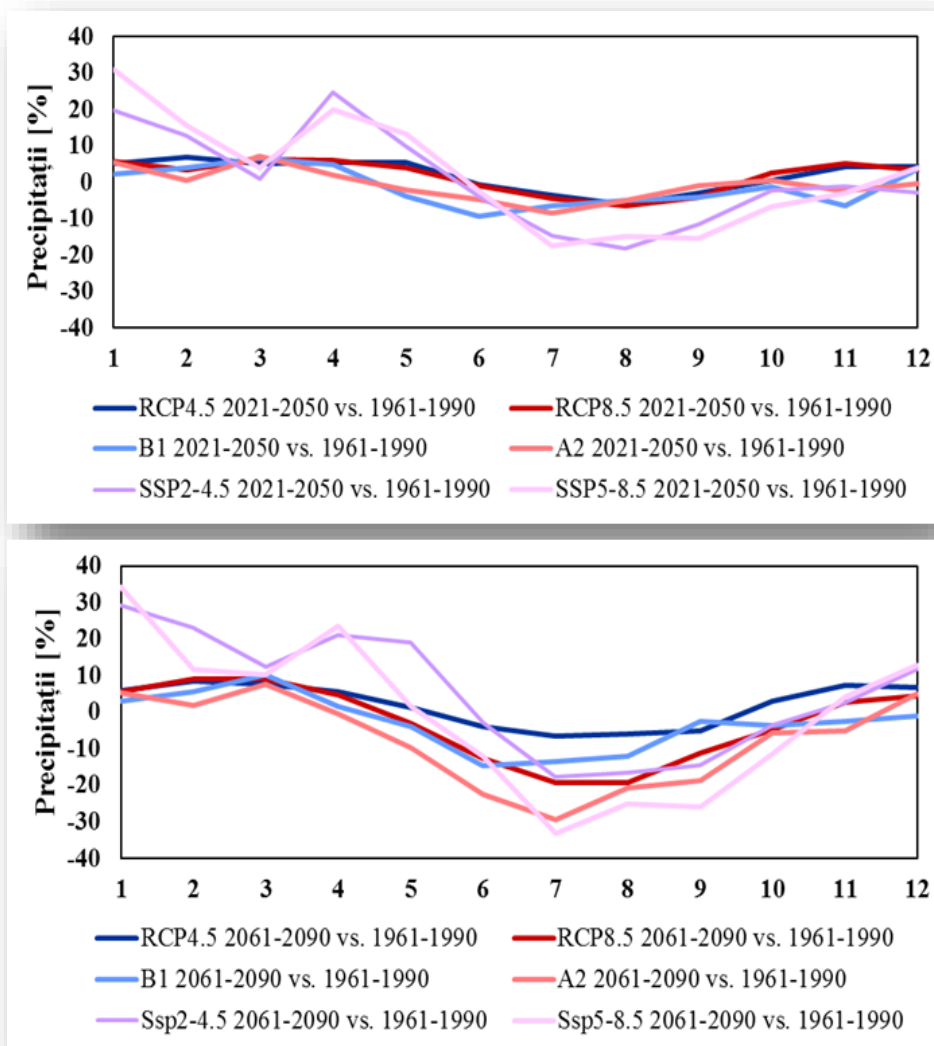


Figura 27. Schimbarea în valorile medii lunare ale sumelor lunare de precipitații (figura de jos, în %) în condițiile scenariilor de emisie și concentrație pentru 2021-2050 vs. 1961-1990 și 2061-2090 vs. 1961-1990. A fost folosită date ale modelelor globale din programele CMIP3, CMIP5 și CMIP 6.

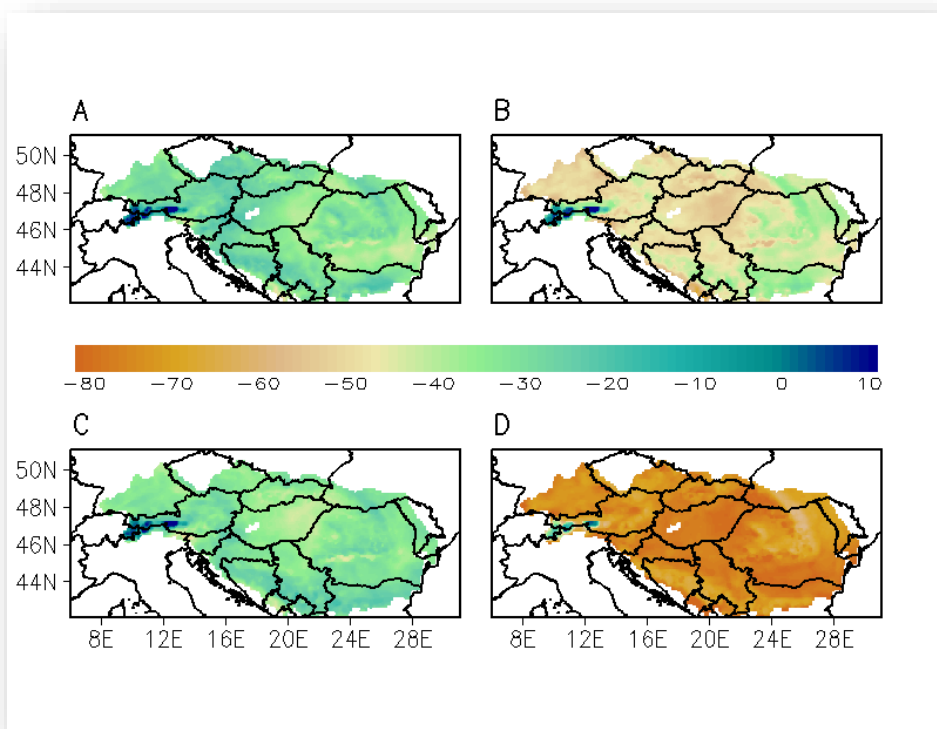


Figura 28. Schimbarea în valorile medii ale grosimii stratului de zăpadă (în %) în perioada octombrie-mai, pentru orizonturile de timp 2021-2050 vs. 1971-2000 (dreapta) și 2071-2100 vs. 1971-2000 (stânga) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), pentru bazinul Dunării, calculate folosind rezultatele anasmablului de experimente numerice cu 7 modele regionale (tabel 5).

Totuși, informația că aceste tipuri de hazard vor deveni mai frecvente și diferențierile regionale simulate coerent, din punct de vedere al cadrului fizic, de modelele regionale, pot fi folositoare în procesul de evaluare a riscurilor și, mai departe, la selectarea opțiunilor de adaptare ce permit planificarea unei dezvoltări socio-economice durabile.

Pe de altă parte, dacă privim la evoluția regimului mediu al unor variabile climatice, acestea pot fi asimilate unor resurse (resurse pentru agricultură, generarea de energie hidroelectrică, turism). În cazul

resurselor de apă, variabilele climatice de interes sunt elemente ale ciclului hidrologic, precum precipitațiile și stratul de zăpadă.

Precipitațiile, vara, au o tendință progresivă de reducere, în toată țara, în funcție de scenariu și orizontul de timp analizat, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000. (Fig. 25). Iarna, există un semnal de creștere moderată a precipitațiilor în regiunile din vestul, nordul și centrul României, în timp ce în sud-estul țării fluctuațiile sunt mici, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000 (Fig. 26). Diferențele legate de scenariu sunt relativ mici în primele decenii ale secolului XXI. Diferențele mai mari în ceea ce privește schimbarea climatică sunt așteptate spre sfârșitul secolului XXI (Fig. 27).

Tabel 8 Schimbarea în valorile indicelui Palmer de severitate a secetei pentru lunile de vară (iunie-august) din intervalul 1970-2100, mediată la nivelul unor bazine ale râurilor din România. (După Bojariu et al., 2018).

River basin	Climate scenario	Numerical experiments				
		1	2	3	4	5
Arges	RCP 4.5	-0.75	-2.87	0.20	-2.28	-1.57
	RCP 8.5	0.00	-3.81	-1.85	-4.01	-5.34
Mures	RCP 4.5	1.85	-1.81	0.98	-0.94	-1.89
	RCP 8.5	1.80	-0.31	-2.24	-1.22	-3.58
Prut	RCP 4.5	-2.24	-1.10	-0.43	-1.81	-1.65
	RCP 8.5	-1.14	0.39	-1.89	-2.83	-3.62
Siret	RCP 4.5	-1.69	-1.18	-0.39	-2.75	-2.40
	RCP 8.5	-0.79	-0.55	-1.85	-4.87	-5.27
Somes	RCP 4.5	2.12	-1.93	0.20	-0.75	-1.30
	RCP 8.5	0.83	-0.39	-2.95	0.02	-1.14

Iarna, se anticipează că va avea loc o scădere a grosimii stratului de zăpadă (Fig. 28), o modificare a raportului dintre precipitațiile solide și lichide, și o creștere a debitelor râurilor. În același timp, debitele minime de vară vor avea o tendință de reducere. În concluzie, pe măsură ce în

bazinele hidrografice devin dominante precipitațiile lichide, se estimează că debitele de apă vor crește iarna și vor scădea în primăvară și vară. Ciclul anual al debitelor râurilor se va modifica, cu impact asupra agriculturii și al generării de energie electrică prin hidrocentrale.

Schimbarea climatică reduce resursa de apă de pe teritoriul României, mai ales în regiuni din sud și sud-est. Bazinul Argeșului, cel ce alimentează cu apă capitala țării, va suporta tendințe accelerate de aridizare, în condițiile scenariului cel mai pesimist (tabel 8).

4. Impactul schimbării climatice

4.1. Contextul socio-economic prezent și viitor

Evaluarea schimbărilor socio-economice necesită, de obicei, scenarii socio-economice. Un scenariu socio-economic reprezintă o combinație între proiecțiile cantitative și informația calitativă (cum ar fi liniile narative) care definește un viitor plauzibil (Carter și colaboratorii 2007).

4.2. Traectoriile socio-economice comune

Scenariile SSP sunt acum utilizate ca date de intrare pentru cele mai recente modele climatice, constituindu-se ca bază pentru al șaselea raport de evaluare (AR6) al Grupului interguvernamental privind schimbările climatice (IPCC), care urmează să fie publicat în 2020-2021. Aceste scenarii sunt, de asemenea, utilizate pentru a explora modul în care opțiunile de dezvoltare socio-economică afectează emisiile de gaze cu efect de seră și, prin urmare, cum ar putea fi îndeplinite obiectivele climatice ale Acordului de la Paris.

4.3. Scenarii de dezvoltare socio-economică regionale și naționale

Până acum, scenariile de viitor la nivel global au fost în general utilizate pentru a evalua evoluția globală plauzibilă a emisiilor și concentrațiilor gazelor cu efect de seră, impuse drept condiții externe în modelele climatice (§ 2.3.2). Comunitatea științifică implicată în cercetarea impactului, adaptării și vulnerabilității la schimbările climatice a analizat, mai degrabă, consecințele unei anumite creșteri locale a variabilei climatice (de exemplu, creșterea cu 1°C a temperaturii aerului în comparație cu un interval de referință), fără a utiliza scenariile socio-economice globale prezentate în § 2.3.2.

Dezvoltarea scenariilor regionale, naționale sau sub-naționale pentru perioade de timp foarte lungi reprezintă un efort complex (Gaffin și colaboratorii 2004; Theobald 2005; Lempert și colaboratorii 2006; Grüber și colaboratorii 2007; Groves & Lempert 2007; Hallegatte și colaboratorii 2010; Van Vuuren și colaboratorii 2010b). În unele cazuri sunt dezvoltate scenarii locale – cum ar fi scenariile la nivel urban proiectate să sprijine planificarea urbană. Totuși, aceste scenarii nu sunt conectate la cele globale, în care schimbarea mediului poate fi pe deplin reprezentată. În plus, acestea consideră de obicei orizonturi de timp mai mici de 30 de ani. Scenariile urbane având orizontul de timp anul 2100 nu sunt, în general, disponibile acum, dar astfel de scenarii ar fi relevante pentru a înțelege impactul schimbărilor climatice la scară urbană. Așadar, în contextul nostru, este dificil de exemplificat cu scenarii socio-economice pentru bazinul Dunării și cu atât mai mult pentru România, pentru a evalua partea de impact a riscurilor viitoare. Ceea ce poate fi prezentat din literatura de specialitate disponibilă sunt unele informații calitative despre impactul viitor regional, având la bază tendințele identificate la nivel european ale indicilor de expunere (de exemplu, populația totală, ariile urbane, etc) și vulnerabilitate (de exemplu, distribuția vârstei, utilizarea terenului, etc) care, parțial, conturează impactul socio-economic.

4.4. Schimbări demografice

Schimbări demografice sunt așteptate în: (1) distribuția vârstelor; (2) mărimea și dinamica creșterii populației; (3) mobilitatea / migrația / urbanizarea populației. Mai detaliat și considerând distribuția vârstelor în Europa, caracteristica și tendința principală pentru viitor sunt reprezentate de îmbătrânirea populației, care se așteaptă să aibă un impact direct asupra vulnerabilității societăților la dezastrele naturale. În contrast cu rata mare a natalității din deceniile de după al II-lea Război Mondial, au fost observate tendințe negative în structura populației începând cu anii 1970 (Stula & Linz 2010).

