

MATEMATICA ȘI SCHIMBĂRILE CLIMATICE

Grija pentru planetă cu matematici superioare

XAVIER GIMÉNEZ FONT

Traducere de Mariana Stan

CUPRINS

Capitolul 0

De la industrializare la protocolul de la Kyoto	7
---	---

Capitolul 1

Atmosfera, mult mai mult decât un strat de aer	17
Formula barometrică	22
Compoziția atmosferei	25

Capitolul 2

Radiația și atmosfera	29
Sursele de lumină, subtilități naturale	38
Foc!	38
Fluorescență și fosforescență	43
Lumea electromagnetică	45
Radiația electromagnetică	48
Tipurile de radiații și efectele lor	52
Ce este temperatura?	57

Capitolul 3

Problema stratului de ozon	67
Ozonul stratosferic	71
Chapman și modelul de producere și distrugere a ozonului	75
Distrugerea catalitică a ozonului	77
Radicali foarte radicali	79
Crutzen, Johnston și oxizii de azot, O incursiune în Concorde	81
Molina, Rowland și CFC	84
Nori stratosferici polari	87

Capitolul 4

Dioxidul de carbon și încălzirea globală	91
Experimentul nereușit al lui Van Helmont	93
CO ₂ ambiental	94
Efectul de seră și încălzirea globală	97
Ce se poate face împotriva încălzirii globale?	99
Calitatea mediului nostru înconjurător este mai bună, dar...	99
... mai avem de rezolvat încălzirea globală	100
Stocarea CO ₂	105
Ozonul se reface, încălzirea globală continuă	108
Stratul de ozon se reface	108
Încălzirea globală continuă	111

Capitolul 5

Integrarea matematicii cu științele	115
Discipline dificile: sunt sau le facem?	115
Problemele matematicii și ale științelor	117
Integrarea constructivă	119
A învăța pe alții să învețe	121

Anexă	123
--------------	-----

Bibliografie recomandată	139
---------------------------------	-----

Capitolul 0

De la industrializare la protocolul de la Kyoto

Mediul înconjurător a câștigat o importanță incontestabilă în ultimele decenii. Ceea ce era considerat un mediu omniprezent, imuabil și durabil, căruia nu i se acorda o atenție specială, este acum fragil și schimbător, pentru care este mai necesar ca oricând să ne îngrijorăm și să acționăm. Odată cu această schimbare de percepție au apărut, în primul rând, politicile de mediu și treptat și-au extins apoi prezența prin intermediul acțiunilor promovate de către diferite administrații publice. Aceasta reflectă atât o cunoaștere mai bună a situației, cât și o conștientizare progresivă a populației. Deși aceste două componente nu au mers întotdeauna împreună, adevărul este că progresul științific și rigoarea matematică au jucat un rol decisiv în abordarea problemelor referitoare la condițiile de mediu ale planetei.

Dacă cititorului mai tânăr i se va părea că problemele legate de mediu au fost de multă vreme în prim-plan, probabil că un cititor mai în vârstă își va aduce aminte că, de fapt, este o temă despre care a început să se vorbească relativ recent. În acest sens, sensibilizarea societății civile și a administrației publice cu privire la mediu a fost marcată de o serie de fapte cruciale care se impun a fi amintite.

Câteva dintre acestea au importante conexiuni cu lumea politică și economică, sectoare strâns legate de domeniul avut în vedere în aceste pagini. Într-un fel, această trecere în revistă constituie un rezumat al istoriei noastre mai recente din a doua jumătate a secolului al XX-lea.

1945. Explodează bomba Little Boy în Hiroshima, Japonia, lansată din bombardierul Enola Gay. Este vorba despre prima bombă atomică, realizată după mai bine de trei ani de muncă intensă – produs al proiectului Manhattan – și ca rezultat direct al experimentelor și studiilor matematice ale omului de știință italo-american Enrico Fermi asupra reacțiilor nucleare în lanț. Începe astfel era atomică, a cărei consecință asupra mediului constă, îndeosebi, în pericolul contaminării radioactive. Coincidența sa cu perioada Războiului Rece a influențat starea de spirit a societății din deceniile următoare, care s-a văzut angrenată într-o spirală de nesiguranță și teamă, ce a reușit să se tempereze doar după destrămarea Uniunii Sovietice, la începutul decadei 1990.

1956. Intră în funcțiune prima centrală nucleară din istorie, ridicată la Calder Hall, Regatul Unit, pentru a produce energie electrică. A fost vorba despre prima aplicație non-războinică a energiei nucleare, deși, după cum vom vedea mai departe, acest tip de instalații a produs singurele incidente trăite de contaminare radioactivă necontrolată.

