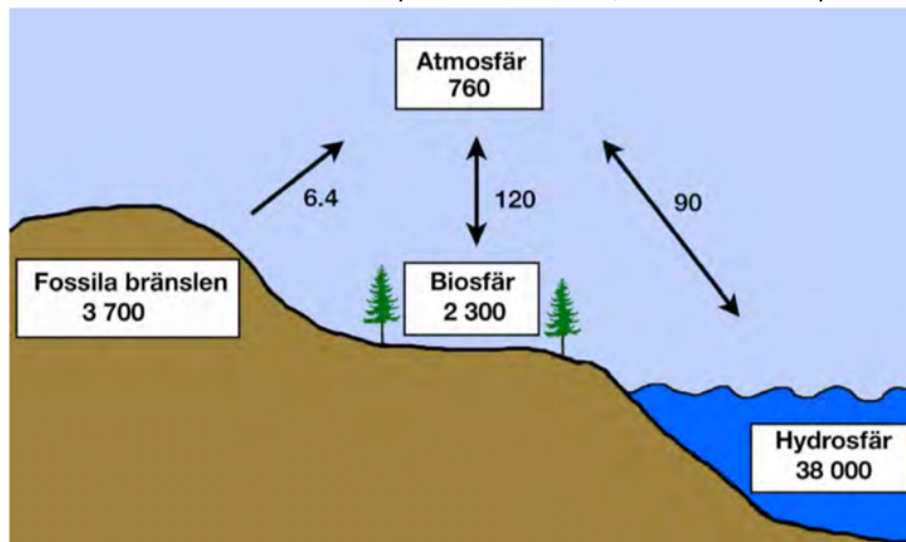


Den förbisedda logaritmiken

Den temperaturökning som orsakas av ökad koncentration av koldioxid i atmosfären är proportionell mot *logaritmen* för koncentrationsförändringen. Detta innebär att en fördubbling av koldioxidhalten från 200 miljondelar (ppm) till 400 ppm skulle ge samma temperaturökning som en fördubbling från 400 ppm till 800 ppm. Detta logaritmiska samband var känt redan av Svante Arrhenius, professor i kemi vid Uppsala universitet, vid sekelskiftet 1800/1900. 1896 publicerade han en studie av koldioxidens påverkan på temperaturen i atmosfären. Han fann att en fördubbling av koldioxidhalten skulle ge en temperaturökning på ungefär 5 grader Celsius. Efter det att hans professorskollega vid Universitetet, Anders Ångström, några år senare, hade gjort spektroskopiska mätningar på koldioxidmolekylen, ändrade han sig, och i en uppföljande publikation 1906 skriver han [översatt från tyska]: *Jag beräknar att en reduktion av halten CO₂ med hälften, eller en fördubbling, skulle orsaka en temperaturförändring på -1,5°C, respektive +1,6 °C. I dessa beräkningar, har jag fullständigt bortsett från närvaro av vattenånga i atmosfären.* Genom att varm luft kan bära mer fuktighet, kan man få en sekundär effekt genom ökad halt av vattenånga, som också är en växthusgas. Detta kan ge en positiv återkoppling genom en ökad växthuseffekt eller en negativ återkoppling genom att vita moln förhindrar solinstrålning. Detaljerna i dessa effekter är fortfarande, till stor del, okända. Arrhenius skriver beträffande sekundära effekter: *Beräkningar visar att en fördubbling av mängden vattenånga skulle motsvara en temperaturökning i medeltal på 4,2 °C.* Arrhenius anger i artikeln att Anders Ångström bedömde att uppvärmningseffekterna var så ogrundade att det knappast var befogat att undersöka saken ytterligare. Arrhenius värden har emellertid stått sig till våra dagar som ett värde på uppvärmningen orsakad av koldioxiden. IPCC, FN:s klimatkommitté, har enbart tagit fasta på den *positiva* återkopplingen och anger 1,5 – 4,5 °C, i god överensstämmelse med Arrhenius, som intervall för *klimatkänsligheten* med hänsyn tagen till sekundära effekter.

Koldioxiden befinner sig i ett ständigt kretslopp. Enligt IPCC 2007 (nedanstående Figur) finns väsentligen tre reservoarer av koldioxid i kolcykeln: Atmosfären, Biosfären och Hydrosfären:

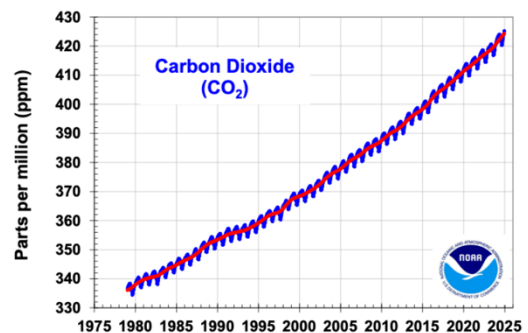
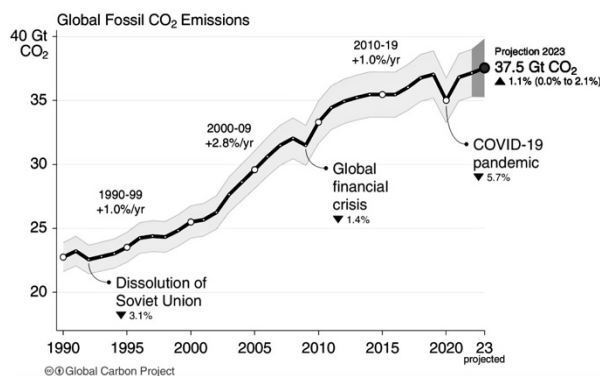