Ratele scăzute ale natalității în combinație cu ratele scăzute ale mortalității au condus la o populație îmbătrânită. Această populație îmbătrânită poate fi mai vulnerabilă la unele tipuri de hazarduri (de exemplu, la valuri de căldură, inundații) și mai puțin capabilă să se adapteze la schimbarea climei (ESPON 2013). Procentul vârstnicilor în Europa este așteptat să crească de la 17,1% la 30% în 2060, în timp ce procentul persoanelor în vârstă de peste 80 de ani se va tripla până în 2060 (Eurostat 2008; EEA 2012). Conform unor evaluări ale unui studiu coordonat de Departamentul Economic și Social al Organizației Națiunilor Unite (UN 2014), gradul de urbanizare al României a ajuns la 54,4% în 2014. Potrivit proiecțiilor realizate în același studiu, în 2030, 58,7% din populația țării va locui în orașe, iar până în 2050, procentul va ajunge la 66,8%. Populația urbană în România va crește, până în 2050, cu aproape 10% față de nivelul ei din 2010 (UN 2014). Tendințele evoluției populației urbane la nivelul României sunt ilustrate în figura 65.

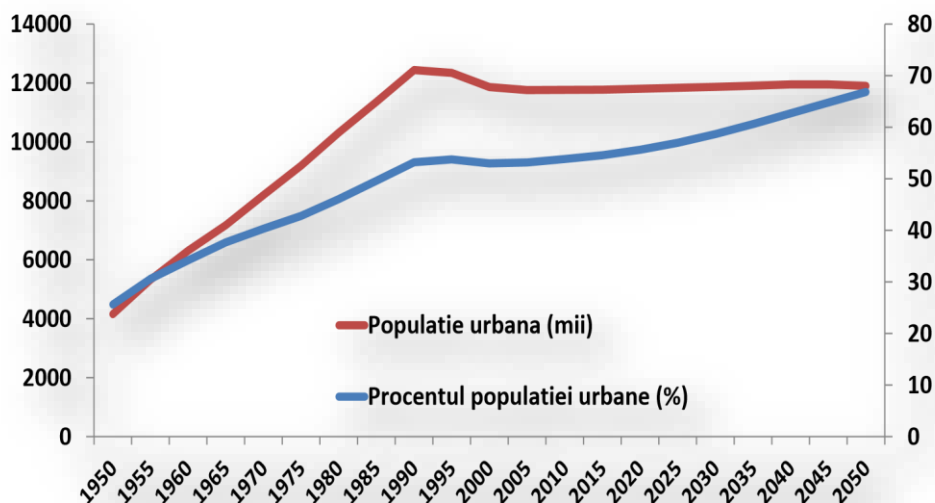


Figura 29. Tendințele populației urbane la nivelul României (UN 2014).

Raportul Global al Națiunilor Unite asupra Așezărilor Umane – Orașe și Schimbările Climatice (UN-Habitat 2011) estimează că procentul populației din orașele cu mai puțin de 500 000 de locuitori va descrește ușor, dar procentul populației din mega-orașe (mai mult de 10 milioane de locuitori) va crește de la 8,2% în anul 2000 la 10,4% în anul 2020 (UN-Habitat 2011).

Creșterea populației și urbanizarea au determinat deja creșterea vulnerabilității orașelor europene la hazardurile legate de schimbarea climei, precum valuri de căldură, inundații și secetă. Creșterea vulnerabilității de acest tip se va amplifica în viitor, în general, în Europa și evident, în România.

4.5. Schimbări ale folosirii terenului

Agenția Europeană de Mediu (EEA) a realizat un raport privind utilizarea terenului în Europa, cu accent pe perspectivele utilizării terenului pentru anul 2020. Mai precis, perspectivele utilizării terenului acoperă două dimensiuni: schimbări între diferite categorii ale acoperirii terenului și schimbări în interiorul categoriilor acoperirii terenului. Conform acestui raport, până în anul 2020 zonele urbane se așteaptă să crească cu 1%. Utilizarea terenului agricol se estimează că va scăde, în contrast cu zonele forestiere a căror suprafață va crește cu 5% între anii 2000 și 2020 (EEA 2010). Impermeabilizarea solului este una din cele mai importante provocări, dacă luăm în considerare schimbările în acoperirea terenului și impactul lor asupra consecințelor dezastrelor naturale. Impermeabilizarea solului este determinată de «acoperirea permanentă a unei zone de teren și a solului acesteia cu material artificial impermeabil ca asfaltul sau betonul» (EC 2012). Impactul impermeabilizării solului asupra ciclului hidrologic local este indicat schematic în Figura 30.

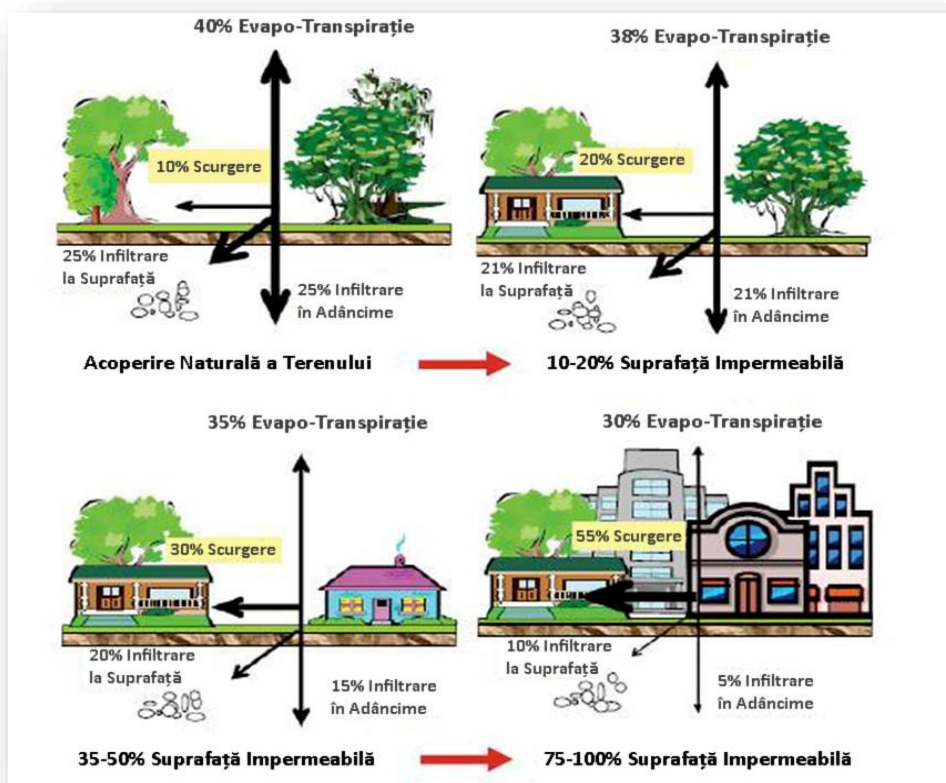


Figura 30. Impactul impermeabilizării solului asupra ciclului hidrologic (EC 2012).

Impermeabilizarea solului în ariile construite poate descrește capacitatea luncilor de a stoca apa, conducând la o creștere a riscului la inundații și a pagubelor produse de acestea (Fig. 30). Câteva exemple la nivel European pot sublinia dimensiunea problemei: spre exemplu, fluviile Rin și Elba au pierdut în procent de 80 și 86% suprafețe a patru lunci naturale de stocare (EC 2012). Această problemă se va amplifica în anii și deceniile ce vin deoarece, în fiecare zi, 27 de hectare de teren sunt impermeabilizate în Europa, datorită, în primul rând, expansiunii constante a rețelei de transport (IASS 2013). Impermeabilizarea solului joacă un rol important în creșterea temperaturii urbane și dezvoltarea

insulei de căldură asociate orașului. Suprafețele urbane pot fi cu până la 20% mai calde decât cele neimpermeabilizate sau acoperite cu vegetație (IASS 2013).

4.6. Alte schimbări socio-economice

Alte schimbări socio-economice precum șomajul, crizele financiare, schimbări în Produsul Intern Brut (PIB) pot afecta impactul general al dezastrelor naturale asupra unei comunități. Din păcate, în literatura domeniului există un număr relativ mic de studii privind adaptarea la schimbarea climatică, bazate pe scenarii socio-economice (Kriegler și colaboratorii 2012). Astfel de studii sunt cele ale lui Arnell și colaboratorii (2004) și Rounsevell și colaboratorii (2006).

5. Riscuri legate de schimbarea climei

Schimbarea climei modifică atât valorile medii cât și valorile extreme ale principalelor variabile climatice. Fenomenele extreme legate de variabilitatea și schimbarea climatică sunt la originea unor tipuri de dezastre naturale. Există un mecanism al Uniunii Europene (UE) pentru protecție civilă care se referă la componenta de prevenire a dezastrelor naturale și a celor provocate de om, evaluând riscurile asociate acestora și urmărind reducerea acestora. Acțiunile de prevenire trebuie să fie corelate cu acțiunile de pregătire și răspuns la dezastre, prin încurajarea unui schimb de informații între nivelurile administrative din interiorul unui stat, dar și între statele membre, pentru a folosi eficient resursele și a evita dublarea eforturilor.

Eforturile la nivelul UE pentru gestionarea situațiilor de urgență provocate de dezastre naturale și produse de om vizează aspecte legate de: (1) extinderea și standardizarea seturilor de date și a informațiilor

georeferențiate privind hazardurile și consecințele lor la nivel regional și național conform unor metodologii comune; (2) extinderea studiilor de caz privind evenimente deosebite, înregistrate în trecut, atât din punct de vedere al hazardurilor cât și al impactului socio-economic; (3) realizarea de hărți de risc, hărți de impact și construirea de sisteme de avertizare în timp real pentru hazarduri cu potențial distructiv. În acest context, ghidurile publicate de Comisia Europeană (CE) (European Commission 2010) au ca obiectiv o abordare unitară a riscurilor, atât la nivel național, cât și la nivel european. Prin această abordare metodologică unitară se vor aduce îmbunătățiri semnificative sistemului de gestionare al situațiilor de urgență. România, ca membru al UE, s-a angajat într-un proces de aliniere la cerințele acestui mecanism.

În cadrul proiectului SEERISK a fost elaborat și publicat un ghid pentru gestionarea riscurilor generate sau intensificate de schimbarea climatică în macroregiunea Dunării (SEERISK 2014). Metodologia de evaluare a riscurilor climatice a fost proiectată în conformitate cu liniile directoare comunitare privind evaluarea riscurilor și cartografierea acestora (Further Developing Risk Assessment for Disaster Management within the European Union, 2011) și poate fi aplicată la mai multe tipuri de risc (de exemplu, valuri de căldură, inundații, secetă, incendii de vegetație, episoade de vânt extrem). Elaborarea unor strategii adecvate de adaptare la variabilitatea și schimbarea climei trebuie să se bazeze pe evaluarea cât mai completă a riscurilor (figura 31). Evaluarea riscurilor este un proces sistematic ce fundamentează luarea deciziilor pe bază științifică.

5.1. Definirea riscului climatic

Riscul asociază probabilitatea de apariție a evenimentelor sau tendințelor periculoase (hazardul) cu impactul acestora. Exprimat matematic, riscul este o funcție ce depinde atât de probabilitatea de apariție cât și de impactul hazardului analizat. Impactul, la rândul lui,

rezultă din expunere și vulnerabilitate. Expunerea este definită ca totalitatea elementelor (oameni, proprietăți, sisteme de infrastructură) prezente în regiunile în care acționează hazardul analizat care pot suferi consecințe ale acestuia (pierderi). Vulnerabilitatea este definită ca un ansamblu de caracteristici care predispun comunitățile umane și sistemele de infrastructură la efectele dăunătoare ale hazardului analizat. Riscul rezultă din interacțiunea vulnerabilității, expunerii și hazardului. În acest raport, termenul risc se referă în primul rând la riscul hazardurilor legate de schimbarea climatică (Figura 31 și Figura 32).

