

Efectele indirecte ale poluării atmosferice asupra sănătății umane

Sunt reprezentate de:

- schimbările climatice
- reducerea păturii de ozon stratosferic
- efectul local de ecran
- precipitațiile acide
- efecte asupra florei și faunei
- efecte asupra mediului de viață

SCHIMBĂRILE CLIMATICE

Climatologii au atras atenția asupra creșterii concentrației dioxidului de carbon atmosferic încă din anii 1960-1970. A fost însă nevoie de câțiva ani până când comunitatea internațională a reacționat.

Astfel, în anul 1979, Organizația Mondială de Meteorologie (*World Meteorological Organization* – WMO) a organizat Prima Conferință Mondială asupra Climatului, prilej cu care a fost exprimată îngrijorarea legată de „continua expansiune a activității umane, ceea ce ar putea genera importante schimbări climatice regionale și chiar globale”. A fost lansat un apel pentru cooperare mondială în vederea estimării posibilelor modificări climatice (care ar putea exercita efecte adverse asupra omenirii) și a luării lor în considerare în planificarea dezvoltării ulterioare a societății umane.

Nouă ani mai târziu, în 1988, Consiliul Executiv al WMO, împreună cu Programul Națiunilor Unite pentru Mediu (*United Nations Environment Programme* - UNEP) a pus bazele **Grupului Interguvernamental pentru Schimbări Climatice** (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC), deschis tuturor țărilor membre WMO și UNEP. Rolul IPCC este de a evalua, cu comprehensiune, obiectivitate și transparență, toate informațiile științifice, tehnice și socio-economice considerate relevante pentru a înțelege fundamentarea științifică a riscurilor generate de modificările climatice antropogene, posibilele lor influențe, precum și modalitățile de adaptare și reducere a acestora.

Activitatea IPCC se desfășoară în trei grupuri de lucru (*working groups*) care pregătesc rapoarte de evaluare referitoare la:

- fundamentarea științifică a schimbărilor climatice (Grupul de lucru I);
- vulnerabilitatea sistemelor socio-economice și naturale la schimbările climatice, consecințele negative și pozitive ale acestor schimbări și posibilitățile de adaptare la ele (Grupul de lucru II);
- posibilitățile de limitare a schimbărilor climatice prin reducerea sau prevenirea emisiilor de gaze generatoare ale efectului de seră și prin promovarea activităților ce îndepărtează aceste gaze din atmosferă (Grupul de lucru III).

Până în prezent, grupurile de lucru au elaborat și publicat cinci rapoarte de evaluare – în 1990, 1995, 2001, 2007 și 2013-2014 –, precum și numeroase alte rapoarte tehnice și speciale. Cel de-al șaselea raport de evaluare va fi finalizat în perioada 2021-2022.

IPCC nu desfășoară acțiuni de cercetare, de monitorizare a datelor climatice și nici nu face recomandări de natură politică. Constatările și concluziile sale reflectă un consens științific global și au un caracter total apolitic, de aceea ele sunt considerate o adevărată contragreutate în cadrul dezbaterilor politice (adesea controversate) referitoare la ceea ce este de făcut în privința schimbărilor climatice.

A fost astfel posibil ca, în anul 1990, pe baza primului raport de evaluare elaborat de către IPCC (*IPCC First Assessment Report*), cea de a 45-a Adunare Generală a Organizației Națiunilor Unite (ONU) să decidă inițierea negocierilor asupra unei convenții-cadru referitoare la schimbările climatice.

În consecință, în anul 1992, la Rio de Janeiro, a avut loc Conferința ONU asupra Mediului și Dezvoltării (*United Nations Conference on Environment and Development*), conferință cunoscută și sub numele de „Summit-ul Pământului”. Cu acest prilej a fost adoptată Convenția-cadru a ONU asupra Schimbărilor Climatice (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) – un tratat internațional ce urmărește reducerea emisiilor de gaze implicate în efectul de seră (*greenhouse gases – GHG*), în vederea prevenirii unei „interferențe antropogene periculoase cu sistemul climatic al Pământului”, fără a fixa însă valori-limită obligatorii pentru aceste emisii.

Conform Convenției-cadru, țările dezvoltate – părți ale Convenției și alte părți incluse în Anexa I (Australia, Austria, Belarus, Belgia, Bulgaria, Canada, Croația, Cehia, Danemarca, Com. Europeană, Elveția, Estonia, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Islanda, Irlanda, Italia, Japonia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburg, Marea Britanie, Monaco, Noua Zeelandă, Norvegia, Olanda, Polonia, Portugalia, România, Federația Rusă, Slovacia, Slovenia, Spania, SUA, Suedia, Turcia, Ucraina, Ungaria) s-au angajat „să adopte politici naționale și ia măsurile necesare pentru atenuarea schimbărilor climatice, limitând emisiile antropice de gaze cu efect de seră”. În același timp, țările dezvoltate – părți și celelalte părți dezvoltate menționate în Anexa II (Australia, Austria, Belgia, Canada, Danemarca, Com. Europeană, Elveția, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Islanda, Irlanda, Italia, Japonia, Luxemburg, Marea Britanie, Noua Zeelandă, Norvegia, Olanda, Portugalia, Spania, SUA, Suedia) s-au angajat să furnizeze resursele financiare necesare pentru a acoperi în întregime costurile convenite pe care trebuie să le suporte țările în curs de dezvoltare-părți, pentru îndeplinirea unor obligații ce decurg din Convenție [30].

