

Frequently Asked Questions

Till FN klimatpanel IPCCs rapport AR5 finns i de olika kapitlen av rapporten vanligt ställda frågor som rör innehållet. För att förenkla och förklara svaren som ges på dessa frågor så har vi här samlat dem, översatt dem och försökt att använda ett enkelt språk utan att förlora meningen i svaret, utan att ännu mer beskrivande förklara innehållet.

1.1

Om förståelsen och kunskapen om klimatsystemet har ökat, varför har inte osäkerheten minskat?

2.1

Hur vet vi att klimatet på Jorden blir varmare?

2.2

Har det varit några förändringar i extrema klimat?

3.1

Värms haven upp?

3.2

Hur hänger försurning av haven och klimatförändringar ihop?

3.3

Finns det bevis för förändringar i Jordens vattencykel?

4.1

Försvinner glaciärer i bergsområden?

4.2

Hur förändras havsisen i Arktis och Antarktis?

5.1

Är solen en viktig drivkraft för klimatförändring?

5.2

Hur ovanlig är havsytans stigande nivåer?

6.1

Vad händer med koldioxid när det släppts ut i atmosfären?

6.2

Kan hastiga utsläpp av metan och koldioxid från smältande permafrost och från värmande hav kraftigt påskynda global uppvärmning?

7.1

Hur påverkar moln klimatet och klimatförändringarna?

7.2

Hur påverkar aerosoler klimatet och klimatförändringarna?

7.3

Kan geoteknik motverka klimatförändringar och vilka risker finns det?

8.1

Hur viktigt är vattenånga för klimatförändringar?

8.2

Har förbättringar av luftkvaliteten effekter på klimatförändringen?

9.1

Blir klimatmodellerna bättre, och hur vet vi det?

10.1

Klimatet förändras ständigt. Hur vet vi de viktigaste orsakerna till de observerade klimatförändringarna?

10.2

När kommer vi att se hur den mänskliga påverkan på klimatet verkar lokalt?

11.1

Om man inte kan förutsäga vädret nästa månad, hur kan man då förutsäga klimatet närmaste tio åren?

11.2

Hur påverkar vulkaner klimatet och vår förmåga att förutsäga klimat?

12.1

Varför används så många klimatmodeller och scenarior för att förutsäga framtida klimat?

12.2

Hur kommer Jordens vattencykel att förändras?

12.3

Vad skulle hända med det framtida klimatet om vi slutade släppa ut växthusgaser idag?

13.1

Varför skiljer sig lokalt vattenstånd i havet från globala värden?

13.2

Kommer smältning av is i Arktis och Antarktis att bidra till ökat vattenstånd i haven under detta århundrade?

14.1

Hur beror regionala och globala klimatförändringar av varandra?

14.2

Hur påverkar klimatförändringar monsunerna?

Svar på frågorna:

1.1. Om förståelsen och kunskapen om klimatsystemet har ökat, varför har inte osäkerheten minskat?

Osäkerheten kring förväntade framtida klimatförändringar beror på:

- Naturliga variationer i klimatet
- Utsläppen av växthusgaser och aerosolpartiklar (till exempel sot)
- Klimatets påverkan av dessa utsläpp

Den första punkten, naturliga variationer i klimatet är mycket svårt att minska osäkerheten kring eftersom klimatsystemet bygger på kaotiska förutsättningar. Osäkerheten kring utsläppen beror till stor grad på de beslut som människor och beslutsfattare tar. Det handlar om aktiva val för att minska utsläppen av växthusgaser. Hur detta ska gå till är upp till oss att bestämma. Osäkerheten beror på hur världens länder förhåller sig till globala och lokala utsläpp. En social och ekonomisk utveckling för inte bara med sig högre levnadsstandard men också större utsläpp av växthusgaser och aerosolpartiklar om fossila bränslen är källan till energi.

Bättre förståelse av de processer som påverkar klimatet minskar osäkerheten i framtida förväntade klimatförändringar, men det är en vetenskaplig utveckling som tar relativt lång tid. Vi kommer att få leva med att det är svårt att helt säkert bestämma framtida klimat, särskilt inom mindre delar av Jorden (regionalt).

Klimatvetenskap har på många sätt utvecklats sedan förra klimatrapporten (AR4). Mätningar och analyser av is, atmosfären, land och hav har förbättrats och klimatmodellerna har förbättrats på det sätt de beskriver moln och aerosoler, havsis och småskaliga processer så som luft- och havscirkulation. Det återstår däremot fortfarande osäkerhet på olika skalor, till exempel global respektive lokal skala på samma sätt tidsskalor mellan århundraden respektive årliga eller ännu kortare tid. Det är viktigt att vara medveten om dessa osäkerheter för att kunna fatta viktiga beslut.

I och med att klimatmodeller utvecklas kan man hantera fler och fler processer som bidrar till förståelsen för hur klimatsystemet fungerar. Man kan tänka sig två typer av förbättringar:

- Dåligt beskrivna processer förbättras
- Okända processer upptäcks och tas med i beskrivningen i klimatmodeller

Osäkerheten kring moln och aerosoler har till exempel varit stor därför att förståelsen kring hur aerosoler påverkar energibalansen på Jorden och vilka processer som påverkar molnbildning har varit låg. De är dåligt beskrivna eftersom vi saknar tillräckliga mätningar, analyser och modeller. Exempel på okända processer är till exempel djuphavets temperatur eller istäcket på Antarktis flöde.

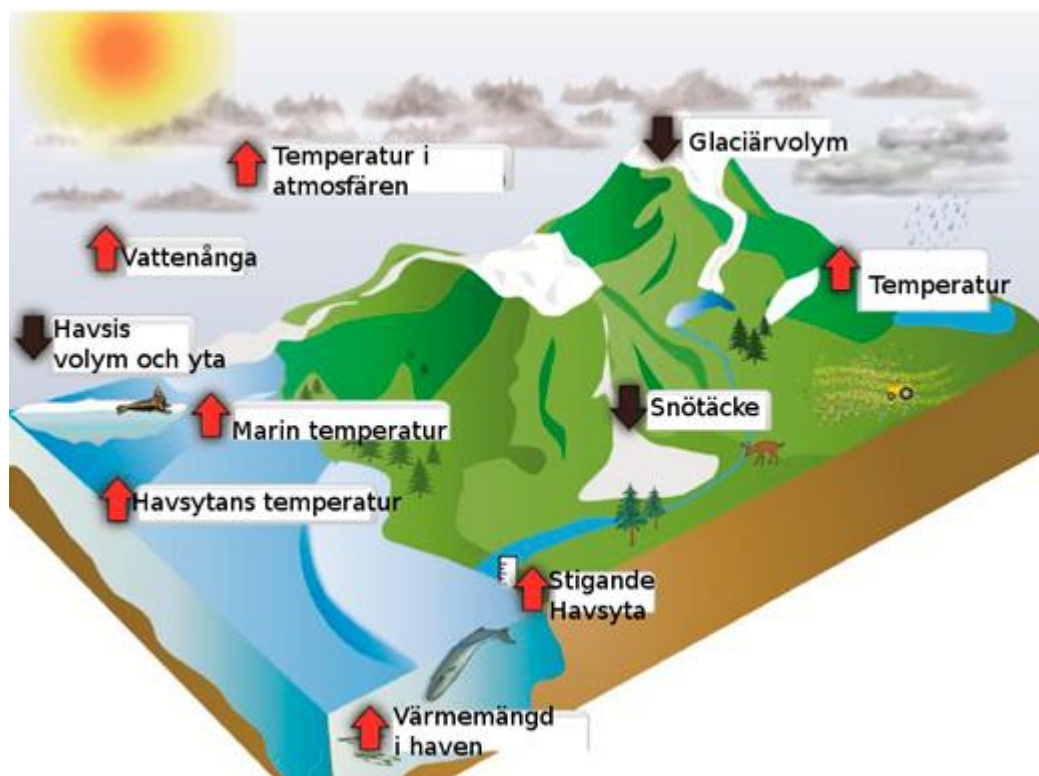
"Brus" från naturliga variationer så som kraftiga vulkanutbrott, solinstrålningscykler och väderfenomen så som El Niño och La Niña kommer alltid att förekomma, men "signalen" från en mänsklig påverkan på klimatsystemet kan ändå utskiljas.