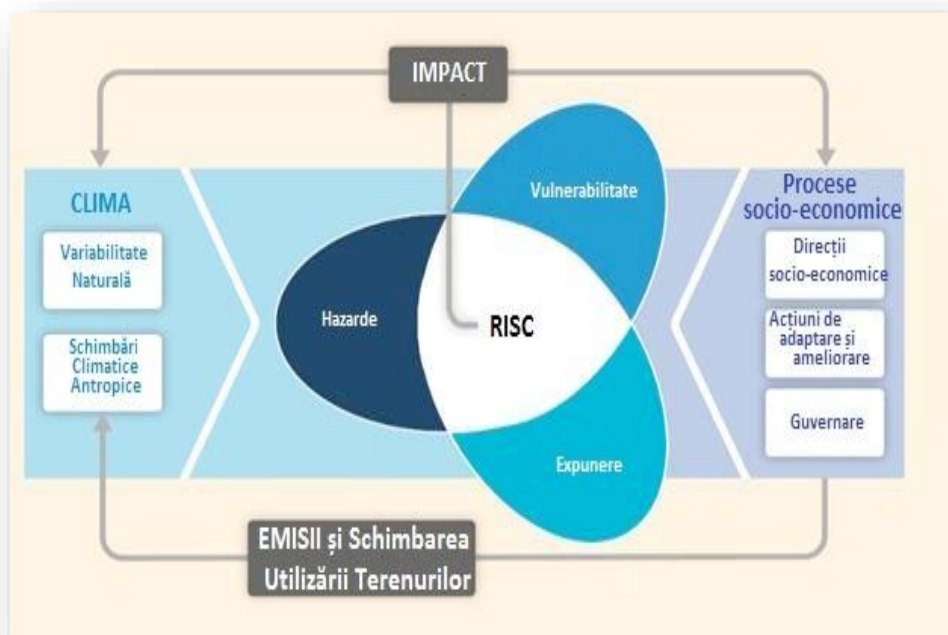


Figura 31. Riscurile în contextul variabilității și schimbării climatice (după IPCC WGII Summary for Policymakers, 2014).

5.2. Metodologii de evaluare a riscurilor climatice

Conform Ghidului de Adaptare la Schimbarea Climei și Evaluare a Riscului în macroregiunea Dunării (SEERISK, 2014), etapele metodologice ale unei analize de risc, exemplificate și în figura 32, sunt următoarele: (1) stabilirea contextului și identificarea riscului; (2) elaborarea scenariilor cu determinarea probabilității de apariție a unui anumit pericol; (3) evaluarea impactului acestui pericol specific asupra elementului selectat și supus riscului; (4) definirea nivelurilor de risc/clasificarea riscului (cantitativă sau calitativă); (5) cartografierea riscului prin suprapunerea (combinația și analiza) cartografierii pericolelor (hazardului) și a impactului; (6) evaluarea riscului în contextul planificării priorităților și a procedurilor de urmat pentru minimizarea consecințelor (impactului). O modalitate de a ierarhiza și reprezenta riscurile este matricea de risc. Matricea de risc reprezintă grafic scorurile probabilității de producere a hazardului și ale impactului asociat (figura 33).

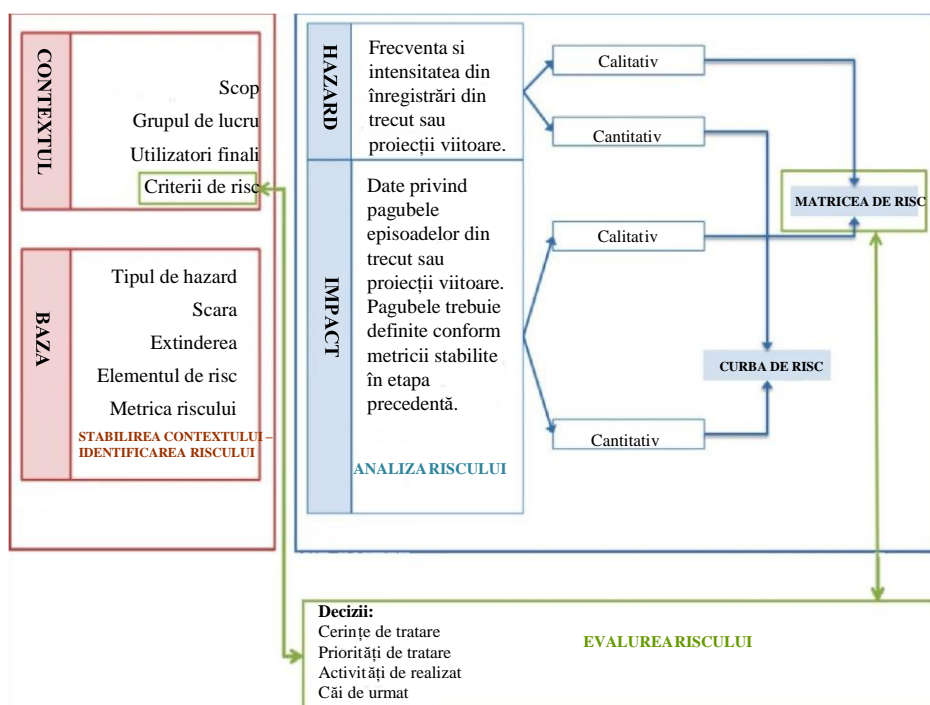


Figura 32. Procedura de evaluare a riscului. Schemă preluată din *Guideline on climate change adaptation and risk assessment in the Danube macro-region* (SEERISK 2014).

Abordarea folosită în proiectul SEERISK ia în considerare dezavantaje precum lipsa de indicatori cantitativi și oferă măsuri alternative, pentru a furniza o metodologie ușor de utilizat chiar și cu date limitate ce stau la dispoziția celui ce o folosește (SEERISK 2014).

Din acest punct de vedere, problemele cele mai mari, identificate pe parcursul proiectului SEERISK, au fost cele legate de disponibilitatea datelor privind consecințele socio-economice (impactul) hazardurilor studiate. În acest caz, metodologia sugerează folosirea hărților de expunere în locul celor de risc, utilizând, de exemplu, date de folosința solului, atunci când datele privind impactul hazardului natural lipsesc.

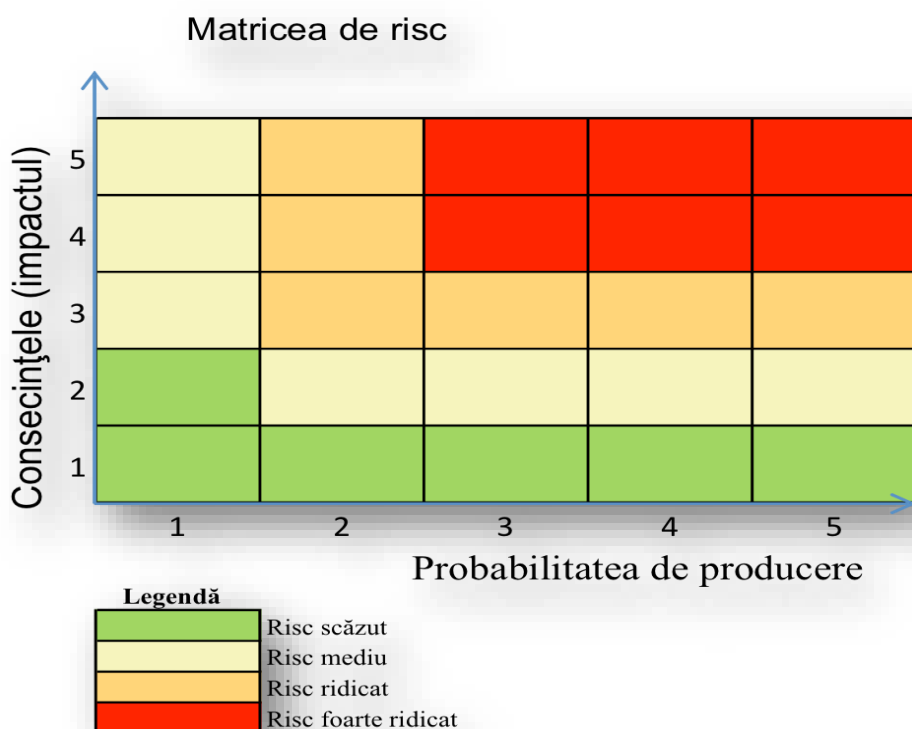


Figura 33. Reprezentarea matricii folosite în evaluarea calitativă a riscului, conform metodologiei SEERISK (2014).

5.3. Riscuri climatice prezente și viitoare

Discuția despre riscurile viitoare trebuie să pornească de la constatarea că ambele componente, atât hazardul cât și impactul, se vor modifica în condițiile schimbării climatice viitoare.

Astfel, evaluările riscurilor folosind date istorice și pe cele ale climei prezente trebuie completate cu evaluări care țin cont de modificările în frecvența și intensitatea hazardurilor de interes, pe de-o parte și de evoluțiile viitoare socio-economice în regiunile analizate. În ambele cazuri, sunt necesare proiecții viitoare: ale probabilității de producere a hazardurilor derivate din modificarea statisticilor variabilelor climatice și ale estimării consecințelor viitoare ale acestor hazarduri într-o societate diferită de cea din prezent, atât economic cât și social (capitolul 4).

Răspunsul acestei societăți viitoare la impactul diferitelor tipuri de hazard va fi semnificativ diferit față de cel prezent. Evaluarea riscurilor prezente și viitoare cere abordări interdisciplinare și transdisciplinare care să cupleze modelarea climatică și pe cea socio-economică.

6. Adaptarea la schimbarea climei

6.1. Ciclul adaptării la variabilitatea și schimbarea climei

Variabilitatea și schimbarea climatică influențează deja ecosistemele și sistemele umane (IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers, 2014). Se așteaptă ca în viitor influența climatică asupra frecvenței și intensității hazardurilor naturale (inundații, valuri de căldură, secete, incendii de pădure etc.) să crească, afectând astfel dinamica și serviciile ecosistemelor, viețile oamenilor și bunurile lor materiale. În acest context, consecințele socio-economice și de mediu ale dezastrelor legate de hazardurile naturale devin din ce în ce mai grave. Schimbarea tiparelor spațiale și temporale ale hazardurilor naturale impune strategii de adaptare și acțiuni adecvate și particularizate. Adaptarea la schimbarea climatică presupune atât anticiparea efectelor negative și luarea de măsuri adecvate pentru a preveni și minimiza daunele pe care acestea le pot provoca, cât și a profita de oportunitățile ce pot apărea (figura 34).

Evaluarea condițiilor climatice și socio-economice prezente și viitoare este primul pas în procesul de adaptare. Această etapă necesită sisteme de monitorizare climatică (rețele meteorologice de suprafață, radare meteorologice, sisteme de radiosondaj pentru atmosferă, dispozitive satelitare, balize oceanice și marine etc.), care să adune sistematic și continuu observații. Observațiile sunt folosite împreună cu rezultatele experimentelor numerice, realizate cu modele climatice globale și regionale, în analiza stării prezente a climei și estimarea celor viitoare, la nivel nu doar global, ci și regional și local. În paralel este nevoie de o dezvoltare a bazelor de date și a modelării socio-economice care să se poată cupla cu informațiile climatice, în etapa următoare – cea a evaluării riscurilor și oportunităților potențiale legate de variabilitatea și

schimbarea climei. În continuare, evaluarea trebuie să țină cont nu doar de fiecare risc în parte ci și de situațiile de tip multirisc. Discutăm și despre oportunități, atunci când analizăm impactul schimbării climei pentru că eficiența adaptării ține de includerea ei ca parte a dezvoltării socio-economice.



Figura 34. Reprezentarea ciclului adaptării la schimbarea climatică.

În luarea deciziilor, în urma etapei de selecție și ierarhizare a măsurilor de adaptare (figura 34), este necesar ca decidenții să țină cont sau chiar să înglobeze incertitudinile asociate evaluărilor climatice, socio-economice și celor de risc. Aceste incertitudini sunt foarte diverse ca origine. Ele pot fi generate fie de cunoașterea științifică și limitele ei inerente (asociate cu modelarea climatică dar și cu variabilitatea internă a geosistemului complex), fie de incertitudinile legate de deciziile politice, sociale și economice de la un moment dat (de exemplu, rezultate ale negocierilor globale de reducere a emisiilor gazelor cu efect de seră).

Înglobarea incertitudinilor în procesul de selecție al politicilor de dezvoltare, ca răspuns la riscurile și oportunitățile identificate a fi legate de schimbarea climei, se poate face folosind fie strategii de tip «top-down» fie de cele de tip «bottom-up» (Tiago și colaboratorii 2014). Abordările de tip «top-down» sunt cele predictive care au ca punct forte estimarea statistică a incertitudinilor și pot descrie rezonabil incertitudinile legate de scenariile folosite, dar nu pot funcționa atunci când cunoașterea nu este suficientă pentru a modela rezonabil procesele analizate. Abordările de tip «top-down» necesită folosirea estimărilor probabiliste și a scenariilor lipsite de surprize de tipul metodelor bayesiene și a analizelor Monte Carlo (Capela și colaboratorii 2014). Metodele bayesiene se aplică în doi pași: (1) pe baza cunoașterii existente se identifică și se selectează o distribuție a probabilităților pentru variabila a cărei plajă de incertitudine se analizează; (2) valorile variabilei obținute prin modelare sunt introduse, folosind o teoremă a matematicianului Bayes, pentru a actualiza distribuția inițială, transformând-o în distribuția finală a probabilităților, cea pe baza căreia se determină nivelurile de incertitudine. Analiza Monte Carlo este o metodă statistică pentru determinarea componentei aleatoare și a propagării erorilor la modelarea variabilei analizate.

Abordările de tip «bottom-up» sunt potrivite pentru situațiile în care cunoașterea este în mare măsură incompletă și pot exista evoluții imprevizibile ale variabilelor de interes, la momentul analizei. Astfel de abordări folosesc estimări calitative ale incertitudinilor. A face predicții și a controla procesele e un mod potrivit în gestionarea unui anumit tip de riscuri și oportunități, în timp ce abordările bazate pe capacitatea empirică de a face față situațiilor neprevizibile funcționează în cazul altora. În acest ultim caz, măsurile care au la bază principiul precauției pot fi mai potrivite, atunci când cunoașterea este în mare parte incompletă, dar impactul posibil și incertitudinile asociate sunt mari (Capela și colaboratorii 2014).