Adoptată în 1992, Convenția-cadru a intrat în vigoare în 1994. Până în prezent, a fost semnată de 165 din cele 195 de părți care au aderat la Convenție, putând fi oricând semnată și de către celelalte 30 de părți.

România a semnat Convenția-cadru în 1992 și a ratificat-o în 1994.

Chiar și după intrarea în vigoare a UNFCCC, IPCC a rămas cea mai importantă sursă de informații științifice, tehnice și socio-economice a tratatului. Relația dintre UNFCCC și IPCC reprezintă un adevărat model de colaborare între oamenii de știință și factorii de decizie politică. În anul 2007, IPCC și Albert Arnold (Al) Gore Jr. au primit Premiul Nobel pentru Pace, ca o recunoaștere a eforturilor lor de a disemina cunoștințele legate de schimbările climatice și de a fundamenta măsurile necesare pentru combaterea acestor schimbări.

După 1994, părțile Convenției-cadru s-au întâlnit anual în cadrul unor conferințe numite *Conferences of the Parties (COP)*; prima dintre ele, COP 1, a avut loc în 1995, la Berlin (Germania). Unele conferințe reprezintă evenimente marcante în aplicarea prevederilor Convenției-cadru și, de aceea, vor fi amintite în continuare.

Astfel, în **1997**, la **Kyoto (Japonia)**, cu prilejul **COP 3**, după negocieri intense, a fost adoptat „**Protocolul de la Kyoto**”, mult mai bine cunoscut în prezent decât însăși Convenția-cadru. Intrat în vigoare în 2005, Protocolul a fost semnat, până în prezent, de 83 din cele 192 de părți care au aderat la protocol. Se impune să menționăm faptul că SUA au semnat

Protocolul încă din 1998, dar nu l-au ratificat, iar Canada (semnatară a documentului în 1998) a renunțat, în 2012, să mai fie parte a acestui protocol.

România a semnat Protocolul de la Kyoto în 1999 și l-a ratificat în 2001.

Conform acestui Protocol, sunt considerate GHG dioxidul de carbon (CO_2), metanul (CH_4), oxidul nitros (N_2O), hidrofluorocarburi (HFC), perfluoro-carburi (PFC) și hexafluorura de sulf (SF_6). Totodată, cele mai multe țări dezvoltate – părți ale Convenției-cadru, alte părți industrializate și unele țări în tranziție spre o economie de piață (în total 37 de părți) s-au angajat ca, în perioada 2008-2012 (prima perioadă de angajament – *first commitment period*), să reducă emisiile de GHG în medie cu 5% față de valorile din 1990.

Conferința **COP 11** desfășurată la **Montreal (Canada)**, în **2005**, este considerată de importanță istorică întrucât s-a desfășurat în paralel cu prima întâlnire (**CMP 1**) a părților care au aderat la Protocolul de la Kyoto.

Decizii importante s-au luat și în cadrul conferințelor COP 13 – CMP 3 (Bali, 2007), COP 16 – CMP 6 (Cancun – Mexic, 2010), COP 17 – CMP 7 (Durban – Africa de Sud, 2011) și **COP 18 – CMP 8 (Doha – Qatar, 2012)**. În cadrul ultimei conferințe menționate, părțile Protocolului de la Kyoto au adoptat un amendament al protocolului (Amendamentul de la Doha) care introduce un al doilea angajament al părților (*second commitment period*) de reducere a emisiilor de GHG în perioada 2013-2020 cu 20% față de anul 1990; Japonia, Noua Zeelandă și Federația Rusă și-au anunțat intenția de a nu-și asuma obligațiile prevăzute în Amendament. Acesta va intra în vigoare după ce 144 de părți ale Protocolului de la Kyoto vor fi aderat la Amendament.

Conform aceluiași amendament, trifluorura de azot (NF_3) va fi adăugată pe lista GHG.

Cu prilejul **COP 21 – CMP 11** ce a avut loc în decembrie **2015** la **Paris (Franța)**, a fost obținut un nou acord global privind schimbările climatice. Acesta prevede un plan de acțiune pentru a menține creșterea temperaturii medii globale cu mult sub 2°C („well below 2°C ”) față de perioada pre-industrială și pentru a face eforturi de a o limita la $1,5^\circ\text{C}$. Acordul de la Paris, intrat în vigoare un an mai târziu (noiembrie 2016), acoperă perioada începând cu anul 2020.

Ultima întâlnire **COP 25 – CMP 15** s-a desfășurat la **Madrid (Spania)**, în decembrie **2019**.

Pe parcursul acestui capitol, abordarea problematicii referitoare la schimbările climatice (cauze, schimbări climatice propriu-zise și efecte) se va face în concordanță cu Rapoartele de evaluare elaborate de către experții IPCC.

I. Sistemul climatic; factorii care îl influențează și care determină schimbările climatice

Sistemul climatic este un sistem interactiv cu cinci componente majore (atmosfera, hidrosfera, criosfera, suprafața terestră și biosfera) supuse influenței unor factori externi, dintre care cel mai important este Soarele [35].