Genom att ta medelvärden under tioårsperioder kan osäkerheter minskas, särskilt på global nivå. FNs klimatpanel IPCC har som mål att vara ett underlag för framtida politiska och personliga beslut och för att underlätta dessa så ger AR5 ett antal olika så kallade scenarios som visar hur olika nivåer av utsläpp av växthusgaser och aerosolpartiklar påverkar klimatet i framtiden.

2.1 Hur vet vi att klimatet på Jorden blir varmare?

Bevis för att Jorden har värmts upp kommer från flera oberoende så kallade indikatorer, allt från övre delarna av atmosfären, landytan, havsytan och ned i djuphavet. Glaciärernas utbredning, liksom snölager och havsisens utbredning har mätts upp på olika sätt, inklusive satellitmätningar. Vetenskapsmän från olika delar av världen har oberoende av varandra bekräftat dessa mätningar många gånger. Att världen värms upp är otvivelaktigt.

De som har invändningar mot att världen värms upp refererar ofta till mätfel hos väderstationer. Dessa mätningar är visserligen viktiga, men de är bara en liten del i ett stort samband. För att se hur några av de indikatorer som har observerats förändrats se bilden:



Den bäst kända indikatorn på global uppvärmning är genomsnittlig temperatur vid land- och havsytan. Även om inte varje år eller ens varje årionde har blivit varmare än tidigare så har temperaturerna ökat betydligt sedan år 1900. Värmen sprids både uppåt genom troposfären (nedersta skiktet av atmosfären) och nedåt i haven. Väderballonger och satelliter bekräftar att så är fallet. Värmemängden i haven har observerats sedan mitten på 1900-talet och det har också bekräftats ha ökat. Värmen i haven orsakar att vattenmängden tar större plats, vilket leder till att havsytan stiger. Smältning av glaciärer och havsis bidrar också till stigande havsyta.

Eftersom en varmare atmosfär kan hålla större mängd vattenånga så betyder det att det blir fuktigare och detta har observerats över både land och hav. Dessa indikationer pekar otvivelaktigt på att världen har blivit varmare.

2.2 Har det varit några förändringar i extrema klimat?

Det finns starka bevis för att statistiskt sett extrema klimat har blivit vanligare, särskilt temperaturminimum och kraftiga skyfall. Orkaner däremot kan inte med särskild säkerhet bestämmas om de blivit fler eller kraftigare.

Vad är ett extremt väder eller klimat? Det är svårt att exakt bestämma när en extrem förändring i klimatet eller vädret har ägt rum. En extremt varm temperatur i Sverige skulle inte vara extrem i Saharaöknen. Temperaturmätningar, som i Europa går tillbaka till 1500-talet har visat att det senaste årtiondet har haft värmeperioder som överträffar alla tidigare rekord.

Se bilden nedan för att få en överblick hur olika extrema klimat har förändrats globalt och regionalt.



3.1 Värms haven upp?

Ja, haven värms upp, men inte överallt samtidigt och inte lika mycket hela tiden. Bäst bevis för uppvärmningen får man om man tittar på medelvärden av tiotal år över större ytor.

Sedan 1970 har man kunnat mäta ytvatten och sedan 1990 även djuphavets vatten och sedan dess kan man märka av en uppvärmning, däremot kan temperaturerna variera på grund av havsströmmarnas riktning och styrka och tid på året. Även om osäkerheten i mätningarna har minskat tydligt efter år 2004 så kan man förlita sig på mätningar efter år 1970.

I de översta 60 metrarna i havet har uppvärmningen varit cirka 0,1 grad per tioårsperiod sedan 1970. För upp till 200 meters djup så är uppvärmningen mindre, cirka 0,04 grader per tioårsperiod och djupare än 200 meter är uppvärmningen cirka 0,02 grader per tioårsperiod. Det kan tyckas vara lite, men man får då tänka på att en mindre uppvärmning av vatten motsvarar en större mängd värme (ungefär 1000 gånger mer) än i atmosfären som lagras. Av all energi som lagrats av den globala uppvärmningen så svarar haven för nio tiondelar för perioden 1970–2010. På grund av trögheten hos haven att anpassa temperaturjämvikt med omgivningen så kan djuphavet fortsätta att värmas under hundratals till tusentals år. Denna uppvärmning gör också att vattnet tar större plats och därför förväntas havsytan stiga under flera hundra år.

3.2 Hur hänger försurning av haven och klimatförändringar ihop?

Både klimatförändringar och försurning av haven beror på ökade utsläpp av koldioxid till atmosfären. Ökad koncentration av koldioxid och andra växthusgaser leder till att stänga in värme och värma land- och havsytan. Försurning av haven är direkt beroende av ökade utsläpp av koldioxid eftersom haven tar upp koldioxid och omvandlar det till kolsyra och bikarbonat.

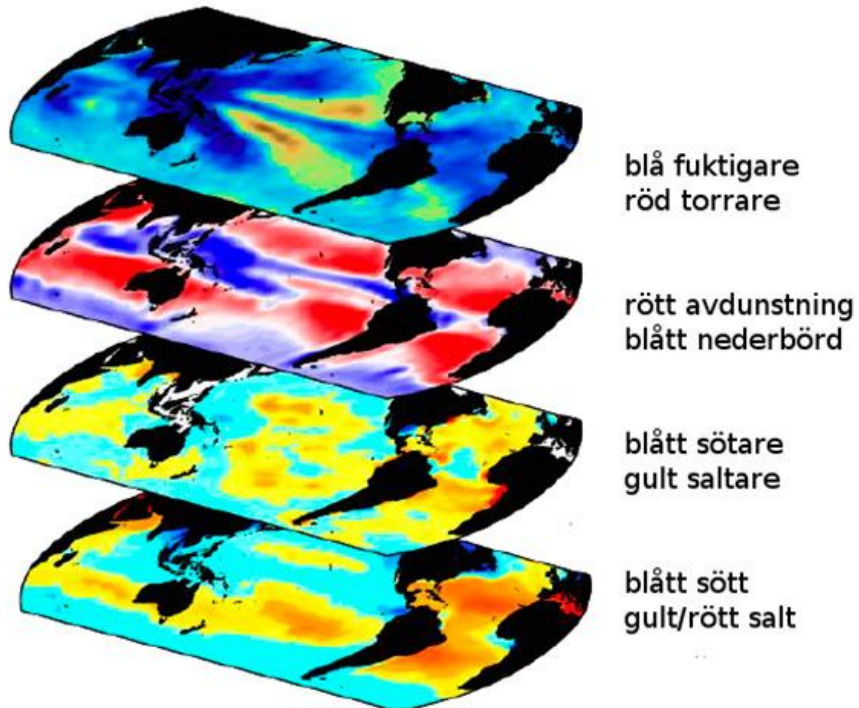
Försurningen innebär en sänkning av pH-värdet i haven, men det förväntas inte bli surt ($\text{pH} < 7$). Däremot är ekosystemen i haven känsliga för förändringar i pH.