Dessutom finns en källa av fossila bränslen, som vid förbränning tillför koldioxid till systemet. Vi noterar att hydrosfären och biosfären tillsammans lagrar mer än 50 gånger mer kol än atmosfären. Det kol som finns i atmosfären, 760 GtC (Gigaton kolekvivalenter), motsvarar cirka 358 ppm (miljondelar) koldioxid. Av dessa 760 GtC (358 ppm) utgör cirka 9 GtC (4,3 ppm), d.v.s. cirka 1 %, koldioxid av fossilt ursprung. Som representativt för jämviktsförhållanden anger IPCC, att reservoarnas förhållande skulle vara 1:4:64. Detta är det förhållande som antas ha rått före den industriella expansionen. Systemet kommer att sträva mot detta jämviktsförhållande, det vill säga att, vid obalans, ungefär 1,6 procent (1/64) av tillförd koldioxid kommer varaktigt att tillföras atmosfären och 98,4 procent (63/64) kommer att succesivt tillföras haven tills det att jämvikt har etablerats.

Om vi gör det orealistiska antagandet att människorna förbränner alla kända fossilreserver, 3700 GtC. Då kommer således 1,6 % eller 58 GtC (27 ppm) att varaktigt ha tillförts atmosfären då jämvikt åter har etablerats. Beträffande inverkan på temperaturen blir ökningen av befintliga 760 GtC med 58 GtC (27 ppm) i atmosfären en temperaturökning, på 0,16 °C, ($\Delta T = 1,5 \cdot \log((760+58)/760)$), eller 0,48 °C ($\Delta T = 4,5 \cdot \log((760+58)/760)$) beroende på om vi tillämpar IPCC:s lägre eller högre extremvärde på klimatkänsligheten. Atmosfären är, med andra ord, "mättad" på koldioxid med avseende på dess förmåga att väsentligt påverka klimatet.

Vårt räkneexempel avser varaktiga värden efter det att jämvikt i systemet infunnit sig. Detta sker emellertid inte omedelbart utan efter en viss uppehållstid. Tiden för återgång till jämviktsläge är under debatt i vetenskapssamhället. En experimentell uppfattning av uppehållstiden kan emellertid fås genom att mäta avklingningstiden för de radioaktiva kolmolekyler som injicerades i samband med de atomvapenprov som genomfördes i atmosfären på nittonhundratalet. Ett ungefärligt värde är tio år. Under avklingningstiden fås, temporärt, högre koncentrationer än efter jämvikt. (Ett extremvärde på detta fås, till exempel, om vi antar att alla kända fossilreserver förbränns vid ett tillfälle och att all genererad koldioxid direkt deponeras i atmosfären. Vi skulle då, med samma beräkningsprinciper som ovan, med en klimatkänslighet på 1,5 °C, få en temperaturökning under fyra grader). Efter en avklingning under några decennier, skulle koldioxidökningen i atmosfären ha avklingat till 27 ppm, som lagts till den totala tätheten på cirka 425 ppm, och ge en marginell temperaturhöjning, enligt resonemanget ovan.

Förbränning av fossila bränslen är en av flera processer som påverkar atmosfärens koldioxidhalt. Exempel på andra processer är vulkanutbrott, fotosyntesen, djurs och människors andning, varierande pH eller temperatur i haven. Variationer av mänskliga utsläpp av koldioxid har ingen tydlig, omedelbar, inverkan på atmosfärens innehåll av koldioxid, vilket framgår av nedanstående diagram.



För sextioårsintervallet från 1960 till 2020, har de årliga koldioxidutsläppen fyrfaldigats från 9 till 37 GtC (motsvarande cirka 4 till 17 ppm i atmosfären) medan koldioxidökningen i atmosfären, under samma period, bara har ökat från cirka 2 GtC (1 ppm) till drygt 4 GtC (2 ppm) per år (framgår ej direkt av diagrammen ovan). Det är dock tydligt i diagrammen ovan, att de utsläppsminskningar som hör ihop med konjunkturedgångarna i världens ekonomi inte på ett omedelbart sätt återspeglas i koldioxidhalten i atmosfären. Så har till exempel inte varit fallet vid någon av de globala konjunkturedgångarna 1991-1992, 2008-2009 och 2019-2020. Inte ens den sistnämnda nedgången, en minskning med två miljarder ton koldioxid från 2019 till 2020, gav någon synbar effekt ifråga om koldioxidökningen i atmosfären.

Våra slutsatser blir således att:

- Atmosfären är "mättad" på koldioxid med avseende på dess förmåga att väsentligt påverka klimatet.
- Något annat än mänskligt genererade koldioxidutsläpp styr ökningen av atmosfärens koldioxidinnehåll.