În compoziția **atmosferei** (cea mai instabilă componentă a sistemului) se întâlnesc azotul (78,1% volume), oxigenul (20,9% volume) și argonul (0,93% volume) – gaze ce influențează prea puțin cantitatea de căldură primită/emisă de către Pământ. În schimb, există alte gaze, aflate în concentrații foarte mici, care absorb sau emit radiație infraroșie. Este vorba despre așa numitele **gaze ce generează efectul de seră**, cu o concentrație totală sub 0,1% volume: dioxid de carbon, metan, oxid nitros și ozon. Vaporii de apă existenți în atmosferă, în concentrație de aproximativ 1%, joacă, de asemenea, un rol important în generarea efectului natural de seră, și anume: împreună cu gazele anterior menționate, ei rețin radiația infraroșie emisă de Pământ, determinând astfel creșterea temperaturii în apropierea suprafeței terestre. Prin urmare, **efectul de seră este un fenomen natural**, datorită căruia temperatura medie pe

Pământ este de circa 14°C ; în absența efectului de seră, temperatura ar fi cu circa 33°C mai mică (-19°C) și viața (așa cum o știm) nu ar fi posibilă pe Pământ.

În privința ozonului, se impune să menționăm faptul că ozonul din troposferă și cel din straturile inferioare ale stratosferei se comportă ca un gaz generator al efectului de seră, în timp ce ozonul din stratosfera superioară (o pătură naturală, concentrată de ozon) absoarbe radiația ultravioletă solară.

Alături de gaze, atmosfera mai conține și particule solide sau lichide (aerosoli) și nori care influențează, într-o manieră extrem de complexă și variabilă, cantitatea de radiație infraroșie primită/emisă de către Pământ.

Hidrosfera cuprinde apa subterană și apele de suprafață (râuri, lacuri, mări și oceane). Acoperind aproximativ 70% din suprafața Pământului, oceanele depozitează o importantă cantitate de energie și, totodată, dizolvă și stochează mari rezerve de dioxid de carbon.

Criosfera include pătura de gheață din Groenlanda și Antarctica, ghețarii și zăpada continentală, gheața din mări și oceane și permafrostul (stratul de sol și de roci care nu se dezgheață nici în timpul verii). Ea joacă un rol important în sistemul climatic datorită capacității sale de a reflecta radiația solară (albedo).

Suprafața terestră reglează modul de utilizare a energiei primite de la soare, în sensul că o parte din energie se reîntoarce în atmosferă sub formă de radiație infraroșie, determinând încălzirea atmosferei, iar o altă parte servește la evaporarea apei de la nivelul solului.

Biosfera exercită un impact major asupra concentrației atmosferice a GHG, în special asupra dioxidului de carbon.

Există numeroși **factori (interni și externi) care influențează în permanență starea sistemului climatic:**

- **factori interni** - sistemul climatic prezintă variații naturale în absența oricărui factor extern, deoarece componentele sale se găsesc într-un dezechilibru permanent, variază constant și interacționează non-liniar (exemplu: fenomenul ENSO - El Nino Southern Oscillation - cauzat de interacțiunea dintre atmosferă și ocean; este un curent de suprafață ce apare sezonier în Pacificul de Sud, de-a lungul coastelor Ecuadorului și Perului, încălzind zonele cu apă mai rece; uneori, curentul devine foarte puternic și este însoțit de încălzirea neobișnuită a apelor oceanului);

- **factori externi (naturali și antropici):**

- **naturali:** Soarele, efectul natural de seră, norii (efect de ușoară răcire a sistemului climatic), aerosolii proveniți din surse naturale: praful teluric antrenat din deșerturi și zone semiaride, aerosolii de sare marină, aerosolii biogeni (fragmente de plante, materii humice și particule microbiene), aerosolii generați prin erupțiile vulcanice;

- **antropici:** creșterea concentrației atmosferice a GHG, aerosolii de proveniență antropică și schimbările în folosința terenurilor. Acești factori reprezintă **cauzele esențiale ale schimbărilor înregistrate în prezent în sistemul climatic.**

Creșterea concentrației atmosferice a gazelor implicate în generarea efectului de seră este principalul responsabil al amplificării efectului de seră și, astfel, al schimbărilor climatice.

Gazele implicate în generarea efectului de seră sunt:

- cele incluse în Protocolul de la Kyoto: dioxid de carbon, metan, oxid nitros, hidrofluorocarburi, perfluoro-carburi și hexafluorura de sulf
- cele incluse în „Protocolul de la Montreal asupra substanțelor care distrug stratul de ozon” și amendamentele sale: gazele clorofluorocarbonice (CFC), gazele hidroclorofluorocarbonice (HCFC) și halonele (aspecte ce vor fi abordate ulterior)
- ozonul troposferic

- vaporii de apă din atmosferă
- monoxidul de carbon CO, compușii organici volatili COV și oxizii de azot NO_x (NO + NO₂) – gaze implicate *indirect* în crearea efectului de seră, deoarece ele participă la reacții chimice generatoare de gaze direct implicate în efectul de seră.