En uppvärmning av världshaven minskar förmågan att ta upp koldioxid ur atmosfären och bidrar därför indirekt till fortsatt global uppvärmning samtidigt som haven försuras.

3.3 Finns det bevis för förändringar i Jordens vattencykel?

Förändringar i luftfuktigheten på grund av avdunstning och nederbörd visar redan på förändringar i Jordens vattencykel. Även mätningar av förändringar av havens salthalt tyder på detta. Varmare klimat betyder att luften kan hålla mer fuktighet, cirka 7% mer per grad uppvärmd.

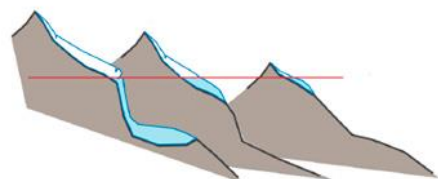
Mätningar av havens salthalt under 50 års tid har visat att hav i subtropiska områden så som Medelhavet blir saltare på grund av avdunstning, medan polnära områden och tropiska områden har fått sötare vatten på grund av ökad nederbörd.



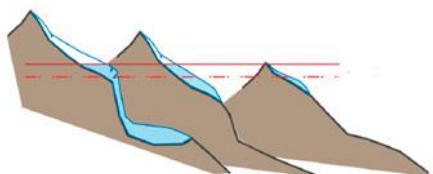
4.1 Försvinner glaciärer i bergsområden?

I många av världens bergskedjor har glaciärer försvunnit som ett resultat av den globala uppvärmningen. I Schweiziska och Österrikiska alperna, i Pyrenéerna, i Norge, USA, Tibetplatån, i Indonesien och i Bolivia har försvinnande glaciärer rapporterats. Om den globala uppvärmningen fortsätter under 2000-talet kommer många fler glaciärer att försvinna. Vissa bergskedjor kan förlora alla sina glaciärer.

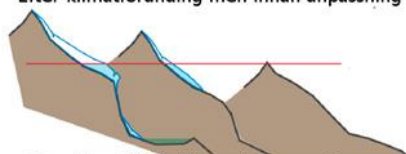
I alla bergskedjor där det finns glaciärer idag har volymen is minskat tydligt under de senaste 150 åren. Många små glaciärer har under den tiden helt försvunnit. Mätningar och satellitmätningar visar att minskningen av glaciärer var större under de två senaste årtiondena än tidigare. Dessa mätningar är säkra bevis för det. Även om den globala uppvärmningen helt hade slutat, så skulle glaciärer fortsätta att smälta eftersom det tar flera årtionden för glaciärer att anpassa sig och uppnå jämvikt vid förändringar i klimatet. Beroende på flera olika saker, som till exempel storlek, yta och lutning så kan olika glaciärer utvecklas då temperaturen stiger. Området där snö faller och bygger upp glaciären minskar och smältområdet på glaciären ökar så att glaciären drar sig tillbaka och kan i vissa fall lämna en sjö efter sig.



Före klimatförändring



Efter klimatförändring men innan anpassning



Efter klimatförändring och anpassning

4.2 Hur förändras havsisen i Arktis och Antarktis?

Havsisen i Arktis och i norra Ishavet är olik den i Antarktis och de två olika områdena visar därför olika utveckling under de senaste 32 åren. Utbredningen av havsis i Arktis har visat en minskning på cirka 3,9% per årtionde, medan Antarktis visar en ökning på 1,4% per årtionde.

Satellitmätningar har kunnat visa att havsisen i Arktis har minskat med mer än 12% per årtionde sedan 1979 under sensommaren (slutet på september). Även tjockleken och volymen på isen har mätts med bland annat ubåtar och visat sig minska. Det beror till stor del på att isen som bildas under flera år har minskat med 40% sedan 1999. Denna typ av flerårig is kan växa sig tjockare än 2 meter och den återbildas långsamt.

Havsisen i Antarktis är inte skyddad av omkringliggande land som i Arktis. Därför är havsisen i Antarktis oftast årlig och med en genomsnittlig tjocklek på 1 meter under maximal utbredning i september. Snöfall är viktig för bildningen av havsis och nybildning av is i Antarktis och ökad nederbörd i form av snö som en följd av klimatförändringar är därför viktiga att studera. Svårigheterna att göra noggranna och regelbundna mätningar i den ogästvänliga (extremt kalla och blåsig) miljön på Antarktis har försvårat arbetet med att kartlägga de förändringar som sker i havsisens utbredning och tjocklek.

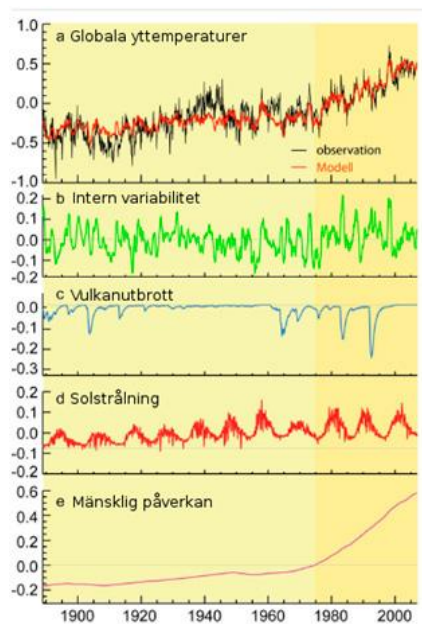
5.1 Är solen en viktig drivkraft för klimatförändring?

Solen är en av tre drivkrafter som naturligt påverkar klimatet på Jorden. Solen är den ursprungliga kraften till all klimatförändring och den kan variera på olika tidsskalor från miljarder år till ett par dagar. Jordens omloppsbanan kring solen och typen av elektromagnetisk strålning från solen avgör hur mycket energi Jorden tar upp och kan omvandla till drivkraft för klimatförändring. Variationer i solstrålning beror delvis på antal solfläckar och de har en 11-årig cykel. Förändringen i solstrålningen beroende på detta är cirka 1,4 Watt per kvadratmeter. Det kan jämföras med den totala solstrålningen som vid atmosfären är cirka 1360 Watt per kvadratmeter.

Jordens klimatförändringar de senaste 120 åren kan bäst förklaras av naturliga och mänsklig påverkan i kombination. Solinstrålningens variationer kan höja uppvärmningen cirka 0,1 grad medan stora vulkanutbrott som avger aska kan kyla klimatet med cirka 0,3 till 0,4 grad. Väderfenomen orsakade av så kallad intern variabilitet så som El Niño med varm havscirkulation i Stilla havet värmer det globala klimatet med cirka 0,2 grader medan motsatsen, La Niña kylar klimatet.