1962. Apare romanul *Primăvara tăcută*, al cercetătoarei Rachel Carson. În acesta, autoarea a prezentat efectul pe care Diclor-Difenil-Triclorețanul (DDT), atât de folositor pentru combaterea dăunătorilor agricoli, îl produce asupra ouălor păsărilor, împiedicând reproducerea lor. Deși analiza științifică expusă în roman, bazată în principal pe corelații statistice, este în ultimă instanță eronată – cum au precizat pe bună dreptate destui autori –, impactul mondial provocat de publicație este considerat începutul atenției mass-mediei față de cauzele deteriorării mediului.

1973. Ca urmare a războiului arabo-israelian, de sărbătoarea Yom Kippur, tânăra OPEC (Organizația Țărilor Exportatoare de Petrol) hotărăște reducerea bruscă a producției de petrol. Crește rapid prețul țițeiului și se declanșează o criză economică de amploare mondială. Această situație este, după părerea multora, primul impuls important pentru dezvoltarea surselor alternative de energie.

1976. Se produce un accident cu urmări nocive într-o uzină chimică din Seveso (Italia). Explozia a eliberat în atmosferă dioxină (un produs secundar, necesar însă la fabricarea anumitor erbicide) și, chiar dacă nu au fost decese directe, a provocat efecte grave asupra femeilor însărcinate. Accidentul s-a produs din cauza căldurii degajate în timpul weekendului premergător evenimentului, de la o reacție care nu se opriase complet. Acest fapt a folosit ulterior pentru a stabili Directiva Seveso, care înăsprește reglementările de siguranță și control în instalațiile industriale.

1980. Este detectată pentru prima dată ploaia acidă, ceea ce explică degradarea pădurilor în Europa Centrală și în regiunea Marilor Lacuri din America de Nord. Cauzată de efectul combustibililor folosiți până atunci în centralele termice, descoperirea a impus revizuirea compoziției și tratării acestora, ceea ce a condus la eliminarea din conținut a sulfului, pentru evitarea prezenței sale în arderea cărbunelui și a petrolului.

1984. Unul dintre accidentele industriale cele mai grave, poate cel din care au rezultat cele mai importante repercusiuni de acest fel care s-au întâmplat până atunci, a avut loc în Bhopal (India), în 2 decembrie 1984. Ca urmare a incidentului, au fost eliberate în atmosferă aproximativ 40 de tone de izocianat de metil (necesar pentru fabricarea insecticidului Sevin, numele comercial al compusului chimic Carbaryl), împreună cu cantități mai mici din alți aproximativ douăzeci de compuși. Motivul a fost o scurgere de apă, din cauza stării proaste a conductelor și a supapelor, care a provocat o reacție chimică necontrolată. Norul toxic degajat a ucis 4000 de persoane, dar numărul total al celor care au suferit urmări mai mult sau mai puțin grave a fost de aproximativ jumătate de milion.

1985. În acest an se stabilește, datorită muncii a numeroși oameni de știință, dimensiunea găurii din stratul de ozon din Antarctica. Această gaură, a cărei imensă extindere a fost cauzată în principal de acțiunea compușilor organoclorurați care, până atunci, erau eliberați în atmosferă, a determinat în 1987 lansarea protocolului de la Montreal, directivă prin care se impunea înlocuirea acestor componente cu altele mai puțin dăunătoare. Din 1995 s-a constatat o încetinire a ritmului de creștere a găurii, care a început să se micșoreze din 2006. De fapt, se estimează că spre 2040 suprafața sa ar trebui să revină la valorile anterioare anului 1980, adică la specificul ciclului natural de producere și distrugere a stratului de ozon.

1986. Are loc dezastrul nuclear de la centrala din Cernobîl, Ucraina (pe atunci o republică a URSS). Deficiențele în proiectarea centralei, precum și lipsa unui control exhaustiv al funcționării sale, au provocat explozia unuia dintre cele patru reactoare, care a eliberat în atmosferă o cantitate semnificativă de radiații, într-atât încât regiunea este încă nelocuibilă și astăzi.

1987. Este semnat Protocolul de la Montreal, care interzice utilizarea așa-numitelor „clorofluorocarburi” (CFC) ca agenți frigorifici și propulsori în aerosoli. Studiile științifice, realizate printr-o combinație sofisticată de experimente și modele matematice – bazate pe calcule de matematici superioare –, au permis să se demonstreze fără echivoc efectele lor dăunătoare în distrugerea stratului de ozon. Protocolul prevedea, de asemenea, înlocuirea compușilor CFC cu așa-numitele „hidrofluorocarburi” (HFC), a căror structură chimică le face inofensive pentru ozon.