Cu aproximativ o mie de ani înainte de era industrială (care se estimează că a început în jurul anului 1750), concentrația GHG a fost relativ constantă, după care ea a început să crească datorită, direct sau indirect, activității umane. Astfel:

- concentrația atmosferică a dioxidului de carbon a crescut în 2011 cu 40% față de anul 1750, de la 280 ppm la 391 ppm (365 ppm în 1998, 379 ppm în 2005); creșterea concentrației sale se datorează în principal combustiei carburanților fosili și despăduririlor;
- concentrația metanului, de 1803 ppb în 2011 (1774 ppb în 2005), a crescut cu 150% față de valoarea înregistrată în perioada preindustrială și se datorează, în mare parte, activității umane (creșterea animalelor, cultivarea orezului, neutralizarea reziduurilor solide);
- concentrația oxidului nitros a crescut cu 20%, de la 270 ppb în anul 1750 la 324 ppb în 2011, fenomen datorat cu precădere activității agricole și defrișărilor;
- concentrațiile HFC, PFC și SF₆ sunt încă mici, dar continuă să crească;
- concentrația atmosferică a CFC și HCFC (care determină atât amplificarea efectului de seră, cât și distrugerea stratului de ozon) s-a redus, datorită diminuării emisiilor ca răspuns la reglementările Protocolului de la Montreal și ale amendamentelor sale;
- creșterea concentrației ozonului troposferic (cu 36% după 1750) accentuează efectul de seră;
- vaporii de apă eliberați în atmosferă de activitatea umană par să influențeze nesemnificativ sistemul climatic [35, 36].

Aerosolii de proveniență antropică (praful industrial, aerosolii organici generați prin arderea biomasei și a combustibililor fosili, aerosolii sulfati și nitrați), ca și cei proveniți din surse naturale, influențează semnificativ bugetul energetic al sistemului climatic atât direct, prin difuzia și absorbția radiațiilor, cât și indirect, prin modificarea proprietăților radiative ale norilor.

Schimbările în folosința terenurilor, domeniu în care despăduririle ocupă locul principal, au făcut ca pădurile să fie înlocuite cu suprafețe întinse acoperite cu zăpadă, cu un albedo mai mare.

II. Schimbările înregistrate în sistemul climatic

Schimbările înregistrate în sistemul climatic se întâlnesc la nivelul atmosferei (variații ale temperaturii aerului, ale nivelului precipitațiilor și ale activității ciclonice), al criosferei și al hidrosferei. În conformitate cu [38], amplitudinea acestor schimbări a atins următoarele cote:

▪ la nivelul atmosferei:

- variații ale temperaturii:

- fiecare din ultimele trei decade au fost mai călduroase decât orice altă decadă după anul 1850;
- foarte probabil, în emisfera nordică, perioada 1983-2012 reprezintă cei mai călduroși 30 de ani din ultimii 800 de ani;
- în perioada 1880-2012, temperatura medie globală a crescut cu 0,85 [0,65-1,06]⁰ C;
- la nivel global, s-a redus numărul zilelor și al nopților reci și a crescut numărul zilelor și al nopților calde;
- frecvența „valurilor de căldură” a crescut în Europa, Asia și Australia;

- precipitații și activitate ciclonică:

- în unele regiuni (Europa și America de Nord) a crescut frecvența și intensitatea episoadelor cu precipitații abundente;
- după anul 1970, s-a intensificat activitatea ciclonilor tropicali în zona Atlanticului de Nord.

▪ **la nivelul criosferei:**

- în perioada 1967-2012, în multe regiuni din emisfera nordică s-a constatat reducerea păturii de zăpadă cu 1,6 [0,8-2,4]% pe decadă în lunile martie și aprilie și cu 11,7% pe decadă în luna iunie;
- începând cu anii 1980, s-a observat creșterea temperaturii la nivelul permafrostului în multe regiuni din emisfera nordică;
- în zona arctică, stratul de gheață de la nivelul oceanului s-a redus cu 3,5-4,1% la fiecare 10 ani, în perioada 1979-2011;
- în zona antarctică, stratul de gheață de la nivelul oceanului se extinde;
- topirea ghețurilor și a calotelor glaciare pe parcursul secolului al XX-lea a generat creșterea nivelului mărilor.

▪ **la nivelul hidrosferei:**

- creșterea temperaturii oceanului planetar este maximă până la o adâncime de 75 m, atingând, în perioada 1971-2010, valoarea de $0,11^{\circ}\text{C}/\text{decadă}$ [$0,09-0,13$] $^{\circ}\text{C}$;
- pH-ul oceanului planetar a scăzut cu 0,1 unități, ca urmare a încorporării dioxidului de carbon;
- în zonele subtropicale se constată creșterea nivelului salinității apei oceanelor în apropierea suprafeței, iar în zonele cu precipitații abundente – scăderea nivelului salinității;
- în perioada 1901-2010, nivelul mărilor a crescut în medie cu 1,7 [1,5-1,9] mm/an, iar în perioada 1993-2010 – cu 3,2 [2,8-3,6] mm/an.