I jämförelse med den mänskliga påverkan på klimatet med cirka 0,8 grad för den senaste 120-årsperioden så är solstrålningens variation mycket liten. I bilden nedan visas temperaturavvikelser för de tre viktigaste naturliga bidragen och från

mänsklig påverkan. Lägg särskilt märke till de olika skalorna angivna i grader. Kurvan i a) förklaras enklast av kurvan i e)



5.2 Hur ovanlig är havsytans stigande nivåer?

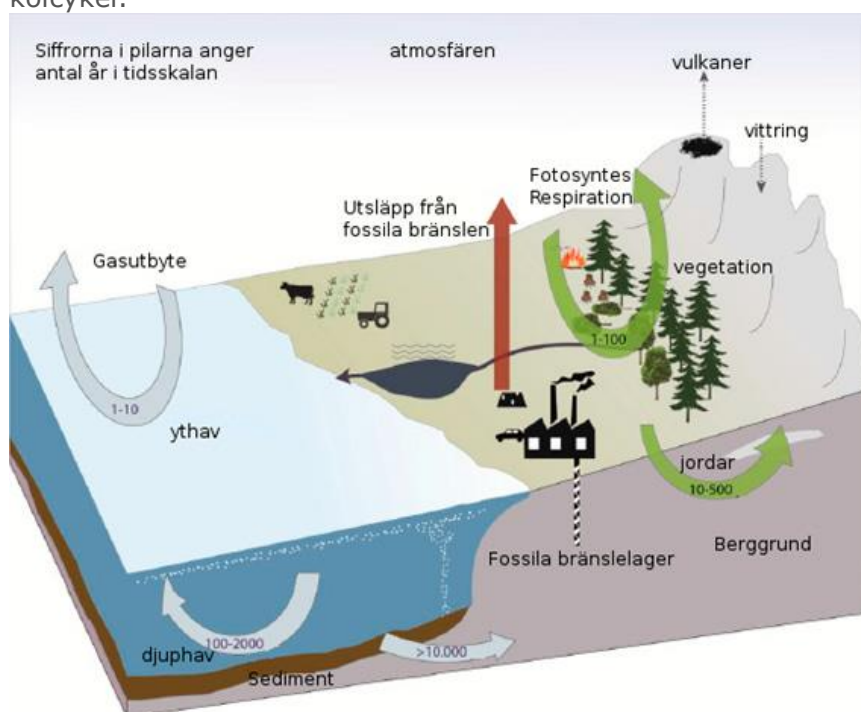
Den globala genomsnittliga stigande av havsytan, mätt med satelliter, är cirka 1,3 mm per år sedan 1993. Det värdet är ovanligt om man jämför med de senaste två tusen åren, men tidigare händelser som slutet på senaste istiden då stora istäcken smälte bort gav större förändringar på havsytan. Havsytan påverkas också av att landnivån kan höjas. Längs kusten i Bottniska viken i Sverige sjunker havsytan med cirka 1 cm per år till följd av den så kallade landhöjningen till följd av senaste istiden.

Mellan cirka 20 000 år sedan och cirka 11 000 år sedan steg havsnivån med nästan 4 cm per år under 500 års tid, men under de senaste 2000 åren av geologisk tid mellan två istider är stigandet av havsytan ovanlig.

6.1 Vad händer med koldioxid när det släppts ut i atmosfären?

Direkt efter utsläpp så kommer koldioxiden att fördelas mellan atmosfären, övre delen av haven och vegetationen. Sedan fortsätter koldioxiden att spridas som kol genom globala kolcykeln på olika tidsskalor från år i jordar till hundratusentals år i djuphaven. Därför påverkar utsläpp idag klimatet under en mycket lång tid framöver. Ungefär 15–40% av all koldioxid som släpps ut blir kvar i atmosfären i cirka 2000 år.

Koldioxid är en gas som är stabil och den bryts inte ned på samma sätt som till exempel metan och därför sprids och fördelas gasen lätt över hela Jordens atmosfär för att sedan fördelas i den globala kolcykeln. Bilden visar denna kolcykel.



Före det att mänskligheten började släppa ut koldioxid från fossila källor var kolcykeln i jämvikt, det vill säga ungefär lika mycket kol som släpptes ut till atmosfären från hav och vegetation på land togs också upp igen. När koncentrationen av koldioxid i atmosfären ökar, ökar också flödet av kol ned i slutligen sediment och berggrund, men det tar tio- till hundratusentals år att uppnå en ny jämvikt.

I havsvatten tas koldioxid upp och bildar kolsyra som sedan kan omvandlas till en rad joner så som bikarbonat och karbonat. Detta leder gradvis till en försurning av haven. Det biologiska livet i haven tar upp en del av kolet i haven och det faller till havsbotten och bildar så småningom sediment.

På land så stimuleras växtligheten av ökade koldioxidkoncentrationer och det sker en tillväxt av vegetation i skogar och mark. Denna växtlighet är också beroende av andra saker så som nederbörd. Förmultning av döda växter i jordar för tillbaka en del av kolet till atmosfären under tidsskalen av 10 till 500 år.

Klimatmodeller föreslår en ökning av halten kol i atmosfären under längre tid. Det beror till exempel på att havsvattnet blir varmare och kan inte lösa lika mycket koldioxid.

6.2 Kan hastiga utsläpp av metan och koldioxid från smältande permafrost och från värmande hav kraftigt påskynda global uppvärmning?

Permafrost är mark som är nedfrusen året runt. Permafrost inklusive frusna bottenar i Norra ishavet innehåller stora mängder organiskt kol som lagrats under lång tid, nästan dubbelt så mycket kol som idag finns i atmosfären. Om permafrosten värms upp så riskerar denna koldioxid och metan att släppas ut i atmosfären. Koldioxid är en växthusgas som värmer upp Jorden och metan är cirka 20 gånger så effektiv växthusgas.

En form av kolinnehåll i permafrost och frusna bottenar är metanhydrater. Dessa metanhydrater finns stabila bara under vissa förutsättningar av temperatur och tryck. De innehåller mycket stora mängder metan, upp till 10 gånger mer än i dagens globala atmosfär. Om förutsättningarna, det vill säga tryck och temperatur, plötsligt förändras kan stora mängder av dessa hydrater släppa fritt metan till atmosfären och detta bidrar starkt till den ökade växthuseffekten.

De flesta modeller visar att ett visst bidrag till den ökade växthuseffekten kommer från smältande permafrost och värmande hav, men det är inte dramatiskt under det närmsta århundradet. Däremot kan mycket större effekter ske under längre tidsintervall som inom tusen år.

7.1 Hur påverkar moln klimatet och klimatförändringarna?

Moln påverkar klimatet mycket, men ännu kan vi inte veta hur moln påverkar ett varmare klimat. De klimatmodeller som används idag kan efterlikna de molntäckten som kan observeras i naturen, men de är långt ifrån perfekta. Antagligen påverkar molnbildning klimatet genom att förstärka uppvärmningen istället för att begränsa den.

Sedan 1970-talet har klimatforskare lagt stor vikt vid betydelsen av moln för klimatsystemet. Moln är viktiga för klimatet eftersom de:

- De skapar nederbörd i form av regn och snö som är avgörande för livet på land.
- När vattenånga kondenserar och bildar moln frigörs värme som värmer atmosfären.
- De reflekterar inkommande solljus.
- De absorberar och återsänder infraröd värmestrålning från jorden (växthuseffekt).
- De transporterar partiklar från Jordens yta upp genom atmosfären.

Alla effekter på moln och molnbildning som i sin tur påverkar klimatet är del av moln-klimat-återkopplingar (feedback). Eftersom moln så starkt samverkar med sol- och värmeinstrålning så kan bara ett par procents skillnad i molntäcket kraftigt påverka klimatet. Återkopplingar kan påverka molnens mängd, höjd och deras optiska egenskaper. Olika sätt att beskriva hur molnen påverkas (olika så kallade parameteriseringar) ger olika resultat och bestämmer då hur känslig klimatmodellens beskrivning av molnen är för påverkan på globala uppvärmningen.