1991. Are loc cea mai mare deversare de petrol din istorie. Circa 800 000 de tone de petrol au fost arse în Kuweit, ca urmare a unei acțiuni a soldaților irakieni, la sfârșitul Primului Război din Golf. Luni la rând, aerul pe care l-au respirat locuitorii din regiune conținea o concentrație ridicată de particule nocive, ca urmare a acestui fapt. În plus, s-a redus considerabil gradul de însorire al suprafeței pământului în regiune.

1991. Se produce erupția vulcanului Pinatubo, în insula Luzon (Filipine). A avut o asemenea intensitate, încât cenușa expulzată în atmosferă a provocat o diminuare a cantității de radiații solare captate la suprafața Pământului. Anul următor, 1992, a fost unul dintre cei mai reci de când există înregistrări de temperatură.

1992. Summitul Pământului are loc la Rio de Janeiro (Brazilia). La întâlnire s-a propus adoptarea așa-numitei Agenda 21, un protocol de acțiuni menite a face din lume un loc durabil din punct de vedere ecologic. În anii următori, diferite administrații publice au adoptat-o.

1997. Se aprobă Protocolul de la Kyoto privind schimbările climatice în orașul omonim din Japonia, cu toate că nu a devenit operațional până în 2005, după ce a fost ratificat de către Rusia și Canada. Tratatul a stabilit cote de emisii pentru dioxidul de carbon, principalul gaz cu efect de seră, în funcție de mărimea și nivelul de industrializare ale fiecărei țări. S-a avut în vedere, de asemenea, posibilitatea de a schimba prin compensații economice părți din cota atribuită, cu scopul de a recompensa țările cele mai active în reducerea emisiilor. Protocolul a marcat începutul luptei definitive împotriva poluării mediului și a schimbărilor climatice provocate de către om. La aceasta a contribuit hotărâtor cunoașterea amănunțită a mecanismelor încălzirii globale, pentru care studiile avansate de matematică s-au dovedit decisive. În acest sens, numai datorită cunoștințelor generate de modele matematice riguroase s-a clarificat **modul în care materia și radiația fac schimb de energie** și cum se cuantifică acest schimb, s-a putut stabili rolul acumulării de dioxid de carbon, de metan sau de oxizi de azot, printre alte gaze, în încălzirea atmosferei.

1998. Se aprobă înlocuirea progresivă a plumbului tetraetilic, un compus adăugat carburanților pentru a reduce capacitatea lor explozivă, cu alte substanțe fără metale grele, cu scopul de a evita eliberarea continuă a acestor elemente nocive în atmosferă, precum și acumularea lor în țesuturile ființelor vii.

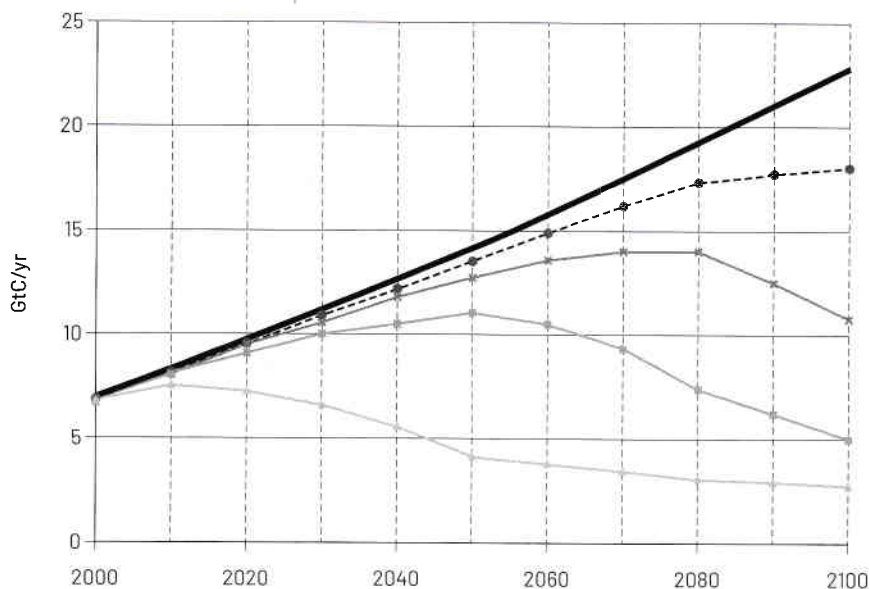


Figura 1. Graficul prezintă emisiile de CO₂, înregistrate și prevăzute pentru perioada 2000–2100, produse prin arderea combustibililor fosili, precum și prin alte acțiuni umane, pe baza unor modele matematice elaborate de către Joint Global Change Research Institute. Linia continuă corespunde unui scenariu de referință în care se presupune un viitor fără nicio măsură pentru combaterea poluării, în timp ce restul liniilor corespund unor situații în care se fac diverse eforturi îndreptate către reducerea emisiilor.