III. Efectele schimbărilor climatice se înregistrează asupra ecosistemelor și asupra populației umane:

1. asupra ecosistemelor (terestre, marine, de apă dulce, din zonele costaliere) – efecte proporționale cu magnitudinea încălzirii, a acidifierii oceanelor, a creșterii nivelului mării:

- multe specii de plante și de animale, incapabile să se adapteze la noile condiții climatice sau să migreze rapid spre teritorii cu climă favorabilă, vor fi amenințate de dispariție; fenomenul va fi amplificat atât sub acțiunea schimbărilor climatice (încălzire, reducerea păturii de gheață, variații ale nivelului de precipitații, reducerea debitului râurilor, acidifierea și reducerea concentrației de oxigen în apa oceanelor), cât și sub acțiunea altor factori ce acționează simultan: modificări ale habitatului, exploatarea excesivă a rezervelor, poluare, eutrofizare, specii invazive;
- datorită schimbărilor în dispoziția geografică a speciilor, este posibilă creșterea cantităților de pește pescuit în zonele cu latitudine medie și înaltă și diminuarea lor în zonele tropicale;
- dintre speciile marine, moluștele cu cochilie calcaroasă, echinodermele (steaua de mare, ariciul de mare) și corali par să fie mai vulnerabile la acidifierea apei oceanelor comparativ cu crustaceele și peștii;
- este foarte probabilă eliberarea în atmosferă a unor cantități importante din carbonul existent în biosfera terestră, ca urmare a creșterii temperaturii (și, consecutiv, a riscului de incendii spontane ale pădurilor), a secetei, a furtunilor și a defrișărilor;
- ecosistemele din zonele costaliere și din zonele joase vor fi afectate de creșterea nivelului mărilor prin inundații, eroziune și expunere la acțiunea valurilor și a furtunilor.

2. asupra populației umane:

2.1. asupra resurselor de apă și hrană:

- va crește procentul din populația globală care va fi afectată de inundații sau, dimpotrivă, de lipsa apei; vor crește rezervele de apă la latitudini mari și se vor reduce în zonele tropicale aride;
- creșterea temperaturii, creșterea cantităților de sedimente, nutrienți și poluanți antrenați de precipitațiile abundente, concentrarea poluanților în perioadele de secetă și afectarea instalațiilor de tratare a apei din cauza inundațiilor vor afecta negativ calitatea apei brute și, consecutiv, a apei potabile;
- securitatea alimentară (incluzând producerea, accesul, utilizarea și prețul alimentelor) este afectată de schimbările climatice; în zonele tropicale și temperate, producția de grâu, orez și porumb va scădea semnificativ (cu valori cuprinse între 10 și 25%) dacă temperatura va crește cu mai mult de 2° C;

2.2. asupra sănătății umane:

- la scară globală, magnitudinea și severitatea efectelor negative ale schimbărilor climatice asupra sănătății umane vor depăși efectele pozitive;
- există posibilitatea creșterii morbidității și a mortalității din cauza valurilor de căldură și a incendiilor, a creșterii incidenței bolilor cu transmitere digestivă (hidrică sau prin alimente), a pierderii capacității de muncă și a reducerii productivității muncii în populațiile vulnerabile;
- va crește riscul subnutriției în zonele sărace ale lumii;
- la nivel global, există riscul creșterii incidenței bolilor transmise de vectori, deși riscul se reduce în zonele în care temperaturile prea ridicate vor stopa existența vectorilor;
- în unele regiuni, asocierea valorilor înalte ale temperaturii și umidității atmosferice va afecta multiple activități umane, inclusiv cele desfășurate în aer liber și producția de alimente;

2.3. asupra comunităților umane:

- în comunitățile urbane, atât populația și bunurile sale materiale, cât și ecosistemele vor fi afectate de valurile de căldură, de furtuni și precipitații extreme, de inundații sau secetă, de alunecări de teren, de poluarea atmosferică, de lipsa apei, de creșterea nivelului mării și de valurile din timpul furtunilor;
- comunitățile rurale vor fi afectate de lipsa aprovizionării cu apă, de insecuritate alimentară, de veniturile agricole reduse (generate, parțial, de lipsa de adaptare a unor culturi la noile condiții climatice); comunitățile sărace, cele cu mai mulți membri de gen feminin și cele cu acces limitat la educație, infrastructură și tehnică agricolă modernă vor fi cele mai vulnerabile;

2.4. asupra nivelului de trai:

- schimbările climatice vor accentua sărăcia în țările în curs de dezvoltare și vor crea noi „focare” de sărăcie în țările cu inegalități sociale (dezvoltate sau în curs de dezvoltare);
- schimbările climatice vor diminua creșterea economică, vor face mai dificilă reducerea sărăciei, vor eroda securitatea alimentară, vor prelungi existența „focarelor” de sărăcie și vor favoriza apariția unora noi, în special în zonele urbane;
- se estimează că o creștere a temperaturii medii cu aprox. 2,5° C va genera o scădere a veniturilor de 0,2-2%;
- sistemul de asigurări (pentru acoperirea pierderilor cauzate de fenomenele meteorologice extreme), comerțul internațional și relațiile dintre statele lumii pot fi, de asemenea, profund afectate de schimbările climatice;

2.5 asupra securității

- schimbările climatice vor genera accentuarea fenomenului migrației populației; părăsirea zonelor expuse fenomenelor meteorologice extreme poate fi o strategie de adaptare a populației la schimbările climatice;
- prin sărăcia și șocurile economice generate, schimbările climatice pot crește (indirect) riscul apariției unor conflicte violente în rândul populației expuse.

REDUCEREA PĂTURII DE OZON STRATOSFERIC

Abordarea problematicii referitoare la reducerea păturii de ozon (prezența ozonului în atmosferă; cauza, amploarea și consecințele reducerii stratului de ozon) se va face pe baza raportului de evaluare elaborat de WMO și UNEP în anul 2018 [39].