În procesul decizional, raportul cost/beneficii al aplicării măsurilor adaptive, evaluat în ciclul ilustrat în figura 34, este un criteriu atât în

alegerea tipului de abordare al incertitudinilor cât și al tipurilor de politici, în general. În ce măsură o abordare sau alta poate fi ușor implementată sau cere schimbări importante în funcționarea sectorului/sistemului socio-economic analizat, necesitând cheltuieli greu de susținut, influențează deciziile politice în domeniul adaptării la schimbarea climei.

Pentru a fi eficient, procesul de adaptare trebuie să fie unul continuu: odată parcurse etapele ilustrate în figura 34, ele se reiau, îmbogățite cu experiența din ciclul precedent. Evaluarea cantitativă a rezultatelor măsurilor de adaptare permite, împreună cu evaluarea condițiilor climatice și socio-economice actualizate, o mai bună convergență a procesului de adaptare astfel încât raportul cost / beneficii să tindă spre unul optim și dezvoltarea socio-economică să devină durabilă.

6.2. Adaptarea climatică în Europa

Informații detaliate privind adaptarea la schimbarea climatică în Europa, la nivel național și regional, sunt prezentate pe platforma Climate-ADAPT (climate-adapt.eea.europa.eu/) dezvoltată de Agenția Europeană de Mediu. Raportul Agenției Europene de Mediu privind adaptarea în Europa (2013) identifică o corelație între stadiul atins de procesul de planificare al adaptării și dezvoltarea la care a ajuns interfața dintre sfera științei și cea a politicii. De exemplu, în Finlanda, țara care a elaborat primul plan național de adaptare din Uniunea Europeană, întregul proces a pornind de la activitățile de cercetare care au fost însă foarte rapid adoptate și transformate în politici de dezvoltare de administrație și decidenții politici (Capela și colaboratorii 2014).

Capela și colaboratorii (2014) remarcă faptul că majoritatea statelor din Uniunea Europeană folosește, pe plan național, proiecții ale schimbării climei luând în considerare scenarii diferite de emisii ale gazelor cu efect de seră, mai multe modele climatice globale și o diversitate de proceduri de proiecții la scară locală ale acestora (atât dinamice, folosind modele climatice regionale, cât și statistice). Folosirea proiecțiilor climatice pentru

procesul de adaptare a fost favorizat de existența proiectelor europene PRUDENCE (2001-2004), ENSEMBLES (2006-2009) și, mai recent EURO-CORDEX. Pe de altă parte, există, la nivel european, o problemă legată de evaluarea impactului și vulnerabilității la variabilitatea și schimbarea climei, astfel încât procesul de adaptare, care necesită cuplarea acestei evaluări cu cea din proiecțiile climatice are de suferit.

În procesul de adaptare, schimbările în factorii neclimatici - sociali, economici și de mediu – devin la fel de importante, pe termen lung, ca și proiecțiile climatice viitoare. Unele schimbări de acest fel pot fi deja considerate a fi certe, cum e cazul creșterii segmentului de populație cu vârste înaintate, în toată Europa, în timp ce altele sunt mult mai greu de estimat (de exemplu, schimbările tehnologice în folosirea energiilor regenerabile, încheierea unor înțelegeri eficiente, la nivel global, privind emisiile de gaze cu efect de seră. Scenarii pentru evoluțiile viitoare ale unor astfel de factori neclimatici, deși foarte necesare, sunt încă puține, la nivel european. Doar Finlanda, Olanda și Marea Britanie au elaborat scenarii cantitative pentru evoluțiile viitoare ale factorilor neclimatici, importanți pentru planificarea adaptării (Capela și colaboratorii 2014).

În cazul României, în privința elementelor necesare planificării adaptării, situația, în prezent, este cea a majorității statelor europene. Există disponibile, la nivel național, proiecții climatice bazate atât pe generația de modele climatice globale CMIP 3 și scenariile SRES asociate, cât și pe generațiile mai recente de modele climatice globale CMIP 5 și CMIP 6, cu scenariile de tip RCP și SSP (§ 3.3). În schimb, nu există încă scenarii cantitative de evoluție a factorilor neclimatici, pe termen mediu și lung care să fie, mai departe, cuplate cu scenariile climatice pentru evaluarea impactului și vulnerabilității. Un prim pas important în această direcție este proiectul «Operaționalizarea strategiei naționale privind schimbările climatice și dezvoltarea componentei climatice a Programelor Operaționale 2014-2020 – OPERA-CLIMA». Acest proiect este derulat de Banca Mondială și Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și are o componentă de dezvoltare a capacității analitice și a bazei de cunoștințe

pentru construirea unei economii competitive, decuplată de carbon și adaptată la schimbarea climatică prin dezvoltarea unor modele microeconomice și macroeconomice de impact pentru politici climatice. Aceste modele vor funcționa pentru orizonturile de timp 2020, 2030 și 2050 (www.worldbank.org/ro/country/romania/brief/romania-climate-change-and-low-carbon-green-growth-program).

7. Concluzii

Semnalul global al schimbării climei se proiectează la scări regionale și locale foarte diferit. Ciclul hidrologic este modificat de schimbarea climei prin: creșterea intensității precipitațiilor, modificări ale incidenței secetei, reduceri ale grosimii și extinderii stratului de zăpadă, creșterea cantității vaporilor de apă în atmosferă, intensificarea evapotranspirației, modificări ale umezelii din sol și ale scurgerilor de suprafață, creșterea temperaturii apei râurilor/lacurilor, reducerea debitelor râurilor și a volumului de apă al lacurilor.

De asemenea, se anticipează că inundațiile și secetele vor putea fi mai frecvente și mai intense, pe măsură ce se schimbă tiparele spațiale și temporale ale precipitațiilor, iar cantitățile de precipitații se distribuie la coada extremă a distribuției (punctând perioadele de secetă).

În România, în condițiile scenariilor de schimbare climatică analizate, precipitațiile, vara, au o tendință progresivă de reducere, în toată țara, în funcție de scenariu și orizontul de timp analizat, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000. Iarna, există un semnal de creștere moderată a precipitațiilor în regiunile din vestul, nordul și centrul României, în timp ce în sud-estul țării fluctuațiile sunt mici, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000. Diferențele legate de scenariu sunt relativ mici în primele decenii ale secolului XXI. Diferențele mai mari în ceea ce privește schimbarea climatică sunt așteptate spre sfârșitul secolului XXI.

Iarna, se anticipează că va avea loc o scădere a grosimii stratului de zăpadă, o modificare a raportului dintre precipitațiile solide și lichide, și o creștere a debitelor râurilor. Reducerea stratului de zăpadă, primăvara, favorizează incendiile forestiere în vara ce urmează. În același timp, debitele minime de vară vor avea o tendință de reducere. În concluzie, pe măsură ce în bazinele hidrografice devin dominante precipitațiile lichide, se estimează că debitele de apă vor crește iarna și vor scădea în primăvară

și vară. Ciclul anual al debitelor râurilor se va modifica, cu impact asupra agriculturii și al generării de energie electrică prin hidrocentrale.

Schimbarea climatică reduce resursa de apă de pe teritoriul României, mai ales în regiuni din sud și sud-est. Bazinul Argeșului, cel ce alimentează cu apă capitala țării, va suporta tendințe accelerate de aridizare, în condițiile scenariului cel mai pesimist al schimbării climatice.

În acest context, producția de energie de la hidrocentrale se va reduce. Generarea de energie folosind combustibilii fosili și centralele nucleare va fi redusă datorită temperaturilor crescute ale apei ce nu mai poate asigura eficient răcirea din procesul tehnologic. Hidrocentralele reprezintă o sursă de energie regenerabilă competitivă și o componentă cheie a mixului energetic din România. Ele oferă capacități de stocare și servicii de stabilizare a sistemului energetic, care sunt esențiale pentru asigurarea unei securități energetice a țării. Importanța unei tehnologii de generare de energie pentru sistemul global depinde în principal de capacitatea sa de a stabili fluctuațiile între cerere și ofertă. Hidrocentralele contribuie deja la echilibrarea acestor diferențe - o funcție care va fi și mai valoroasă în viitor, când alte energii regenerabile vor fi utilizate într-o mai mare măsură. Problema apare când, datorită schimbării climatice, debitele râurilor se reduc.

Studii de regionalizare a semnalului global pentru teritoriul României se află în desfășurare; este însă necesară o extindere și o aprofundare a lor, astfel încât să furnizeze un cadru teoretic coerent privitor la schimbările climatice cu impact direct asupra dezvoltării regionale durabile în România.

Glosar de termeni

Adaptabilitate (flexibilitate, reziliență) (Resilience): Capacitatea sistemelor sociale, economice și de mediu, de a face față unor evenimente, tendințe sau perturbări periculoase, răspunzând sau reorganizându-se în moduri care mențin funcția, identitatea și structura lor esențială, păstrându-și în același timp și capacitatea de adaptare, de a învăța și de a se transforma.

Adaptare (adaptation): Procesul de ajustare la clima actuală sau prognozată și la efectele ei. În sistemele umane, adaptarea urmărește să modereze sau să evite efectul nociv, sau să exploateze oportunitățile. În unele sisteme naturale, intervenția umană poate facilita adaptarea la clima așteptată și la efectele ei.

Aerosoli (aerosols): Particule solide sau lichide aflate în suspensie în atmosferă, cu dimensiuni tipice cuprinse între 0,01 μm și 10 μm , și al căror timp de viață în atmosferă este de cel puțin câteva ore. Aerosolii pot fi de origine naturală sau rezultați în urma activității umane (de origine antropică). Aerosolii pot influența clima fie în mod direct, prin absorbția și împrăștierea radiației, fie indirect, acționând ca nuclee de condensare sau modificând proprietățile optice și durata de viață a norilor.

Albedo (albedo): Cantitatea de radiație solară reflectată de o suprafață sau de un obiect, exprimată de obicei în procente. Suprafețele acoperite cu zăpadă au un albedo ridicat (reflectă o mare parte din radiația solară primită); albedoul solului variază de la scăzut la ridicat, în funcție de tipul solului și de tipul de acoperire (nisip, iarbă, asfalt etc.) iar suprafețele acoperite cu vegetație și oceanele au un albedo scăzut. Albedoul planetar al Pământului variază în funcție de nebulozitate, gradul de acoperire cu zăpadă sau gheață, suprafața acoperită cu vegetație și schimbări în acoperirea solului.

Ansamblu (de model) (ensemble): Grup de simulări numerice paralele folosite în proiecțiile climatice. Variația rezultatelor între membrii ansamblului permite estimarea incertitudinii. Ansamblurile ce utilizează același model dar cu condiții inițiale diferite caracterizează numai incertitudinea asociată cu variabilitatea internă a sistemului climatic, în timp ce ansamblurile multi-model, incluzând simulări realizate cu modele diferite, conțin și efectele diferențelor dintre modele. Ansamblurile cu parametrii perturbați, în care parametrii modelelor sunt variați într-o manieră sistematică, își propun să producă o estimare mai obiectivă a incertitudinii asociate cu modelarea (climatică) decât este posibil cu ansamblurile multi- model tradiționale.

Atmosferă (atmosphere): Învelișul gazos al Pământului.

Atmosfera uscată este alcătuită aproape exclusiv din azot (78,1 %) și oxigen (20,9%), alături de alte gaze în proporție mult mai mică (sub 1%), precum argon (0,93%), heliu, gaze active din punct de vedere radiativ precum dioxidul de carbon (0,035%) și ozon. În plus, atmosfera conține și vapori de apă, a căror cantitate și distribuție spațială este variabilă, dar în general vaporii de apă reprezintă 1% din volumul atmosferei. Pe lângă componentele gazoase, în atmosferă sunt prezente și componente lichide (picături de apă, aerosoli) și componente solide (particule de gheață, aerosoli).

Biosferă (biosphere): Componentă a geosistemului ce cuprinde toate ecosistemele și organismele vii din atmosferă, de pe uscat (biosfera terestră) și din oceane (biosfera marină), inclusiv materia organică moartă derivată din acestea.

Circulație termosalină (thermohaline circulation - THC): Circulație oceanică de scară mare, determinată de gradientii de densitate cauzati de diferențele în temperatură și salinitate. În Atlanticul de Nord, circulația termosalină constă în curgerea către nord a apei calde la suprafață și

curgerea către sud a apei reci, în adâncime, rezultând un transport net de căldură către pol.

Climă (climate): Clima reprezintă media caracteristicilor de vreme sau, definită într-un mod mai riguros, reprezintă descrierea statistică în termeni de valori medii și variabilitate a mărimilor fizice relevante legate de vreme pe o perioadă ce poate varia de la luni la mii sau milioane de ani. Perioada clasică de mediere a acestor variabile este de 30 ani, conform definiției Organizației Mondiale a Meteorologiei. Mărimile fizice relevante se referă cel mai adesea la variabile de suprafață precum temperatură, precipitații și vânt. Într-un sens mai larg, clima reprezintă starea fizică medie a sistemului climatic.