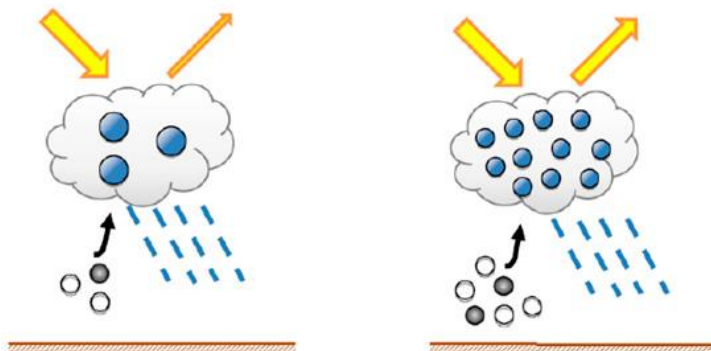
Låga moln reflekterar solstrålning, men släpper igenom mycket av den värmestrålning som sänds ut av Jorden och de "kyler" därför jordytan. Höga moln däremot både reflekterar solstrålning och absorberar utstrålade värme, särskilt om de höga molnen växer i höjd. De flesta klimatmodeller föreslår att i en varmare värld så minskar andelen låga moln och därför är det en något värmende effekt, men detta är en av de mest osäkra förutsägelseerna om framtidens klimat.

7.2 Hur påverkar aerosoler klimatet och klimatförändringarna?

Aerosolpartiklar är partiklar som är lösta i luft i olika delar av atmosfären. Aerosolpartiklarna kan vara både naturliga och av mänskligt ursprung. Aerosolpartiklar samverkar med både ljusstrålning och bildningen av molndroppar. På så vis har det visat sig, vad vi vet så här långt, att aerosolpartiklar har haft en kylande inverkan på klimatet och därför motverkat den globala uppvärmningen. Det är med stor osäkerhet man gör den uppskattningen.

Aerosolpartiklar har kort uppehållstid i atmosfären om man jämför med gaser så som koldioxid och metan. Aerosolpartiklar uppehåller sig från cirka en dag till ett par veckor beroende på om de tas upp i moln och nederbörd eller om de transporteras med vind eller inte. Gasen koldioxid har som jämförelse hundratals år i uppehållstid i atmosfären. Det betyder också att aerosolpartiklar finns inom ett begränsat geografiskt område, som till exempel kusten utanför Saharaöknen eller över Los Angeles.

Genom att aerosolpartiklar kan reflektera solljus så "kyler" de Jorden, men vissa aerosolpartiklar, särskilt de innehållande sot, kan absorbera och därför värma upp Jorden. Aerosolpartiklarna kan också vara kärnor för bildning av molndroppar och på så sätt ändra de optiska egenskaperna hos de moln som bildas – istället för att få, men relativt stora, molndroppar bildas så bildas många, men relativt mindre, molndroppar. På så sätt blir molnet "vitare" och kan indirekt reflektera mer solljus.

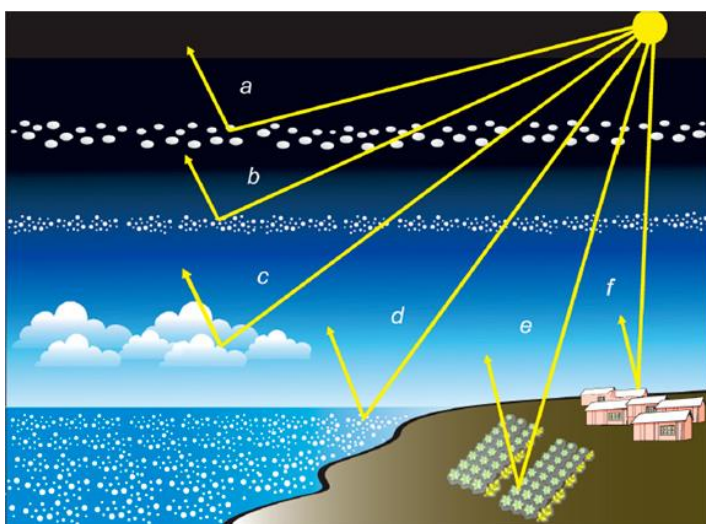


7.3 Kan geingenjörskonst motverka klimatförändringar och vilka risker finns det?

Geoingenjörskonst ("geoengineering") är projekt att i stor skala medvetet påverka klimatsystemet för att motverka den globala uppvärmningen. Två skilda typer av metoder kan användas med de engelska förkortningarna för:

1. SRM – Sunlight Reflection Methods, det vill säga solljusreflektionsmetoder
2. CDR – Carbon Dioxide Removal Methods, det vill säga metoder att avlägsna koldioxid

SRM innebär att genom att reflektera mer av det solljus som når Jorden från solen så kan man minska effekten från global uppvärmning. Genom att placera ut speglar i rymden eller genom att öka reflektionen hos atmosfär, moln eller land- och havsyta så kan större andel av det solljus som annars skulle bidra till att värma Jorden sändas åter ut i rymden, se bilden nedan.



- a) Speglar i rymden
- b) Aerosoler i stratosfären
- c) Ökad reflektivitet hos moln
- d) Ökad reflektivitet i hav
- e) Odlande av reflekterande växter
- f) Vitmålning av byggnader

Genom att reflektionen av solljus bara kan ske på dagtid, medan växthuseffekten verkar både dag- och nattetid så kan störningar i vädersystem uppstå som en effekt av denna obalans. Även mönster i nederbörd kan påverkas så att klimatet inte återgår till att bli som tidigare bara för att temperaturen vid Jordens yta har sjunkit. Även andra faktorer som isbildning, jordfuktighet och andra delar av vattnets kretslopp kan förändras av SRM.

Om man släpper ut aerosolpartiklar i stratosfären för att reflektera bort solljus, så är det ett projekt som måste pågå under flera hundra år på grund av att koldioxiden i atmosfären inte minskar på kort sikt, medan aerosolerna i stratosfären minskar om de inte ständigt underhålls. Ett projekt över så lång tid kan inte garanteras eftersom de ekonomiska och tekniska förutsättningarna på Jorden ständigt ändras. En annan nackdel med stratosfäriska aerosoler är att de kan öka nedbrytningen av Ozonlagret. Ozonlagret skyddar allt liv på Jorden mot skadlig ultraviolett (UV) strålning från solen. Stratosfäriska aerosoler bidrar tillsammans med tidigare utsläppta klor- och fluorinnehållande freoner att bryta

ner de skyddande ozonmolekylerna.

Genom att förändra och manipulera det naturliga kretsloppet för kol, kan man med CDR minska koldioxidhalten i atmosfären och på så sätt motverka den globala uppvärmningen. Tanken är att få bort koldioxid och förvara det på land eller i havet i organisk form. Tyvärr motsvarar kapaciteten för land- och havslagring av koldioxid bara cirka 10% av kolet som finns på Jorden. Kol har redan under den industrialiserade tiden tagits upp av växtlighet och av haven. Cirka hälften av all koldioxid som redan har släppts ut har tagits upp. Skulle man använda CDR finns risken att även det som redan tagits upp måste tas bort på nytt. CDR metoder till havs som innebär att man ökar den biologiska produktionen av till exempel alger kan påverka hela ekosystem på ett mycket okontrollerat sätt.