I. Prezența ozonului în atmosferă

Ozonul (O_3) este un gaz prezent în mod normal în atmosfera terestră; numele său provine de la cuvântul grecesc „ozein” (a mirosi) și se datorează mirosului pătrunzător, care face ca prezența lui să fie decelată chiar și la concentrații foarte mici.

Cea mai importantă cantitate de ozon (90%) se găsește în stratosferă; el se formează din molecule de oxigen care, sub acțiunea radiației ultraviolete solare, generează doi atomi de oxigen; fiecare din ei se combină cu câte o moleculă de oxigen, generând astfel două molecule de ozon. Zona cu cea mai mare concentrație a gazului este cunoscută sub numele de „stratul de ozon”, care joacă un rol important în reținerea radiațiilor ultraviolete B (UV-B).

Cealaltă cantitate de ozon (10%) se găsește în troposferă, unde formarea sa are loc pornind de la constituenți naturali și de la poluanți atmosferici (hidrocarburi, oxizi de azot, ozon), în prezența radiației solare.

Nivelul ozonului atmosferic total se măsoară în unități Dobson (DU) și variază între 200 și 500 DU; valoarea de 500 DU corespunde unei grosimi a stratului de ozon pur de 0,5 cm.

Distribuția ozonului total în jurul Pământului nu este uniformă, ci variază semnificativ în funcție de latitudine și de anotimp. Astfel, cele mai mari valori se întâlnesc:

- la latitudini mijlocii și mari, situația fiind explicată, pe de o parte, de formarea ozonului în special în zona tropicală (puternic însorită), iar pe de altă parte – de sensul circulației aerului în stratosferă, care conduce ozonul spre poli.
- în timpul primăverii, deoarece transportul ozonului din zona tropicală (unde se formează) spre poli este accentuat în timpul toamnei și iernii; în plus, în timpul verii polare, distrugerea naturală a ozonului este catalizată de „ziua” permanentă, ceea ce face ca nivelul lui să fie minim la începutul toamnei. Această evoluție naturală ciclică a cantității de ozon total este evidentă în emisfera nordică; în Antarctica, cantitatea minimă de ozon se întâlnește primăvara („gaura de ozon” – aspect ce va fi abordat ulterior).

II. Cauza reducerii stratului de ozon

La începutul anilor 1970, oamenii de știință au descoperit faptul că stratul de ozon poate fi distrus de unele substanțe chimice folosite în activitatea economică și eliberate în atmosferă. Substanțele care distrug stratul de ozon (*ozone-depleting substances* - ODS) fac parte din grupa halocarburilor (conțin atomi de halogeni în moleculă) și au fost folosite ca agenți de refrigerare (în industria frigotehnică, în aparatele de aer condiționat și alte echipamente de răcire), ca agenți de propulsare pentru aerosoli, ca solvenți și degresanți, la

fabricarea spumelor izolante, la stingerea incendiilor, în industria vopselurilor și a cernelurilor, etc.

Cel mai mare potențial de distrugere a stratului de ozon îl au substanțele care conțin **clor sau brom** în moleculă. Dintre aceste substanțe, cele mai folosite au fost gazele clorofluorocarbonice CFC (conțin în moleculă numai carbon, clor și fluor), tetraclorura de carbon (CCl_4) și metil cloroformul (CH_3CCl_3), respectiv compușii care conțin brom – halone și bromură de metil (CH_3Br). Cantitatea de clor din stratosferă este de 150 de ori mai mare decât cea de brom (3320 ppt vs. 21,6 ppt).

Potențialul de distrugere a stratului de ozon este mai mic în cazul substanțelor care conțin **iod** și practic nul în cazul celor care conțin **fluor**; de aceea, substanțele fluorurate nu sunt considerate ODS, hidrofluorocarburi (HFC) fiind folosite ca înlocuitori pentru cloro- și bromocarburi.

Odată eliberate în atmosferă, halocarburi au o durată de viață care variază între unu și 100 de ani; astfel:

- cele cu durată scurtă de viață sunt distruse la nivelul troposferei și, ca urmare, vor contribui în foarte mică măsură la distrugerea stratului de ozon; substanțele care conțin iod fac parte din această categorie, de aceea rolul lor în distrugerea ozonului stratosferic este puțin important.

- cele cu durată mare de viață (în principal substanțe care conțin clor și brom) ajung în stratosferă unde, prin reacții chimice, sub acțiunea radiației solare ultraviolete, sunt transformate în compuși cu reactivitate chimică crescută - monoxid de clor ClO și monoxid de brom BrO , atomi de clor și brom; monoxidul eliberează atomul de clor sau brom care reacționează cu o moleculă de ozon, transformată astfel într-o moleculă de oxigen, concomitent cu regenerarea moleculei de ClO sau BrO .

Unele halocarburi pot ajunge în atmosferă și emise de **surse naturale**; astfel, ecosistemele terestre și acvatice generează cantități importante de gaze cu durată mare de viață care ajung în stratosferă - clorură de metil (CH_3Cl), care furnizează aproximativ 17% din clorul prezent în stratosferă, și bromură de metil (CH_3Br), responsabilă de prezența a circa 30% din bromul stratosferic. Sursele naturale emit și halocarburi cu durată scurtă de viață. Se consideră că, de la jumătatea secolului trecut, concentrația stratosferică a clorului și a bromului din surse naturale nu s-a modificat, deci sursele naturale de halocarburi nu pot fi cauza distrugerii stratului de ozon.