2000. Se începe instalarea modelelor actuale de mori de vânt, turbinele eoliene, care transformă energia vântului în electricitate într-un mod foarte eficient. În ciuda plângerilor celor care invocă imixtiunea peisagistică și efectele negative asupra păsărilor, această sursă de energie a deschis adevărata cale către producerea durabilă a energiei electrice. În prezent (2019), energia eoliană reprezintă 14% (în 2013 era 7%) din totalul produs în Europa. Programul viitoarelor instalații este foarte ambițios și a fost finanțat până acum cu sume substanțiale de bani; merită subliniat că 46% din instalațiile

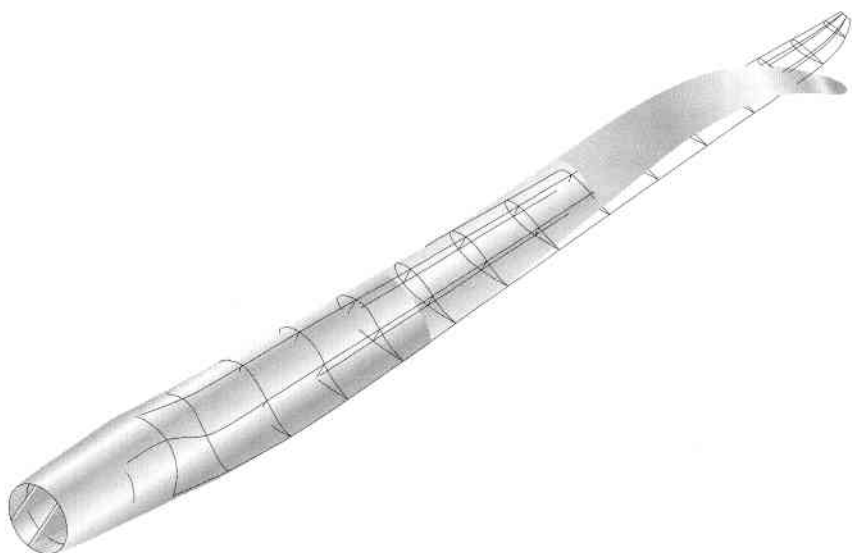


Figura 2. O imagine a simulării - prin intermediul dinamicii computerizate a fluidelor (CFD după sigla în engleză) - a paletei unei turbine eoliene moderne. Aceste simulări, bazate pe rezolvarea de sisteme de ecuații diferențiale, permit reducerea costurilor și scurtarea timpilor de dezvoltare. Facilitează proiectări grafice mai puternice și mai eficiente a unor profiluri de palete care captează mai multă energie din mișcarea aerului și la un cost mai redus. În prezent, proiectele moderne permit obținerea paletelor de 110 metri lungime, capabile să furnizeze o putere de 12 MW. Aceasta înseamnă că, la ora actuală, există dispozitive care generează energie electrică în cel mai economic mod, așa încât nu doar că rezolvă problema poluării și a lipsei de sustenabilitate, ci reprezintă și o importantă formă de economisire.

noi de producere a energiei sunt de acest tip, cifră care se așteaptă să crească într-un viitor apropiat.

2002. Se pune în vânzare primul model de automobil bazat pe tehnologia hibridă, Toyota Prius, care combină un motor cu ardere internă cu unul electric. Marele avantaj este că face economie, mai ales când motoarele cu combustibili convenționali consumă mai mult: pe traseele din oraș vehiculul este expus la mai multe opriri și porniri. Versiunile mai recente, cele cunoscute sub denumirea *plug-in*, care

pot reîncărca bateria de la rețeaua electrică, au reușit să scadă consumul la sub 2 litri la suta de kilometri, cifră de neconceput în urmă cu doar douăzeci de ani.