8.1 Hur viktigt är vattenånga för klimatförändringar?

Vattenånga är det största bidraget till växthuseffekten, men eftersom vattenånga är beroende av temperatur och inte efter tillgång på vatten, så betraktas vattenånga och luftfuktighet som en del av en återkopplingsmekanism (feedback) hellre än ett av bidragen. Dessutom är det mänskliga bidraget till andelen vattenånga försumbart genom bevattning och förångning av vatten i kraftverk till exempel.

Vattenånga kan betraktas som mellan två och tre gånger så viktig för växthuseffekten som koldioxid. Däremot har vattenånga andra egenskaper som skiljer sig från växthusgaser. Vattenånga kan kondensera och bilda moln- och regndroppar och på så sätt regna ned över hav och land. Det är en del av vattnets cykel. Den tid det tar från att vattenångan avdunstat till dess att vattnet regnar eller snöar ned kallas uppehållstiden och den är i genomsnitt 10 dagar. Man kan jämföra det med uppehållstiden för koldioxid i atmosfären. För koldioxid innebär uppehållstiden så länge en molekyl befinner sig i atmosfären från det att den släppts ut från till exempel en bil till dess att den tas upp av en växt eller av havet. Koldioxid har en uppehållstid på cirka 100 år. Det betyder att koldioxiden hinner blanda sig och transporteras över hela Jorden, medan vattenånga bara finns inom ett begränsat område och det varierar kraftigt från olika områden. I Saharaöknen finns nästan ingen vattenånga i luften medan i Amazonas regnskogar är det mycket hög luftfuktighet, trots att koldioxidkoncentrationen i båda områdena är i princip lika hög.

Mängden vattenånga som luften kan rymma är beroende på temperaturen. I kall polarluft så är det bara cirka 1% av den vattenånga som kan rymmas i varm, tropisk luft. Det betyder att om temperaturen stiger på Jorden som en följd av ökad växthuseffekt så rymmer atmosfären mer vattenånga och eftersom vattenånga bidrar kraftigt till global uppvärmning så blir det en positiv återkopplingsmekanism. Vattenångans återkopplingsmekanism är väl studerad och den finns med i klimatmodellerna. Vattenångan förstärker effekten av koldioxid och de övriga växthusgaserna, men utan växthusgaserna skulle inte vattenångan i sig kunna värma Jorden.

8.2 Har förbättringar av luftkvaliteten effekter på klimatförändringen?

Ja det blir effekter även på klimatet om man renar eller tar bort luftföroreningar, men effekten kan vara både kylande och uppvärmande.

Luftföroreningar kan bestå av gaser, så som ozon, kolmonoxid och kväveoxider, det kan vara fasta partiklar eller vätskepartiklar. Dessa luftföroreningar skadar växter och byggnader och framför allt så har de skadliga hälsoeffekter. Astma och andra luftvägssjukdomar förvärras av luftföroreningar. Därför är det viktigt att minska utsläppen av luftföroreningar. I vissa städer har man till exempel infört förbud mot dubbdäck eftersom bilar med dubbdäck river upp partiklar i luften.

Eftersom luftföroreningar har kort uppehållstid i atmosfären så finns de i närheten till utsläppet och de har liten påverkan på klimatet globalt sätt. Hur klimatet påverkas av luftföroreningar är inte helt klart och vissa klimatmodeller tar inte med effekten av luftföroreningar, så det är svårt att säga exakt vad som skulle hända om utsläppen minskar. Vissa aerosolpartiklar reflekterar solstrålning och verkar kylande på Jorden, skulle man minska till exempel sulfatpartiklar i luften så har det en värmande effekt på klimatet. Däremot så kan sotpartiklar absorbera solstrålning och värma Jorden, så genom att minska utsläppen av den typen av luftförorening så kan man motverka global uppvärmning.

9.1 Blir klimatmodellerna bättre, och hur vet vi det?

Klimatmodeller är avancerade datorprogram som med så hög noggrannhet som möjligt simulerar hur atmosfären, havs- och landytan, snö och is, växtlighet och kemiska och biologiska processer påverkar klimatet på Jorden. Klimatmodellerna har förbättrats de senaste 20 åren:

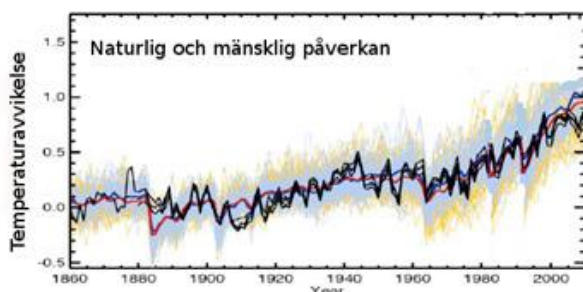
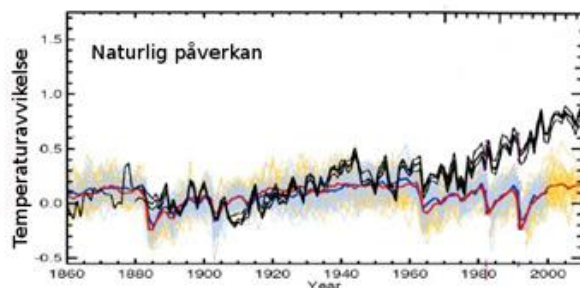
- Klimatmodellerna har fått högre upplösning, det vill säga noggrannheten har ökat.
- Datorutvecklingen har bidragit till att fler och bättre simuleringar kan utföras.
- Fler processer som påverkar klimatet har lagts till i klimatmodellerna.
- Fler och mer noggranna observationer har hjälpt till att fininställa modellerna.
- Bättre vetenskaplig förståelse för det som påverkar klimatet förbättrar tillförlitligheten av modellerna.

När fler och fler saker som påverkar klimatet (olika processer) läggs till klimatmodellerna så blir de bättre på sikt, men varje process bidrar också med felkällor som måste vara med i beräkningen.

Genom att jämföra hur klimatmodellerna beskriver klimatet som varit under tidigare tidsperioder så kan man få en uppfattning om hur väl de kan beskriva också hur klimatet blir i framtiden. Det har skett en klar utveckling av klimatmodellerna sedan arbetet med FNs klimatpanel IPCC började.

10.1 Klimatet förändras ständigt. Hur vet vi de viktigaste orsakerna till de observerade klimatförändringarna?

För att kunna avgöra vilka orsaker till klimatförändringar som människan står för måste man först jämföra med hur klimatet påverkas av naturliga variationer och av saker så som solens ljusstyrka och vulkanutbrott. Sedan kan man med hjälp av klimatmodeller se hur det mänskliga bidraget till klimatet varit sedan början av 1900-talet. Det är tydligt från bilden nedan att temperaturen på Jorden har ökat och att det är människan som har bidragit mest till det. Rött och blått streck visar hur klimatmodellerna förklarar temperaturavvikelsen utan och med mänsklig påverkan.



10.2 När kommer vi att se hur den mänskliga påverkan på klimatet verkar lokalt?

Man kan redan nu märka klimatförändringar i den tropiska zonen, särskilt under den varma perioden. Uppvärmningen kan komma att märkas mer tydligt längre norr ut om ett tiotal år eftersom vädret varierar mer där än i tropikerna. Smältningen av Arktis havsis är ett tydligt tecken på mänsklig inverkan på klimatet.