Criosferă (cryosphere): Componentă a sistemului climatic alcătuită din apă în stare solidă (zăpadă, gheață), care se află pe sau sub suprafața Pământului și oceanelor, inclusiv cea din solul permanent înghețat (permafrost).

Deforestare (deforestation): Proces natural sau antropic ce transformă zonele acoperite de păduri în zone cu alt tip de acoperire a suprafeței.

Deșertificare (desertification): Degradarea terenului din zonele cu climat arid, semi-arid și uscat ca rezultat al unor factori diverși, incluzând variații climatice și activități umane. În cadrul Convenției Națiunilor Unite pentru Combaterea Deșertificării, degradarea terenului se definește ca pierderea sau reducerea, în zonele cu climat arid, semi-arid și uscat, a productivității biologice sau economice și a complexității recoltelor irigate sau neirigate, a pășunilor și zonelor împădurite, ca rezultat al exploatării terenului sau ca urmare a unui proces sau combinații de procese incluzând cele generate de activități umane, precum: eroziunea solului cauzată de vânt sau/și apă; (ii) deteriorarea proprietăților fizice, chimice și biologice sau economice ale solului și (iii) pierderea pe termen lung a vegetației.

Dezvoltare durabilă (sustainable development): Dezvoltare ce răspunde necesităților prezente, fără a compromite capacitatea și oportunitățile generațiilor viitoare de a răspunde propriilor necesități.

Ecosistem (ecosystem): Sistemul interactiv format din toate organismele vii și mediul lor abiotic (fizic și chimic) dintr-o anumită zonă. Ecosistemele acoperă o întreagă ierarhie de scări spațiale, de la scara globală la biomuri continentale sau sisteme de scară mai mică, bine definite în spațiu, precum un mic iaz.

El Niño-Oscilația Sudică (ENSO – El Niño Southern Oscillation): Manifestare a cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific. Termenul El Niño a fost utilizat inițial pentru a descrie un curent oceanic cald ce apare periodic de-a lungul coastelor statelor Ecuador și Peru, cu impact negativ asupra activității de pescuit locale. De atunci a fost folosit pentru a desemna încălzirea întregului bazin al Oceanului Pacific în zona tropicală. Acest eveniment oceanic este asociat cu o fluctuație la scară globală a presiunii la suprafață în zona tropicală și subtropicală denumită Oscilația Sudică. Acest fenomen de cuplaj atmosferă-ocean, cu scări de timp de la 2 la 7 ani, este cunoscut sub numele de El Niño – Oscilația Sudică. Este adesea măsurat prin diferența între anomaliile presiunii la suprafață în insulele Darwin și Tahiti și temperatura apei mării în regiunile centrală și estică ale Oceanului Pacific. În timpul unui eveniment ENSO, alizeul scade ca intensitate, ducând la alterarea curenților oceanici astfel încât temperatura apei mării crește, ceea ce amplifică scăderea în intensitate a alizeului. Acest fenomen are un impact important asupra caracteristicilor vântului, temperaturii apei mării și precipitațiilor din zona tropicală a Pacificului și are efecte climatice în întreaga regiune a Pacificului precum și în alte părți ale lumii. Faza rece a ENSO se numește La Niña.

Evaporație (evaporation): Procesul de tranziție de la starea lichidă la starea gazoasă (evaporare).

Evapotranspirație (evapotranspiration): Procesul combinat de evaporare al apei de la suprafața Pământului și de transpirație al vegetației.

Expunere (exposure): Prezența oamenilor, a mijloacelor de trai, a speciilor sau a ecosistemelor, a funcțiilor mediului, serviciilor și a resurselor, a infrastructurii sau a activelor economice, sociale, culturale în locuri și situații care ar putea fi afectate în mod negativ de evenimente/fenomene fizice.

Feedback climatic (climate feedback): Un mecanism de interacțiune între procesele din sistemul climatic se numește feedback climatic dacă rezultatul unui proces inițial generează modificări într-un al doilea proces, modificări ce apoi influențează primul proces. Un feedback pozitiv intensifică procesul inițial, iar un feedback negativ îl reduce.

Fenomene (meteorologice, climatice) extreme (extreme events): Apariția unei valori a unei variabile climatice sau de vreme peste/sub o valoare limită ce se situează către capătul superior/inferior al intervalului de valori observate pentru acea variabilă.

Forțaj climatic (climate forcing): Factor, proces ce poate modula sistemul climatic. Exemple de astfel de procese sunt variația cantității de radiație solară datorită variației în orbita Pământului, modificări în reflectivitatea (albedoul) continentelor și oceanelor, modificări în concentrația gazelor cu efect de seră.

Forțaj radiativ (radiative forcing): Schimbarea în radiația netă (radiația primită de la Soare minus radiația emisă de Pământ, exprimată în W/m^2) la nivelul tropopauzei datorită modificării unui factor climatic extern ca spre exemplu modificări în concentrația gazelor cu efect de seră sau a cantității de radiație solară. În raportul special al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC, 2012), forțajul radiativ se definește în raport cu anul 1750 (condiții preindustriale) și se referă la valori medii globale și anuale. Forțajul radiativ este diferit de

forțajul radiativ al norilor (cloud radiative forcing) ce desemnează, cu o terminologie similară, o mărime total diferită, legată de impactul norilor asupra radiației emise de Pământ și măsurată la limita superioară a atmosferei.

Gaze cu efect de seră (greenhouse gases): Constituenți atmosferici, atât naturali cât și rezultați din activitatea umană, care absorb și emit radiație cu lungimi de undă specifice conținute în spectrul radiației termice infraroșii emisă de suprafața Pământului, de atmosferă și de nori. Această proprietate produce efectul de seră. Vaporii de apă (H_2O), dioxidul de carbon (CO_2), protoxidul de azot (N_2O), metanul (CH_4) și ozonul (O_3) sunt principalele gaze cu efect de seră din atmosferă. În plus, în atmosferă mai sunt prezente și o serie de gaze cu efect de seră produse exclusiv ca urmare a activităților umane, precum compușii halogenați (hidrofluorcarburile, perfluorcarburile, hexafluorura de sulf), substanțe conținând clor și brom.

Hazard (hazard): Potențialul producerii unui fenomen, tendință, sau impact fizic, fie ele produse în mod natural sau provocate de oameni, care pot genera pierderi de vieți omenești sau efecte negative asupra sănătății, prejudicii, daune și pierderi de bunuri, efecte negative asupra mijloacelor de trai, infrastructurii, furnizării de servicii, asupra ecosistemelor și resurselor naturale. În contextul schimbărilor climatice, termenul «hazard» se referă la fenomene sau tendințe legate de climă sau impactul lor fizic.

Hidrosferă (hydrosphere): Învelișul de apă al globului terestru, alcătuit din oceane, mări, lacuri, ghețari, ape curgătoare, ape subterane, zăpezi și ghețuri.

Impact (impacts): Efectele asupra sistemelor naturale și antropice. Aici, termenul «impact» este utilizat, în primul rând, pentru a face referire la efectele fenomenelor meteorologice extreme și schimbărilor climatice

asupra sistemelor naturale și antropice. Termenul «impact» se referă în general la efectele asupra vieții, mijloacelor de trai, sănătății, ecosistemelor, economiei, societății, culturii, serviciilor și infrastructurii datorită interacțiunii schimbărilor climatice sau a fenomenelor climatice periculoase care apar într-o anumită perioadă de timp și vulnerabilitatea unei societăți expuse sau a unui sistem expus. Impactul se referă, de asemenea, la consecințe și rezultate. Impactul schimbărilor climatice asupra sistemelor de geofizică, inclusiv inundații, secetă, și creșterea nivelului mării, sunt un subset de impacturi numite impacturi fizice.

Încălzire globală (global warming): Creșterea graduală a temperaturii medii a atmosferei Pământului atribuită în general efectului de seră cauzat de creșterea nivelelor de dioxid de carbon, clorofluorocarburi (CFC) și alți poluanți din atmosferă.

Incertitudine (uncertainty): Expresie a gradului de necunoaștere a unei valori sau a unei relații. Incertitudinea poate rezulta din lipsa informațiilor sau din lipsa de acord privind ceea ce este cunoscut sau posibil a fi cunoscut. În contextul schimbărilor climatice, incertitudinea poate proveni din multe surse, precum erori cuantificabile ale datelor, concepte sau terminologii definite ambiguu sau proiecții imprecise ale comportamentului uman. Incertitudinea poate fi reprezentată prin mărimi cantitative, ca spre exemplu printr-un interval de valori obținut din modele diferite, sau prin mărimi / exprimări calitative, precum concluziile unui grup de experți.

Insulă de căldură urbană (urban heat island – UHI):

Încălzirea relativă a zonei urbane în comparație cu zonele rurale înconjurătoare, asociată cu schimbări în scurgerea apei la suprafață, efectul de retenție de căldură, schimbări în capacitatea suprafeței de reflexie a radiației solare (albedoul), poluare, efecte asupra concentrației de aerosoli etc.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – Comisia Interguvernamentală pentru Schimbări Climatice:

Organism științific însărcinat cu evaluarea riscurilor asupra încălzirii globale datorită efectelor activității umane. Grupul a fost constituit în 1988 de către Organizația Meteorologică Mondială și de Programul Națiunilor Unite pentru mediul înconjurător. IPCC nu face cercetări proprii și nu monitorizează clima sau fenomenele care o influențează. Rolul organizației este publicarea unor rapoarte cu privire la implementarea Convenției Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), un tratat internațional care recunoaște posibilitățile modificărilor climatice dăunătoare.

Litosferă (lithosphere): Îvelișul exterior solid al Pământului.

Matrice de risc (risk matrix): metodă de analiză în evaluarea și gestionarea riscurilor, folosită pentru definirea nivelelor de risc ca produs între categorii de probabilitate de apariție a hazardului și categorii de severitate a impactului.

Model climatic (climate model): O reprezentare numerică a sistemului climatic ce se bazează pe proprietăți fizice, chimice și biologice ale componentelor sale, pe interacțiunile dintre acestea și pe procesele de feedback corespunzătoare și care ia în considerare toate sau o parte din proprietățile cunoscute ale acestuia. Sistemul climatic poate fi reprezentat prin modele cu grad diferit de complexitate, astfel că pentru oricare din componentele sale sau pentru o combinație a acestora, pot fi identificate un întreg spectru sau ierarhii de modele, ce diferă prin aspecte precum numărul dimensiunilor spațiale, măsura în care procesele fizice, chimice sau biologice sunt reprezentate explicit sau gradul de utilizare a parametrizărilor empirice. Modelele globale cuplate atmosferă-ocean (Coupled Atmosphere-Ocean Global Climate Models –AOGCM), denumite și modele de circulație generală atmosferă-ocean, permit reprezentarea aproape cea mai cuprinzătoare a sistemului climatic disponibilă în prezent.

Se observă în același timp o evoluție către modele mai complexe, cu module interactive de chimie și biologie. Modelele climatice sunt aplicate ca instrument de cercetare în studiul și simularea climatului, precum și pentru scopuri operaționale, inclusiv pentru predicțiile climatice lunare, sezoniere și interanuale.

Oscilația Nord-Atlantică (North Atlantic Oscillation – NAO): Un mod de variabilitate climatică, dominant în sezonul de iarnă în regiunea Nord-Atlantică, ce constă în variații opuse ale presiunii aerului la nivelul mării în zona Islandei și în apropierea Insulelor Azore.

Permafrost (permafrost): Stratul de la suprafața terestră, incluzând solul, rocile și materialele organice cuprinse în acestea, în care temperatura este de cel mult 0°C pentru cel puțin doi ani consecutivi.

Proiecție climatică (climate projection): O proiecție a răspunsului sistemului climatic la emisiile sau concentrațiile gazelor cu efect de seră și aerosolilor descrise de scenariile de emisie sau de forțaj radiativ, adeseori bazate pe simulări numerice realizate cu modele climatice. Proiecțiile climatice depind de un scenariu de emisii/concentrații/forțaj radiativ, care este bazat pe ipoteze privind, spre exemplu, dezvoltarea socio-economică și tehnologică viitoare, și care se pot sau nu realiza. Ca urmare, proiecțiile climatice sunt asociate cu un grad substanțial de incertitudine.

Radiație solară (solar radiation): radiația electromagnetică emisă de Soare având lungimi de undă din întregul spectru al undelor electromagnetice. Trecând prin atmosfera Pământului, o parte a radiației solare este absorbită, încălzind aerul, o altă parte este împrăștiată de moleculele prezente în atmosferă (constituind radiația solară difuză), dar cea mai mare parte ajunge pe suprafața Pământului (constituind radiația solară directă).

Radiație termică (thermal radiation): radiația electromagnetică emisă de toate corpurile cu temperaturi mai mari de zero absolut. Radiația termică

emisă de Pământ, alături de radiația solară absorbită, sunt doi din cei mai importanți factori ce determină temperatura și clima Pământului.