III. Amploarea reducerii stratului de ozon

Reducerea cantității de ozon total a fost constatată la începutul anilor 1980; ea a continuat an de an până la începutul anilor 1990, când se apreciază că a atins un maxim de 5% comparativ cu valorile medii înregistrate între 1964 și 1980. După primii ani ai decadei 1990, distrugerea stratului de ozon a fost încetinită, ca urmare a intrării în vigoare a reglementărilor internaționale privind eliberarea ODS în atmosferă; astfel, în perioada 2006-2009, nivelul ozonului total a fost mai scăzut cu doar 3,5% față de valorile perioadei 1964-1980.

Cea mai severă reducere a stratului de ozon, observată încă de la mijlocul anilor 1980, se întâlnește la începutul primăverii deasupra Antarcticii și este cunoscută sub denumirea de „gaură de ozon” (*the ozone hole*). Ea se datorează unor condiții speciale, atmosferice și chimice, care se întâlnesc numai în această zonă a globului pământesc. Este vorba de temperaturi foarte scăzute (sub -78°C), aproape pe durata întregii ierni (aproximativ 5 luni, față de doar 10-60 de zile în zona arctică), temperaturi care permit formarea norilor stratosferici polari; la suprafața acestor nori au loc reacții chimice care conduc la transformarea masivă a ODS în compuși cu reactivitate chimică mare – monoxid de clor, respectiv de brom, responsabili de distrugerea stratului de ozon.

IV. Reglementări internaționale pentru protecția stratului de ozon

În anul 1985, 20 de țări au semnat la Viena un tratat numit „Convenția de la Viena pentru protecția stratului de ozon” (*Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer*), prin care se angajau să aplice măsurile necesare pentru a proteja stratul de ozon în fața poluării atmosferice antropice. Doi ani mai târziu, în 1987, a fost semnat „Protocolul de la Montreal privind substanțele care distrug stratul de ozon” (*Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*), intrat în vigoare în 1989; protocolul a stabilit cadrul legal pentru controlul producerii și consumului ODS (prevăzute în anexele la Protocol) în primul rând în țările dezvoltate, dar și în țările în curs de dezvoltare care urmau să beneficieze de susținere financiară.

În cele două decade care au urmat, Protocolul a fost amendat de patru ori și ajustat de șase ori, cu prilejul unora din întâlnirile anuale ale părților (*Meetings of the Parties - MOP*). Amendamentele și ajustările ▪ au inclus noi substanțe în lista ODS controlate conform Protocolului, ▪ au accelerat aplicarea măsurilor de control existente și ▪ au scurtat perioadele de timp acordate inițial pentru încetarea treptată a producerii și utilizării celor mai agresive ODS. Amendamentele și ajustările poartă numele orașului și al anului unde/când au avut loc respectivele întâlniri. Este vorba de:

- amendamentul și ajustarea de la Londra – 1990 (MOP 2);
- amendamentul și ajustarea de la Copenhaga – 1992 (MOP 4);
- ajustarea de la Viena – 1995 (MOP 7);
- amendamentul și ajustarea de la Montreal – 1997 (MOP 9);
- amendamentul și ajustarea de la Beijing – 1999 (MOP 11);
- ajustarea de la Montreal – 2007 (MOP 19).

Redăm în continuare câteva din cele mai importante acțiuni prevăzute în Protocolul amendat și ajustat:

- Protocolul a prevăzut o reducere cu 50% a producției de CFC și înghețarea producției de halone; Amendamentul de la Londra a fixat termene pentru aceste măsuri, și anume încetarea progresivă a producerii și utilizării celor mai agresive ODS până în anul 2000 pentru țările dezvoltate (termen devansat în 1996 prin Amendamentul de la Copenhaga) și până în anul 2010 pentru țările în curs de dezvoltare;

- Protocolul admite utilizarea, pe termen scurt (câteva decade), a gazelor hidroclorofluorocarbonice (HCFC) și hidrobromofluorocarbonice (HBFC) ca substituenți tranziționali pentru cele mai agresive ODS (se consideră că HCFC și HBFC afectează în mai mică măsură stratul de ozon comparativ cu CFC și halonele, deoarece ajung în cantitate redusă în stratosferă, fiind distruse în mare parte la nivelul troposferei). Ajustarea de la Montreal din 2007 prevede ca țările dezvoltate să înceteze progresiv producerea și utilizarea HCFC/HBFC până în anul 2020, iar țările în curs de dezvoltare – până în anul 2030 (cu 10 ani mai devreme decât termenul stabilit inițial);

- se admite folosirea pe termen lung a HFC ca substituenți pentru ODS agresive, ceea ce va duce la creșterea concentrației atmosferice a HFC – gaze implicate în amplificarea efectului de seră (aspecte abordate în capitolul anterior);

- producerea și utilizarea halonelor a încetat în anul 1994 în țările dezvoltate, respectiv în 2010 în țările în curs de dezvoltare;

- producerea și utilizarea metil clorofomului a încetat în anul 1996 în țările dezvoltate și este programată pentru începutul anului 2015 în țările în curs de dezvoltare;

- producerea și utilizarea tetraclorurii de carbon a încetat în anul 1996 în țările dezvoltate, respectiv în 2010 în țările în curs de dezvoltare.