Ett globalt medelvärde av temperatur visar enklare om klimatet förändras än att lokalt studera temperaturen och se om den faller utanför det normala eftersom väder kan variera så pass mycket. I tropiska områden är variationen mindre och därför märks avvikelser från det normala först där. Variationen är också minst på sommaren längre norr ut och sett ur ett år så märks alltså lokala klimatförändringar tydligast på sommarhalvåret.

Det är svårare att märka av klimatförändringar på nederbörden eftersom regn

och snö kan variera mycket från år till år och lokala skyfall märks mindre i statistiken. Däremot märks klimatförändring på minskningen av havsis, särskilt under sommaren då Arktis havsis når ett minimum.

När exakt man märker lokala förändringar av klimatet beror på hur säker man vill vara, men den globala trenden med uppvärmning av Jorden visar sig även lokalt på sikt.

11.1 Om man inte kan förutsäga vädret nästa månad, hur kan man då förutsäga klimatet närmaste tio åren?

Väder och klimat är egentligen två helt skilda saker även om de beror av varandra. Väder är tillståndet hos atmosfären vid en särskild plats och tidpunkt. Vädret kan därför ändras på kort sikt från till exempel starkt solsken och värme till svalt och störtregn när en front passerar. Klimat däremot är medelvärdet i statistiken för vädret över ett tiotal år.

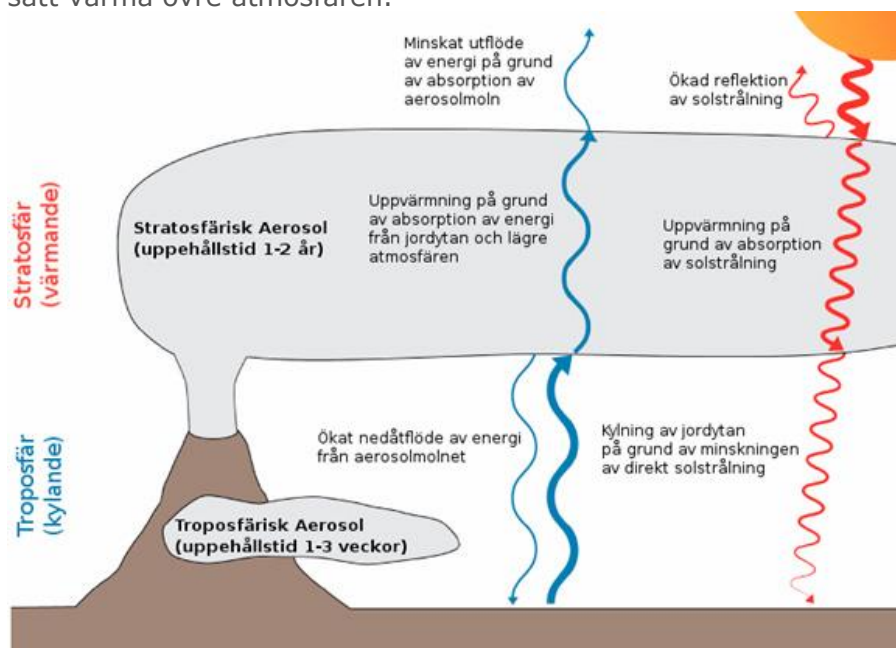
I en väderprognos kan små fel växa sig stora över tid och därför kan man inte förutsäga väder längre än någon vecka i tiden. Det är känt som fjärilseffekten – om en fjäril fladdrar med vingarna så kan luftströmmarna tillta och orsaka en storm på andra sidan Jorden.

Vissa fenomen som till exempel El Niño (ENSO) som skapar avvikelser i temperaturen hos havsvatten påverkar även atmosfären. De kallas naturlig variabilitet och de är återkommande mönster. Genom att studera naturlig variabilitet så kan vi lära mer om hur klimatet fungerar.

Förutsägelser om framtida klimat kan säga om det kommer att vara större sannolikhet att det blir varmare på sommaren om till exempel 30 år än vad det har varit tidigare. Däremot kan man inte säga exakt hur vädret på sommaren kommer att vara. Eftersom naturen är kaotisk, det vill säga att enkla samband inte finns, gör att även om vi får bättre och bättre verktyg för att förutsäga vädret så kan det aldrig bli exakt.

11.2 Hur påverkar vulkaner klimatet och vår förmåga att förutsäga klimat?

Vulkanutbrott släpper ut svaveldioxid som når övre atmosfären (stratosfären) där det reagerar med vattenånga och bildar moln av svavelsyradroppar. Dessa moln reflekterar solstrålning och minskar därför uppvärmningen av jordytan. De verkar därför "kylande" på nedre atmosfären (troposfären) och jordytan. Samtidigt kan dessa moln lokalt sett absorbera (ta upp) värmestrålning från Jorden och på så sätt värma övre atmosfären.



Även om vi vet att vulkaner har denna kylande effekt på jordytan och värmende av stratosfären och vi vet när vulkaner blir mer aktiva, kan man inte med säkerhet avgöra när vulkanen får ett utbrott och hur mycket stoft som kan komma att spridas i stratosfären. Det ger en osäkerhet i klimatmodeller.

Om en vulkan bara släpper ut stoft främst till troposfären (lägre atmosfären) eller om vulkanen ligger långt norrut (eller söderut) så kommer utsläppen bli begränsade till ett mindre område, men om vulkanen ligger närmare ekvatorn och om den släpper ut mycket stoft till stratosfären (övre atmosfären) så kan utsläppen spridas globalt över hela Jorden.

Även om effekten av ett vulkanutbrott kyler Jorden verkar högst ett par år, så kan flera vulkanutbrott år i rad ha stor påverkan på klimatet. I slutet på 1200-talet så hade fyra vulkaner utbrott som var ovanligt stora med tio års uppehåll mellan dem. Detta gjorde så att Jorden och norra Atlanten kylades så pass mycket att Arktis havsis ökade och man kallade det "lilla istiden".

12.1 Varför används så många klimatmodeller och scenarier för att förutsäga framtida klimat?

Eftersom klimatet på Jorden till viss del påverkas av storleken på de drivkrafter så som utsläpp av växthusgaser, aerosolpartiklar och dylikt, så är det viktigt att kunna uppskatta denna påverkan på ett bra sätt. Det framtida klimatet på jorden beror på dessa externa (yttre) drivkrafter och på Jordens naturliga variationer i klimatet. Genom att anta hur stora utsläppen kan komma att bli i framtiden kan man skapa olika utsläppsscenarioer med högre eller lägre mängd av utsläpp. Dessa scenarier ligger till grund för klimatmodellerna. Genom att också använda klimatmodellerna till att låta det modellerade klimatet påverkas olika mycket av både de externa och naturliga drivkrafterna så får man en hel uppsättning, en ensemble, av resultat. Denna ensemble hjälper till att beskriva en rad olika framtida klimat och osäkerheten i dessa.

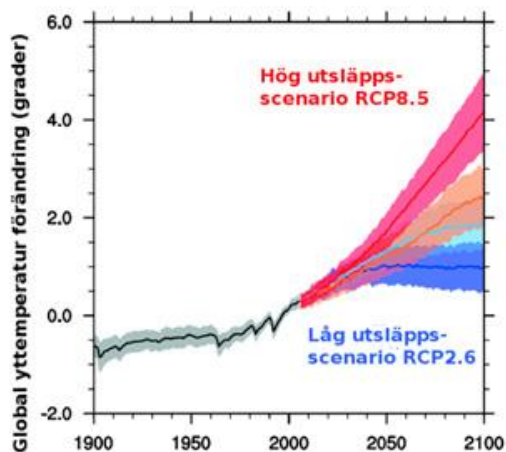
Utsläpp av växthusgaser, aerosolpartiklar och dylikt är beroende av olika faktorer så som social och ekonomisk utveckling i olika delar av världen (till exempel befolkningsökning och högre levnadsstandard i Kina). Det beror också till stor grad av de politiska beslut som fattas och de lagar som gäller (till exempel handel med utsläppsrätter). Utsläppen är också beroende av nya tekniska lösningar (till exempel katalysatorer och elbilar). Det är nästan omöjligt att förutse hur utsläppen påverkas av alla dessa faktorer i framtiden, så istället för att bestämma sannolikheten för dem så har en uppsättning av scenarier skapats med olika förutsättningar.