Risc (risk): Potențialul consecințelor în care ceva valoros este pus în pericol, iar urmările sunt incerte, recunoscându-se diversitatea factorilor ce pot provoca respectivele consecințe. Riscul este adesea definit ca probabilitatea de apariție a evenimentelor sau tendințelor periculoase, multiplicată cu impactul acestora în cazul în care survin. Riscul rezultă din interacțiunea vulnerabilității, expunerii și hazardului. Aici, termenul risc se referă în primul rând la riscul de impact al schimbărilor climatice.

Scenariu climatic (climate scenario): O reprezentare plauzibilă și adeseori simplificată a climatului viitor, bazată pe un set de relații climatice consistente, care a fost construită cu scopul explicit de a investiga potențialele consecințe ale schimbărilor climatice induse de activitatea umană și adesea servind ca date de intrare pentru modelele de impact. Proiecțiile climatice pot fi folosite ca material de bază pentru construirea scenariilor climatice, dar scenariile climatice de obicei necesită informații adiționale precum informații despre climatul curent observat.

Scenariu de emisii (emissions scenario): O reprezentare plauzibilă a evoluției viitoare a emisiilor de gaze care sunt potențial active radiativ (spre exemplu gaze cu efect de seră, aerosoli), bazat pe un set de ipoteze coerente și consistente privind factorii determinanți (schimbări tehnologice, evoluția demografică și dezvoltarea socio- economică) și principalele interacțiuni dintre acestea. Scenariile de concentrații, derivate din scenariile de emisie, sunt folosite ca date de intrare în modelele climatice utilizate pentru calculul proiecțiilor climatice.

Schimbare climatică (climate change): Schimbările climatice se referă la modificările climei care pot fi identificate (de exemplu, prin utilizarea datelor statistice) prin schimbarea valorii medii și/sau variabilitatea proprietăților ei și care persistă pentru o perioadă îndelungată, de obicei,

zeci de ani sau mai mult. Schimbările climatice pot fi puse pe seama proceselor naturale interne sau a factorilor externi, cum ar fi modulații ale ciclurilor solare, erupții vulcanice și modificări antropogene persistente în compoziția atmosferei sau în utilizarea terenurilor. În Convenția-Cadru privind Schimbările Climatice (UNFCCC), la articolul 1, schimbările climatice sunt definite ca «schimbări de climat care sunt atribuite direct sau indirect unei activități omenești ce alterează compoziția atmosferei la nivel global și care se adaugă variabilității naturale a climatului observat în cursul unor perioade comparabile». UNFCCC face, așadar, o distincție între schimbările climatice imputabile activităților umane în modificarea compoziției atmosferice și variabilitatea climatică atribuită cauzelor naturale.

Sistem climatic (climate system): Un sistem complex alcătuit din cinci componente majore – atmosfera, oceanele, criosfera, suprafața de uscat și biosfera – și interacțiunile dintre ele. Sistemul climatic evoluează în timp sub influența dinamicii sale interne și datorită forțajelor externe precum erupțiile vulcanice, variațiile cantității de radiație solară și datorită forțajelor de origine antropică, precum modificări în compoziția atmosferei și schimbări în folosirea terenurilor.

Temperatura apei la suprafața mării (SST – *Sea Surface Temperature*): Temperatura medie a apei mării în primii câțiva metri de la suprafață, măsurată de nave și balize. Sunt folosite de asemenea măsurătorile satelitare ale temperaturii suprafeței mării, fie în stratul situat imediat sub suprafață, cu o grosime de fracțiune de milimetru, cum sunt măsurătorile în domeniul spectral infraroșu sau în primii centimetri de la suprafață, în cazul măsurătorilor realizate în domeniul microundelor, dar acestea trebuie ajustate pentru a fi compatibile cu măsurătorile clasice.

Tendință (trend): Evoluția pe termen lung a unei serii de date către valori în general mai mari (tendință de creștere) sau mai mici (tendință de

scădere) decât cele precedente. Estimarea tendinței se face prin tehnici statistice, precum testul Mann-Kendall (§ 3.2.1).

Transformare (transformation): O schimbare în atributele fundamentale ale sistemelor naturale și umane. În acest document, transformarea poate reflecta consolidarea, alterarea sau alinierea paradigmelor, scopurilor sau valorilor pentru promovarea adaptării pentru dezvoltare durabilă, inclusiv reducerea sărăciei.

Troposferă: stratul atmosferic ce se întinde de la suprafața terestră până la o înălțime de aproximativ 10km în zonele situate la latitudini medii sau până la 16km, în medie, în zona tropicelor, și unde se manifestă fenomenele de vreme.

Utilizarea terenurilor și schimbări ale acesteia (land use and land use change): Utilizarea terenurilor (*land use*) se referă la ansamblul aranjamentelor, activităților și acțiunilor referitoare la un anumit tip de acoperire a terenului. Termenul de utilizare a terenurilor este de asemenea folosit pentru desemnarea scopurilor sociale și economice care stau la baza gestionării terenului (spre exemplu pășunat, producția de cherestea). Schimbarea în utilizarea terenurilor (*land use change*) se referă la modificări în folosirea sau gestionarea terenului de către oameni, ce pot duce la modificări în tipul de acoperire a terenurilor (*land cover*). Tipul de acoperire a terenurilor și schimbările în utilizarea terenurilor pot avea un impact semnificativ asupra albedoului suprafeței, evapotranspirației, emisia și absorbția gazelor cu efect de seră sau asupra altor proprietăți ale sistemului climatic și astfel pot influența forțajul radiativ și/sau duce la alte tipuri de impact asupra climatului, la scară locală sau globală.

Val de căldură (heat wave): O perioadă cu vreme anormal de caldă. Definiția exactă în termeni de durată și valori limită pentru temperatură variază de la o țară la alta, în funcție de condițiile climatice normale reprezentative pentru acea zonă. În România, valul de căldură este definit

ca o perioadă de minim două zile consecutive cu temperaturi maxime cel puțin egale cu 37°C.

Variabilitate climatică (climate variability): Variația stării medii sau a altor mărimi statistice (ca spre exemplu deviația standard, valori extreme etc.) a climei la toate scările temporale și spațiale mai mari decât cea a evenimentelor individuale de vreme. Variabilitatea poate fi determinată de procese interne ale sistemului climatic (variabilitate internă) sau de variații naturale sau de origine antropică a forțajelor externe (variabilitate externă).

Vreme (weather): starea atmosferei la un moment de timp dat și într-un anumit loc.

Vulnerabilitate (vulnerability): Înclinația sau predispoziția de a fi afectat în mod negativ. Vulnerabilitatea cuprinde o varietate de concepte și elemente, inclusiv sensibilitatea sau susceptibilitatea de a face rău (a dăuna) și lipsa de capacitate de a face față și de a se adapta.

Zgomot / raport semnal-zgomot (noise / noise-signal ratio): Într-o serie de date climatice, semnalul reprezintă comportamentul așteptat sau explicabil printr-un proces sau mecanism fizic, în timp ce variația aleatoare a datelor reprezintă zgomotul. Un exemplu de semnal climatic este nivelul izotopilor de oxigen prezenți în calotele glaciare, indicând variația temperaturii aerului (nivel mai scăzut al izotopului ^{18}O în perioadele reci).

Referințe bibliografice

- Alley WM (1984) The Palmer Drought Severity Index: limitations and applications. *J Clim Appl Meteorol* 23:1100-1109.
- Antonescu B, Bell A (2014) Tornadoes in Romania. *Mon Wea Rev.* doi: 10.1175/MWR-D-14-00181.1.
- APCC (2014) Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Viena. 1096 p.
- Arnbjerg-Nielsen K (2012) Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design, *Urban Water Journal*, 9 (2), pp 57-65, doi: 10.1080/1573062X.2011.630091
- Arnell NW, Livermore MJL, Kovats S, Levy PE et al. (2004) Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environ Chang* 14: 3–20. doi:10.1016/j.gloenvcha.2003.10.004
- Bălțeanu D, Chendeș V, Sima M, Enciu P (2010) A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. *Geomorphology* 124(3-4):102-112. doi: 10.1016/j.geomorph.2010.03.005
- Barbu I, Popa I (2011) Monitorizarea riscului de apariție a secetei în pădurile din România. *Bucovina Forestieră* IX (1-2): 37-51.
- Barredo J (2009) Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp 97-104.
- Birsan MV, Zaharia L, Chendes V, Branescu E (2012) Recent trends in streamflow in Romania (1976–2005). *Rom Rep Phys* 64(1): 275-280.
- Birsan MV, Marin L, Dumitrescu A (2013) Seasonal changes in wind speed in Romania. *Rom Rep Phys* 65(4): 1479-1484.
- Birsan MV, Dumitrescu A (2014a) Snow variability in Romania in connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 34: 134-144. doi: 10.1002/joc.3671.
- Birsan MV, Dumitrescu A (2014b) ROCADA: Romanian daily gridded climatic dataset (1961-2013) V1.0. *Administratia Nationala de Meteorologie, Bucuresti, Romania*, doi: 10.1594/PANGAEA.833627
- Birsan MV, Zaharia L, Chendes V, Branescu E (2014a) Seasonal trends in Romanian streamflow. *Hydrol Process* 28(15): 4496-4505. doi: 10.1002/hyp.9961
- Birsan MV, Dumitrescu A, Micu DM, Cheval S (2014b) Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. *Nat Hazards* 74(3): 1899-1910. doi: 10.1007/s11069-014-1290-5
- Bjerknes J (1964) Atlantic air-sea interaction. *Advances in Geophysics*. Academic Press, 1-82.

- Bjerknes J (1969) Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon Wea Rev* 97: 163-172.
- Black EM et al. (2004) Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* 59: 217-223.
- Bojariu R (1997) Climate variability modes due to ocean-atmosphere interaction in the central Atlantic. *Tellus* 49A: 362-370.
- Bojariu R, Paliu D (2001) North Atlantic Oscillation projection on Romanian climate fluctuations in the cold season. In M. Brunet and D. Lopez (Eds) *Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, pp 345-356.
- Bojariu R, Reverdin G (2002) Large-scale variability modes of freshwater flux and precipitation over the Atlantic. *Clim Dynam* 18(5): 369-381. doi: 10.1007/s003820100182
- Bojariu R, Gimeno L (2003a) Predictability and numerical modelling of the North Atlantic Oscillation. *Earth-Sci Rev* 63(1-2): 145-168. doi:10.1016/S0012-8252(03)00036-9
- Bojariu R, Gimeno L (2003b) The role of snow cover fluctuations in multiannual NAO persistence. *Geophys Res Lett* 30(4): 1156. doi: 10.1029/2002GL015651
- Bojariu R, Giorgi F (2005) North Atlantic Oscillation signal in a regional climate simulation for the European region. *Tellus A* 57(4): 641-653. doi: 10.1111/j.1600-0870.2005.00122.x
- Bojariu R, Dinu M (2007) Snow variability and change in Romania, in: Strasser U, Vogel M (eds) *Proceedings of the Alpine Snow Workshop, Munich, 5-6.10.2006*. Berchtesgaden National Park Report. 52: 64-68.
- Bojariu R (2009) Schimbarea climatică din România în secolele XX și XXI – observații și proiecții, în manuscris.
- Bojariu R, Bîrsan MV, Cică R, Velea L, Burcea S, Dumitrescu A, Dascălu SI, Gothard M, Dobrinescu A, Cărbunaru F, Marin L, 2015: Schimbarea climatică – de la bazele fizice la riscuri și adaptare (in Romanian with abstract in English), Editor Printech, București, 200 p, ISBN: 978606-23-0363-1, DOI: 10.13140/RG.2.1.1341.0729
- Buscail C, Upegui E, Viel J-F (2012) Mapping heatwave health risk at the community level for public health action. *International Journal of Health Geographics*, 11 (38): 1-9, www.ij-healthgeographics.com/content/11/1/38
- Busuioc A, von Storch H (1996) Changes in the winter pre- cipitation in Romania and its relation to the large-scale circulation. *Tellus* 48A:538–552
- Busuioc A, von Storch H, Schnur R (1999) Verification of GCM generated regional seasonal precipitation for cur- rent climate and of statistical downscaling estimates under changing climate conditions. *J Clim* 12:258–272
- Busuioc A, Giorgi F, Bi X, Ionita M (2006) Comparison of regional climate model and statistical downscaling simu- lations of different winter precipitation change scenarios over Romania. *Theor Appl Climatol* 86:101–124

- Busuioc A, Caian M, Cheval S, Bojariu R, Boroneant C, Baci M, Dumitrescu A (2010) Variabilitatea și schimbarea climei în România, Editura Pro Universitaria, București, 228 p.
- Busuioc A, Dobrinescu A, Birsan MV, Dumitrescu A, Orzan A (2014) Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms. *Int J Climatol*. doi: 10.1002/joc.4054
- Byun H-R, Wilhite DA (1999) Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate*, 12: 2747-2757.
- Capela Lourenço T, Rovisco A, Groot A, Nilsson C, Füssel H-M, Van Bree L, Street RB (Eds.) (2014) *Adapting to an Uncertain Climate. Lessons From Practice*, Springer, 182 pp. ISBN 978-3-319-04876-5
- Carter TR et al. (2007) New assessment methods and the characterisation of future conditions. In *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* eds M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, & C.E. Hanson. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 133-171.
- Cayan DR (1992) Latent and sensible heat flux anomalies over the northern oceans: the connection to monthly atmospheric circulation. *J Climate* 5: 354-369.
- Cazacioc L, Cazacioc A (2005) Impact of the macro-scale atmospheric circulation on snow cover duration in Romania. *Croatian Meteorological Journal* 40: 495-498.
- Changnon SA (1999) Data and approaches for determining hail risk in the contiguous United States. *J Appl Meteorol* 38: 1730-1739.
- Cheval S, Busuioc A, Dumitrescu A, Birsan MV (2014) Spatiotemporal variability of meteorological drought in Romania using the standardized precipitation index (SPI). *Clim Res* 60: 235-248. DOI: 10.3354/cr01245
- Cheval S, Birsan MV, Dumitrescu A (2014) Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961–2010. *Global Planet Change* 118: 85-96. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.04.005
- Church JA, White NJ (2006) A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophys Res Lett* 33: L01602. doi: 10.1029/2005GL024826
- Cook ER, Meko DM, Stahle DW, Cleaveland MK (1999) Drought reconstructions for the continental United States. *Journal of Climate* 12(4): 1145-1162.
- Croitoru AE, Piticar A. 2012. Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *Int. J. Climatol*. DOI:10.1002/joc.3567
- Croitoru AE, Piticar A, Dragotă CS, Burada DC (2013) Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global Planet Change* 111:127-136. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.09.004
- Crowley TJ (2002) Cycles, Cycles Everywhere. *Science* 295: 1473-74.
- Dai A, Trenberth KE, Karl TR (1998) Global variations in droughts and wet spells: 1900-1995. *Geophysical Research Letters* 25(17): 3367-3370.