2011. În Japonia are loc un cutremur, urmat de un tsunami care a afectat grav centrala nucleară de la Fukushima. Una dintre cele patru clădiri ale reactoarelor a explodat din cauza suprapresiunii acumulate și au fost eliberate cantități semnificative de radiații foarte periculoase. A fost necesară evacuarea a 150 000 de locuitori din zonă. La câteva luni după dezastru, a fost detectată în Oceanul Pacific – între Japonia și țărmul Canadei – o pată de reziduuri de mari dimensiuni târâtă de tsunami. Alcătuită din resturi de clădiri, bărci, gunoaie etc., insula plutitoare s-a deplasat împinsă de curenții marini până când, câteva luni mai târziu, a ajuns pe coasta Americii de Nord.

2012. Este primul an în care instalațiile de energie fotovoltaică reprezintă prima sursă din Europa, în ceea ce privește puterea instalată, fapt remarcabil și de neimaginat cu doar 5 ani înainte. Optimizarea tehnologică, reducerea costurilor, precum și programele de subvenționare au făcut posibilă dezvoltarea unei tehnologii care, în utilizarea sa zilnică, este curată în totalitate (nu este la fel, deocamdată, procesul de fabricație a panourilor).

2015. La sfârșitul lunii septembrie 2015, producătorul de automobile Volkswagen AG – cuprinzând 12 mărci, aproape 600 000 de angajați și 112 fabrici răspândite în întreaga lume – a recunoscut că aproximativ 11 milioane din mașinile sale, vândute între 2008 și 2014, depășeau limitele de emisie admise ale unuia dintre gazele poluante, din familia oxizilor de azot. Înșelăciunea a constat în proiectarea și instalarea mai multor versiuni ale unui software sofisticat care detecta momentul în care vehiculul era supus unui test de emisii auto. Software-ul modifica regimul de injecție pentru a emite mai puțini poluanți, mașina încadrându-se astfel în normele oficiale. După test, motorul funcționa din nou așa cum a fost proiectat, adică emițând o cantitate destul de mare de gaze nocive peste

nivelul permis. Pe de altă parte, fraudă s-a adăugat unui alt dezavantaj al motoarelor diesel: emisiile ridicate de particule solide. Mai multe studii medicale recente au arătat că aceste particule favorizează apariția diverselor afecțiuni grave, cum ar fi infarctul și alte probleme cardiovasculare. Toate acestea au însemnat, concret, un nou impuls în dezvoltarea mașinii electrice, bazate pe baterii cu ioni de litiu, ale căror cifre de vânzări cresc exponențial.

2017. Microplasticele, termen inventat în 2004 de profesorul Richard Thomson, de la Universitatea din Plymouth, Anglia, ajung în centrul atenției mediatice. Acestea se găsesc în jurul nostru și sunt generate de majoritatea activităților desfășurate de om (în medie până la 60 de fibre pe metru cub). În oricare caz, această formă de contaminare, cunoscută de zeci de ani, se regăsește în toate ecosistemele, în special în cele marine, unde, din păcate, durează mii de ani până când se degradează. În plus, se pot acumula în cantități mari în organismele vii, așadar este vorba despre o problemă care privește întreaga umanitate. Cu toate acestea, nu se cunoaște în detaliu cum circulă microplasticele în mediul înconjurător, astfel încât nu s-a găsit încă o soluție efectivă la această problemă stringentă.

În ciuda conciziei sale, lista de mai sus ilustrează cele mai importante evenimente în degradarea mediului, începând cu jumătatea secolului trecut. Deși s-a pus în evidență existența unor fenomene naturale pe care oamenii nu le pot controla, cum ar fi catastrofele naturale, este de remarcat capacitatea de manipulare a ființei umane care precede întotdeauna înțelegerea completă a faptelor. Tocmai de aceea, multe realizări tehnologice generează consecințe cu enormă semnificație *a posteriori*: poluarea planetei sau schimbările climatice cauzate de acțiunea umană sunt cele mai emblematice manifestări în acest sens. Prin urmare, în viitor trebuie să prevaleze un proces decizional rațional, bazat pe cunoașterea științifică în general și pe matematică în particular. Interpretarea corectă, grație științei, a fenomenelor naturale și a proceselor tehnologice oferă detalii despre relațiile dintre cauză și

efect în domeniul mediului, în timp ce matematica permite stabilirea relațiilor cantitative între mărimile cauzatoare și proprietățile care facilitează măsurarea consecințelor. Astfel, ființa umană a trasat și a parcurs un drum constant de progres și, în evoluția sa, are posibilitatea – și trebuie – să corecteze dezechilibrele de mediu care se ivesc pe acest parcurs.