Ca rezultat al aplicării prevederilor Protocolului de la Montreal amendat și ajustat, concentrația atmosferică a ODS a început să scadă în ultimii 10 ani: dacă nivelul lor atinsese, în anul 1988, valori de 10 ori mai mari decât emisiile naturale, în perioada 1988-2010 emisiile

antropice de ODS s-au redus cu 80%. În măsura în care țările lumii vor continua să respecte prevederile Protocolului, se estimează că producerea și utilizarea principalelor ODS va înceta complet la mijlocul secolului al XXI-lea; tot atunci se vor înregistra concentrații atmosferice ale ODS similare celor anterioare momentului descoperirii găurii de ozon de deasupra Antarcticii (începutul anilor 1980).

V. Consecințe ale reducerii stratului de ozon

Reducerea păturii de ozon conduce la creșterea cantității de radiații UV-B ce ajung la nivelul scoarței terestre, cu consecințe asupra sănătății umane, asupra ecosistemelor terestre și acvatic, asupra ciclurilor biogeochimice și compoziției aerului troposferic, asupra materialelor de construcție.

Consecințe asupra sănătății umane:

- la nivel ocular: pterigion (afecțiune degenerativă constând în apariția unui strat triunghiular de țesut fibrovascular cu baza spre conjunctiva nazală și vârful spre corne), cataractă, degenerescență maculară legată de vârstă;
- la nivel cutanat: melanoame și carcinoame;
- imunosupresie;
- stimularea sintezei cutanate de vitamină D.

Consecințe asupra ecosistemelor terestre

- diminuarea productivității (cu aproximativ 6%) pentru unele culturi agricole;
- accentuarea fotodegradării organismelor vegetale moarte, având drept rezultat creșterea cantității de CO₂ eliberat în atmosferă;
- creșterea susceptibilității unor plante la acțiunea fungilor;
- modificarea structurii populației bacteriene a solului, cu consecințe asupra fertilității acestuia;
- îmbunătățirea calității unor alimente (de exemplu, prin creșterea conținutului lor în antioxidanți).

Consecințe asupra ecosistemelor acvatice

- impact negativ asupra bacterioplanctonului (în special asupra cianobacteriilor cu rol în fixarea azotului), fitoplanctonului și macroalgelor (importanți producători de biomasă în ecosistem);
- impact negativ asupra zooplanctonului, amfibienilor, peștilor și coralilor.

Consecințe asupra ciclurilor biogeochimice

- creșterea emisiilor atmosferice de CO₂;
- modificarea emisiilor altor gaze atmosferice (metan, monoxid de carbon, oxizi de azot și de sulf, compuși halogenați, aerosoli) și ale unor elemente minerale (mercur, cupru).

Consecințe asupra compoziției aerului troposferic

- creșterea concentrației ozonului troposferic, a radicalilor hidroxil (-HO) și a aerosolilor formați prin reacții inițiate de radiațiile UV.

Consecințe asupra materialelor de construcție

- reducerea duratei de folosire a materialelor pe bază de polimeri sintetici și pe bază de lemn, ca urmare a modificării proprietăților lor mecanice. Materialele compozite (din ce în ce mai utilizate) par să aibă o mai mare stabilitate sub acțiunea radiațiilor UV comparativ cu materialele convenționale.

EFFECTUL LOCAL DE ECRAN

Se întâlnește în zonele caracterizate printr-o accentuată poluare cu suspensii a atmosferei. Aceste suspensii produc difuzia radiației solare, generând răcirea locală a suprafeței terestre și încălzirea atmosferei. O astfel de situație s-a întâlnit la sfârșitul secolului trecut. În vara anului 1991, vulcanul Pinatubo din Filipine a erupt cu o forță teribilă, aruncând în aer circa 15 milioane de tone de cenușă și gaze (care au ajuns până în stratosferă). Norul de particule aflate în suspensie a dispersat și a absorbit radiația solară, generând un efect de răcire locală a Pământului. Pe parcursul celor doi ani care au urmat erupției, temperatura medie globală a fost mai mică decât valorile obișnuite cu $0,6^{\circ}\text{C}$ [44].

PRECIPITAȚIILE ACIDE

În mod normal, pH-ul acestor precipitații se situează în jurul valorii 5, riscul de lezare directă a organismului uman (prin arsuri chimice) fiind foarte mic.

Cea mai acidă ploaie consemnată vreodată a avut un $\text{pH}=1,4$ și a căzut în Wheeling (West Virginia), în SUA, la începutul anilor 1980 [12].

Alături de aspectele prezentate anterior, se impune menționat faptul că, pătrunzând în sol, aceste precipitații modifică pH-ul teluric, ceea ce poate perturba activitatea florei implicate în procesul de mineralizare. Totodată, ele cresc vulnerabilitatea culturilor agricole la acțiunea agenților fito-bacterieni și fito-parazitari.

EFFECTE ASUPRA FLOREI ȘI FAUNEI

Unele specii de plante (conifere, pomi fructiferi, viță de vie) și, respectiv, albinele sunt foarte sensibile la acțiunea poluanților atmosferici.

EFFECTE ASUPRA CONDIȚIILOR DE VIAȚĂ

Vizează disconfortul și limitarea posibilității de ventilare naturală a încăperilor, precum și corodarea metalelor de construcție, accelerarea fenomenului de îmbătrânire a maselor plastice și a obiectelor de cauciuc, degradarea vestigiilor istorice arhitecturale.