- Dai A, Trenberth KE, Qian T (2004) A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J Hydrometeorol* 5: 1117-1130.
- Déqué M, Servain J (1989) Teleconnections between tropical Atlantic sea surface temperatures and midlatitude 50 Kpa heights during 1964-1986. *J Climate* 2: 929-943.
- Diaz HF (1983) Some aspects of major dry and wet periods in the contiguous United States, 1895-1981. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 22:3-16.
- Dima M, Rimbu N, Stefan S, Dima M. 2001. Quasi-decadal variability in the Atlantic Basin involving tropics-midlatitudes and ocean-atmosphere interactions. *J Climate* 14: 823-832.
- Dima M, Lohmann G. 2007. A hemispheric mechanism for the Atlantic Multidecadal Oscillation. *J Climate* 20(11): 2706-2719.
- Dixon PG, Mote TL (2003) Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 42, pp 1273-1284.
- Donat MG (2010) European wind storms, related loss potentials and changes in multi-model climate simulations. PhD dissertation. Freien Universität Berlin.
- Dumitrescu A, Bojariu R, Birsan MV, Marin L, Manea A (2014) Recent climatic changes in Romania from observational data (1961-2013). *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-014-1290-0
- EC (European Commission), Environment, Water Scarcity & Droughts in the European Union (2011) <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/about.htm>
- EEA (European Environment Agency) (2012) Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, EEA report 12/2012, www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012
- EEA (European Environment Agency), 2013: *Adaptation in Europe Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*, report 3/2013, 132 pp. ISBN 978-92-9213-385-6 doi:10.2800/50924
- Eliasson I, Svensson MK (2003) Spatial air temperature variations and urban land use – a statistical approach. *Meteorological Applications* 10, 135-149
- ESPON (2013) *Territorial Dynamics in Europe. Natural Hazards and Climate Change in European Regions*.
- European Exchange Circle on Flood Mapping (EXCIMAP) (2007) *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. Brussels: European Exchange Circle on Flood Mapping
- ESPON, 2013 : Third ESPON Synthesis Report. Territories finding a New Momentum: Evidence for Policy Development, Growth and Investment. Pp 67, ISBN: 978-2-919777-79-2. [www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Publications/SynthesisReport/ThirdSeptember2014/ESPON SYNTHESIS REPORT 3.pdf](http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Publications/SynthesisReport/ThirdSeptember2014/ESPON_SYNTHESIS_REPORT_3.pdf)
- Eurostat (2008) Population projections 2008-2060: From 2015, deaths projected to outnumber births in the EU-27 — Almost three times as many people aged 80 or more

- in 2060 (STAT/08/119). Eurostat, Luxembourg.
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/08/119>.
- Farago T, Lang I, Csete L (Eds.) (2010) Climate Change and Hungary: Mitigating the hazard and preparing for the impacts (The VAHAVA Report). Budapest, 124 pp.
[urbanandhealth.orientgateproject.org/uploads/resources/VAHAVA_report_2010.p
df](http://urbanandhealth.orientgateproject.org/uploads/resources/VAHAVA_report_2010.pdf)
- Fischer EM, Schar C (2010) Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geosci*, 3 (6), pp 398-403. doi: 10.1038/ngeo866
- Foley JA, Levis S, Prentice IC, Pollard D, Thompson SL (1998) Coupling dynamic models of climate and vegetation. *Global Change Biology* 4, pp 561-580.
- Foukal P, North G, Wigley T (2004) A Stellar View on Solar Variations and Climate. *Science* 306: 68-69. doi: 10.1126/science.1101694
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Clim Res* 19: 193-212.
- Gaffin SR, Rosenzweig C, Xing X, Yetman G (2004) Downscaling and geo-spatial gridding of socio-economic projections from the IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES). *Global Environ. Change A*, 14, 105-123, doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.02.004.
- Gilbert RO (1987) Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Groenemeijer P, Kühne T (2014) A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *Mon Wea Rev* 142: 4775-4790. doi: 10.1175/MWR-D-14-00107.1
- Groves DG, Lempert RJ (2007) A new analytic method for finding policy-relevant scenarios. *Glob Environ Change*, 17, pp 17-85.
- Grübler, A, O'Neill, B, Riahi, K, Chirkov, V, Goujon, A, et al. (2007) Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES. *Technol Forecast Soc*, 74, pp 980-1029.
- Guidance document No.24 – River Basin Mangement in a changing climate, European Communities, 2009.
http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_risk.htm
- Guttman NB (1991) A sensitivity analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index. *Water Resources Bulletin* 27:797-807.
- Guttman NB, Wallis JR, Hosking JRM (1992) Spatial comparability of the Palmer drought severity index. *Water Resources Bulletin* 28(6): 1111-1119.
- GWP CEE, Interception report, part of WMO/GWP Integrated Drought Management Programme, 2012
- Hallegratte S et al. (2010) Flood Risks, Climate Change Impacts and Adaptation Benefits in Mumbai: An Initial Assessment of Socio-Economic Consequences of Present and Climate Change Induced Flood Risks and of Possible Adaptation Options, OECD Environment Working Papers, No. 27, OECD Publishing. doi:

10.1787/5km4hv6wb434-en

- Hamdi R, Van de Vyver H, De Troch R, Termonia P (2014) Assessment of three dynamical urban climate downscaling methods: Brussels's future urban heat island under an A1B emission scenario. *Int. J. Climatol.*, 34: 978–999. doi: 10.1002/joc.3734
- Haseemkundu A, Kuhnel I, Smith DF (2014) Climate Change and European Winter Storm Risk Modeling, Tokio Marine's Ninth Summit on Global Warming and Climate Change, At Westin Buckhead, Atlanta, Georgia, USA
- Helsel DR, Hirsch RM (2002) Statistical Methods in Water Resources. Techniques of Water Resources Investigations, Book 4, ch. A3. U.S. Geological Survey. 522 p.
- Houghton RW, Tourre YM (1992) Characteristic low frequency sea surface temperature fluctuation in the tropical Atlantic. *J Climate* 5: 7765-7771.
- Hu Q, Wilson GD (2000) Effects of temperature anomalies on the Palmer Drought Severity Index in the central United States. *Int J Climatol* 20: 1899-1911. doi: 10.1002/1097-0088(200012)20:15<1899::AID-JOC588>3.0.CO;2-M
- IASS (2013) *Global Soil Forum, Soil Sealing*, Potsdam. globalsoilweek.org/wp-content/uploads/2014/11/GSW_factsheet_Sealing_en.pdf
- ICPDR *Strategy on Adaptation to Climate Change* (2013) icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_climate-adaptation-strategy.pdf
- Ion-Bordei E, Bojariu R (2005) Evoluția climei în România și precipitațiile din primăvara și vara anului 2005. *Revista 22. ANUL XIV (813) (4 octombrie - 10 octombrie 2005)*.
- Ionita M, Rimbu N, Chelcea S, Patrut S (2013) Multidecadal variability of summer temperature over Romania and its relation with Atlantic Multidecadal Oscillation. *Theor Appl Climatol* 113:305–315. doi: 10.1007/s00704-012-0786-8
- Ionita M, Chelcea S, Rimbu N, Adler MJ (2014) Spatial and temporal variability of winter streamflow over Romania and its relationship to large-scale atmospheric circulation. *J Hydrol.* doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.024
- IPCC (2001) Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (Eds) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-80767-0. (pb: 0-521-01495-6)
- IPCC (2007) Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88009-1. (pb: 978-0-521-70596-7)
- IPCC (2013) *The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Stocker TF et al., editors. *Climate change 2013*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
- IPCC (2014) Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group*

- II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- Jacob D et al. (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, Volume 14, Issue 2, pp 563-578.
- Johnson et al. (2013) Method of modeling the socio-spatial dynamics of extreme urban heat events', US008566067B2
- Karl TR (1986) The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25:77-86.
- Karl TR, Knight RW, Easterling DR, Quayle RG (1996) Indices of Climate Change for the United States. *B Am Meteorol Soc* 77: 279-292.
- Karl TR, Nicholls N, Ghazi A (1999) CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change* 42: 3-7.
- Kendall MG (1938) A new measure of rank correlation. *Biometrika* 30: 81-93.
- Kendall MG (1975) Rank correlation methods, 4th ed. Charles Griffin, London.
- Kodera K (1994) Influence of volcanic eruptions on the troposphere through stratospheric dynamical processes in the Northern Hemisphere winter. *J Geophys Res* 99: 1273-1282.
- Kovats RS, Kristie LE (2006) Heatwaves and public health in Europe, *Eur J Public Health* 16(6): 592-599. doi:10.1093/eurpub/ckl049
- Kriegler E, O'Neill BC, Hallegatte S, Kram T, Lempert R, Moss RH, Wilbanks TJ (2010) Socio - economic Scenario Development for Climate Change Analysis. CIRED Working Paper DT/WP N° 2010, 23
- Kubal C, Haase D, Meyer V, Scheuer S (2009) Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9: 1881-1895. doi:10.5194/nhess-9-1881-2009
- Kundzewicz ZW, Mata LJ, Arnell N et al. (2007) Freshwater resources and their management. In Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Linden PJVD, Hanson CE (Eds) *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173–210.
- Kuttler W (2012) Climate Change on the Urban Scale – effects and Counter Measures in Central Europe, in Chhetri N (Ed) *Human and Social Dimensions of Climate Change*. doi: 10.5772/50867
- Lass W, Haas A, Hinkel J, Jaeger C (2011) Avoiding the Avoidable: Towards a European Heat Waves Risk Governance. *Int J Disaster Risk Sci* 2(1): 1-14. doi:10.1007/s13753-011-0001-z

- Lempert RJ, Groves DG et al. (2006) A general analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science*, 52(4): 541-528.
- Linz K, Stula S (2010) Demographic change in Europe - An Overview, Working paper no. 4 of the Observatory for Sociopolitical Developments in Europe.
- Lorenz E (1975) Climate predictability: The physical basis of climate modeling. GARP Publication Series, Vol. 16, WMO, 132-136.
- Luterbacher J et al. (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499-1503.
- Mann HB (1945) Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica* 13: 245-259.
- Marin L, Birsan MV, Bojariu R, Dumitrescu A, Micu DM, Manea A (2014) An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period. *Carpath J Earth Env* 9(4): 253-258.
- Masson V (2000) A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound-Lay Meteorol* 94: 357-397.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.
- McVicar TR et al. (2008) Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *J Hydrol* 416-417: 182-205.
- Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, D'Ippoliti D, De Sario M, Marino C, Schifano P, Cappai G, Leone M, Kirchmayer U, Ventura M, di Gennaro M, Leonardi M, Oleari F, De Martino A, Perucci CA (2010) Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health*, 7(5), pp 2256-73.
- Micu D (2009) Snow pack in the Romanian Carpathians under changing climatic conditions. *Meteorol Atmos Phys* 105(1-2): 1-16. doi: 10.1007/s00703-009-0035-6. Micu DM, Dumitrescu A, Cheval S, Birsan MV (2015) Climate of the Romanian Carpathians. Variability and trends. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. DOI: 10.1007/978-3-319-02886-6
- Milankovitch M (1941) *Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem* Belgrade. (New English Translation, 1998, *Canon of Insolation and the Ice Age Problem*. 636 pp. Alven Global. ISBN 86-17-06619-9.)
- Ministry of Environment and Water Management (2005) Romania's Third National Communication on Climate Change under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Bucharest, 207 pp.
- Moss RH, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, Elgizouli I, Emori S, Erda L, Hibbard K, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Matthews B, Meehl J, Meyer L, Mitchell J, Nakicenovic N, O'Neill B, Pichs R, Riahi K, Rose S, Runci P, Stouffer R, van Vuuren D, Weyant J,

- Wilbanks T, van Ypersele VP, Zurek M (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp. www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-report-scenarios.pdf
- Moura AD, Shukla (1981) On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observation, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. *J Atmos Sci* 38: 2653-2675.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Yong Jung T, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000) *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. www.ipcc.ch/ipccreports/sres/
- Namias J (1972) Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus* 24: 336-342.
- National Meteorological Administration (2014) Adaptation measures in Romanian agriculture. ORIENTGATE Report of Pilot Study 2. Bucharest, Romania.
- Oke TR (1976) The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands, *Atmosphere*, Vol. 14, Iss. 4, 1976, DOI 10.1080/00046973.1976.9648422
- Oke TR (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology* 1, pp 237–254
- Olsson J, Berggren K, Olofsson M et al. (2009) Applying climate model. CESR-Center for Environmental Systems research & European Commission, Directorate-General Environment: *Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts – final report, 28.10.2011*.
- Palmer WC (1965) Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.
- Peixoto JP, Oort AH (1992) *Physics of Climate*, American Institute of Physics, New York, 520 pp.
- Pisias NG, Shackleton NJ (1984) Modelling the Global Climate Response to Orbital Forcing and Atmospheric Carbon Dioxide Changes. *Nature* 310: 757-759.
- Rees P McA, Ziegler AM, Gibbs MT, Kutzbach JE, Behling PJ, Rowley DB (2002) Permian phytogeographic patterns and climate data/model comparisons. *Journal of Geology* 110: 1-31.
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G, Kindermann G, Nakicenovic N, Rafaj P (2011) RCP 8.5 — A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change* 109, pp 33-57, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Rimbu N, Boroneant C, Buta C, Dima M (2002) Decadal variability of the Danube river streamflow in the lower basin and its relation with the North Atlantic oscillation. *Int J Climatol* 22: 1169-1179

- Rimbu N, Dima M, Lohmann G, Stefan S (2004) Impacts of the North Atlantic Oscillation and the El Niño Southern Oscillation on Danube river flow variability, *Geophys Res Lett* 31: L23203. doi:10.1029/2004GL020559.
- Rimbu N, Stefan S, Necula C (2014): The variability of winter high temperature extremes in Romania and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-014-1219-7
- Rounsevell MDA, Reginster I, Araújo MB, Carter TR et al. (2006) A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agric Ecosyst Environ* 114: 57-68 doi: 10.1016/j.agee.2005.11.027
- Sandu I, Mateescu E, Vătăşanu VV (2010) Schimbări climatice în România şi efectele, asupra agriculturii. SITECH, Craiova. 406 p.
- Schmidt G, Benítez-Sanz C (2012) *Topic report on: Assessment of Water Scarcity and Drought aspects in a selection of European Union River Basin Management Plans, Study by Intecsa-Inarsa for the European Commission*, <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/Assessment%20WSD.pdf>
- Schwierz C, Köllner-Heck P, Zenklusen Mutter E, Bresch D, Vidale P-L, Wild M, Schär C (2010) Modelling European winter wind storm losses in current and future climate. *Climatic Change* 101, pp 485–514. doi: 10.1007/s10584-009-9712-1
- SEERISK Consortium (2014). *Guideline on Climate Change Adaptation and Risk Assessment in the Danube Macro-region*, pp. 106. http://rsoe.hu/projectfiles/seeriskOther/download/climate_change_adaptation.pdf
- Servain J, Legler DM (1986) Empirical Orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *J Geophys Res* 91: 14181-14191.
- Spinoni J, Brunetti M, Maugeri M, Simolo C (2012) 1961–1990 monthly high-resolution solar radiation climatologies for Italy. *Adv Sci Res* 8(1): 19-25
- Spinoni J, Szalai S, Szentimrey T, Lakatos M, Bihari Z, Nagy A, Németh Á, Kovács T, Mihic D, Dacic M, Petrovic P, Kržič A, Hiebl J, Auer I, Milkovic J, Štěpánek P, Zahradníček P, Kilar P, Limanowka D, Pyrc R, Cheval S, Birsan MV, Dumitrescu A, Deak G, Matei M, Antolovic I, Nejedlík P, Štastný P, Kajaba P, Bochníček O, Galo D, Mikulová K, Nabyvanets Y, Skrynyk O, Krakovska S, Gnatiuk N, Tolasz R, Antofie T, Vogt J (2014) Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int J Climatol*. doi: 10.1002/joc.4059
- Stahle DW, Cleaveland MK, Hehr JG (1985) A 450-year drought reconstruction for Arkansas, United States. *Nature* 316:530-532.
- Stefan S (2004) Fizica atmosferei, vremea şi clima. Editura Universităţii din Bucureşti. 425p.
- Stefan S, Ghioca M, Rimbu N, Boroneant C (2004) Study of meteorological and hydrological drought in southern Romania from observational data. *Int J Climatol* 24: 871–881.
- Stefanescu V, Stefan S, Georgescu F (2014) Spatial distribution of heavy precipitation in Romania between 1980 and 2009. *Meteorol Appl* 21: 684-694. doi:10.1002/met.1391

- Stula S, Linz K (2010) Demographic change in Europe – An Overview. Working paper no. 4 of the Observatory for Sociopolitical Developments in Europe, 16 pp.
www.sociopolitical-observatory.eu
- Szentimrey T (1999) Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH).
 Proceedings of the 2nd Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data. Budapest, Hungary. WMO, WCDMP-No. 41: 27-46.
- Theobald D (2005) Landscape patterns of exurban growth in the USA from 1980 to 2020. *Ecology and Society* 10(1), 32 pp.
www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art32/
- Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, Kyle GP, Volke A, Patel P, Delgado-Arias S, Bond-Lamberty B, Wise MA, Clarke LE, Edmonds JA (2011) RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* 109:77-94, doi:10.1007/s10584-011-0151
- Tomozeiu R, Busuioc A, Stefan S (2002) Changes in seasonal mean of maximum air temperature in Romania and their connection with large-scale circulation. *International Journal of Climatology* 22, 1181-1196.
- Tomozeiu R, Stefan S, Busuioc A (2005) Spatial and temporal variability of the winter precipitation in Romania in connection with the large-scale circulation patterns. *Theoretical and Applied Climatology* 81: 193-201. doi: 10.1007/s00704-004-0082-3.
- Trenberth KE, Hoar TJ (1997) El Niño and climate change. *Geophys Res Lett* 24(23): 3057-3060.
- Trenberth KE, Jones PD, Ambenje PG, Bojariu R, Easterling DR, Klein Tank AMG, Parker DE, Renwick JA, Rahimzadeh F, Rusticucci MM, Soden BJ, Zhai PM (2007) Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3 of Climate Change 2007. The science of Climate Change. Contribution of WG 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S, Qin D, Manning M (Eds). Cambridge University Press.
- Trenberth KE, Shea DJ (2006) Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys Res Lett* 33: L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.
- UN (2009) *World urbanization prospects, The 2007 Revision Population Database*. <http://esa.un.org/unup/>
- UN-Habitat (2011) *United Nation Global Report on Human Settlements, Cities and Climate Change*, pp 250, ISBN Series Number: 978-92-1-131929-3, ISBN: 978-92-1-132296-5.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction – UNISDR (2004) *Guidelines for Reducing Flood Losses*. UNISDR, Geneva.
- Valt M, Cianfarra P (2010) Recent snow cover variability in the Italian Alps, *Cold Reg Sci Technol* 64 (2), 146-157. doi:10.1016/j.coldregions.2010.08.008
- Van Loon H, Rogers JC (1978) The see-saw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe. Part I: General Description. *Mon Wea Rev* 106: 293-310.
- van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC,

- Kram T, Krey V, Lamarque J-F, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK (2011a) The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109:5-31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- van Vuuren DP, Stehfest E, den Elzen MGJ, Kram T, van Vliet J, Deetman S, Isaac M, Goldewijk KK, Hof A, Beltran AM, Oostenrijk R, van Ruijven B (2011b) RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2C. *Climatic Change* 109:95-116, doi:10.1007/s10584-011-0152-3.
- Vavrus S (2007) The role of terrestrial snow cover in the climate system. *Climate Dynamics* 29: 73 88. doi: 10.1007/s00382-007-0226-0
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010a) A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718
- Wallace JM, Smith C, Jiang Q (1990) Spatial patterns of atmosphere-ocean interaction in the Northern Hemisphere winter. *J Climate* 3: 991-998.
- Waters R, Beare M, Walker R, Millot M (2011) Schema Transformation for INSPIRE. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol. 6, 1-22
- Williams PD, Cullen MJP, Huthnance JM (2011) How mathematical models can aid understanding of climate. *Transactions American Geophysical Union* 92(51): 482.
- Wisner B, Blaikie P, Cannon T, Davis I (2003) *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters* (2nd edition). London, New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- WMO (1984) Guide to meteorological practices. WMO N° 100. Geneva, Elveția.
wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/WCP_CCI/WMO100.pdf
- Wyrtki K (1979) The response of sea surface topography to the 1976 El Niño. *J Phys Oceanogr* 9: 1223-1231.
- Yekutiely B (2011) *Method for integrated climate change mitigation & adaptation*. US 20110010208A1
- Zebiak S, Cane MA (1987) A Model El Niño-Southern Oscillation. *Mon Wea Rev* 115: 2262-2278.
- Zorita E, Kharin V, von Storch H (1992) The Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature in the North Atlantic Area in Winter: Their Interaction and Relevance for Iberian Precipitation. *J Climate* 5: 1097-1108.

"

Anexă. Listă de proiecte și programe privind produse și servicii climatice, evaluarea riscurilor și adaptarea la variabilitatea și schimbarea climei

Nr.	Program	Acronim	Titlu	Adresa web
1	Klima und Energie Fond	APCC	Austrian Panel on Climate Change	www.apcc.ac.at
2	SEE	BE-NATURE	Better management of Natura 2000 sites	www.be-natur.it
3	SEE	CC-WARE	Integrated transnational strategy for water protection and mitigating water resources vulnerability	www.ccware.eu
4	SEE	CC-WATERS	Climate Change and Impacts on Water Supply	www.ccwaters.eu
5	FP7 Marie Curie Actions	CHANGES	Changing Hydro-meteorological Risks as Analyzed by a new generation of European Scientists	www.changes-itn.eu
6	Proiect trilateral	ChangingRISKS	Changing pattern of landslide risks as response to global changes in mountain areas	http://eost.u-strasbg.fr/omiv/ChangingRisks.html

7	FP7	CIRCLE-2	Climate Impact Research & Response Coordination for a Larger Europe	www.circle-era.eu
8	SEE	DANUBE FLOODRISK	Danube Floodrisk	www.danube-floodrisk.eu
9	SEE	DMCSEE	Drought Management Centre for Southeastern Europe	www.dmcsee.org
10	FP6	ENSEMBLES	ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts	www.ensembles-eu.org
11	FP7	EUPORIAS	EUropean Provision Of Regional Impact Assessment on a Seasonal-to-decadal timescale	www.euporias.eu
12	SEE	EU.WATER	Transnational integrated management of water resources in agriculture for the EU WATER emergency control	www.eu-water.eu
13	SEE	MONITOR II	Practical Use of Monitoring in natural Disaster Management	www.monitor2.org
14	FP7	MOVE	Methods for the Improvement of Vulnerability assessment in Europe	www.move-fp7.eu

15	FP6	PRUDENCE	Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects	http://prudence.dmi.dk
16	Strategie națională	OPERA-CLIMA	Operaționalizarea strategiei naționale privind schimbările climatice și dezvoltarea componentei climatice a Programelor Operaționale 2014-2020	www.worldbank.org/ro/country/romania/brief/romania-climate-change-and-low-carbon-green-growth-program
17	SEE	ORIENTGATE	A network for the integration of climate knowledge into policy and planning	www.orientgateproject.org
18	SEE	SEERISK	Joint Disaster Management risk assessment and preparedness in the Danube macro-region	www.seeriskproject.eu
19	SEE	SNAP-SEE	Sustainable Aggregates Planning in South East Europe	www.snapsee.eu
20	FP7	SPECS	Seasonal-to-decadal climate prediction for the improvement of European climate services	www.specs-fp7.eu

21	JPI Water	IMDRPFLOOD	Improving Drought and Flood Early Warning, Forecasting and Mitigation using real-time hydroclimatic indicators	http://imdroflood.meteoromania.ro/
22	JPI Climate	URCLIM	Advance on Urban Climate Services	http://www.urclim.eu/
23	JPI Climate	INDECIS	Integrated approach for the development across Europe of user oriented climate indicators for GFCS high- priority sectors: agriculture, disaster risk reduction, energy, health, water and tourism.	http://www.indecis.eu/