På kort sikt kan naturliga variationer i Jordens klimat vara det som dominerar mest och bestämmer klimatet över de externa drivkrafterna. På lång sikt, det vill säga om ett tiotal år, så kommer externa drivkrafter så som utsläpp av växthusgaser att vara det som dominerar mest och bestämmer klimatet. Det är därför ytterst viktigt att undersöka de olika scenarierna och se hur de i sin tur skulle påverka oss.

Klimatmodeller är komplexa i och med att de simulerar hur olika delar av Jorden, så som atmosfär, haven och biosfären samverkar. Enkla metoder att förutsäga framtida klimat genom att gissa utifrån en trend eller att titta på liknande fall och jämföra är inte tillförlitliga. Detta eftersom det vi har sett hittills behöver inte nödvändigtvis fortsätta på samma sätt längre fram i tiden.

Det är möjligt att ta fram ekvationer som beskriver hur atmosfären och haven uppträder, men för att lösa dem krävs datorsimuleringar. Vissa saker på Jorden är små i förhållande, till exempel luft- och havsvirvlar eller moln och aerosolmoln. Dessa småskaliga händelser kan inte beskrivas av ekvationerna utan måste förenklas i beskrivningen i klimatmodellen. Det kallas att de parameteriseras. Vissa ekvationer har mer än en lösning och ju fler ekvationer som används och ju fler antaganden som görs så kan resultatet bli något olika från modell till modell. Dessa olika resultat är bra på så sätt att det blir ett flertal förutsägelser om det framtida klimatet som kan användas för jämförelse. De olika resultaten kan också användas för att utvärdera osäkerheten, även om det fortfarande saknas tillräckligt med material.

Förenklade modeller kan användas om man vill få fram resultat över långa tidsperioder eller globalt över hela Jorden, eftersom de kräver mindre datorkraft. För att simulera klimatet i en viss region mer detaljerat så måste man använda de mer avancerade klimatmodellerna.



De allra flesta av klimatmodellerna visar liknande resultat vad det gäller allmänna trender så som att land värms upp snabbare än hav och den ökade och förstärkta uppvärmningen av Arktisområdet. Hur mycket uppvärmningen blir är olika för olika modeller, vissa modeller kan visa en viss avkylning av Arktisområdet på grund av förändrade havsströmmar bland annat.

Genom att använda många olika typer av klimatmodeller och scenarier så kan vi lättare få en överblick över de förutsägelser om det framtida klimatet som de ger och på så vis kan vi hantera de osäkerheter som följer med ett så pass komplext och avancerat system som klimatet är.

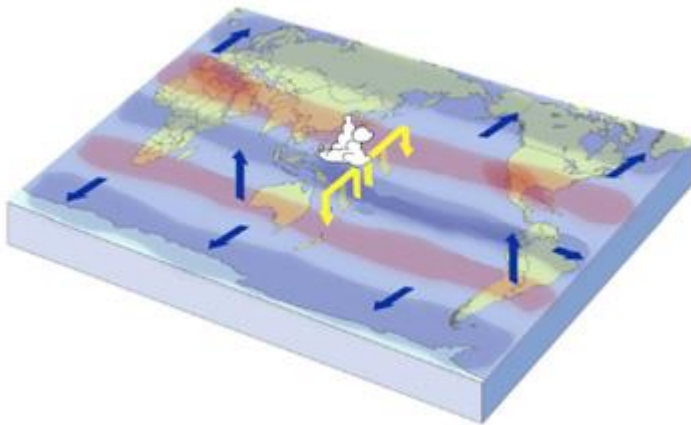
12.2 Hur kommer Jordens vattencykel att förändras?

Flödet av vatten och hur vatten lagras på Jorden varierar mycket, men förändringar utöver den vanliga variationen kan vi börja märka av vid slutet av detta århundrade. När världen blir varmare så blir vattencykeln mer intensiv, vilket leder till mer nederbörd, högre avdunstning och att träd och växter släpper ifrån sig mer vatten till atmosfären. I vissa områden kan vatten komma att börja täcka marken, medan i andra områden kan det bli torrare till exempel då snö och is smälter bort.

Vattencykeln består av Jordens vatten i alla dess former och hur vatten rör sig inom Jordens klimatsystem. I atmosfären finner vi vanligen vatten som gas, vattenånga, men i moln så finns det också molndroppar och iskärnor. I havet är vattnet flytande, men i polområdena så täcks havet av is. På land finns vatten i sjöar och floder, i markfuktighet och grundvatten. Is finns på land i snötäcken, glaciärer och i så kallad permafrost, vilket är mark som är frusen året om. Permafrost finns i Alaska, Kanada och Sibirien i norra Ryssland bland annat.

Det är inte helt sant att säga att Jordens vattencykel blir mer intensiv i en varmare värld eftersom det skulle betyda att alla områden skulle få mer nederbörd och kraftigare avdunstning när vatten rör sig snabbare genom systemet. Det är en del områden som får minskad omsättning på vatten, och i vissa områden så torkar vattnet helt ut.

I en varmare värld kan man förstå att vissa saker borde visa sig, så som smältning av glaciärer, mer vattenånga i atmosfären och stigande havsyta, både på grund av smältande havsis och glaciärer och på grund av att vattnet i havet tar större plats när det värms upp. Detta har man också kunnat observera. Det som försvårar bilden av hur vattencykeln förändras är hur invecklat och komplext klimatet på Jorden är eftersom hav och land samverkar med atmosfären på ett kaotiskt sätt. Därför kan förändringar i vattencykeln vara olika för olika regioner och olika delar på året. Eftersom förändringar i vattencykeln påverkar områden från hundratals meter upp till flera kilometer och inom tidsperspektiv på mellan minuter och dagar så är det svårare att se än för till exempel förändringar i temperatur. Trots detta pekar många klimatmodeller mot att det i vissa regioner sker stora förändringar under en längre tidsperiod. Vi har lättast att se de problem som förändringar i vattencykeln över land och särskilt befolkade områden skulle innebära.



Bilden visar att de rosa områdena har ökad avdunstning och borttransport av fuktighet mot de mörkblå områdena. Den nu existerande så kallad Hadley-cellen (gula pilar) med transport av luft från ekvatorområdet mot nordligare och sydligare områden förväntas förstöras, detta kan leda till att redan torra områden med öken kan breda ut sig.

Regnfallen antas ändra karaktär i framtiden. De förväntas bli längre uppehåll mellan regnfallen, alltså perioder av torka, medan när det sedan regnar så blir det kraftigare skyfall och översvämningar. Den typen av torka och regn kan också leda till ökad erosion, det vill säga att vatten spolar med sig jord och grus. Även en kortare period av snö på vintern kan leda till rubbningar av vattenflödet i floder och påverka marken genom till exempel översvämningar.

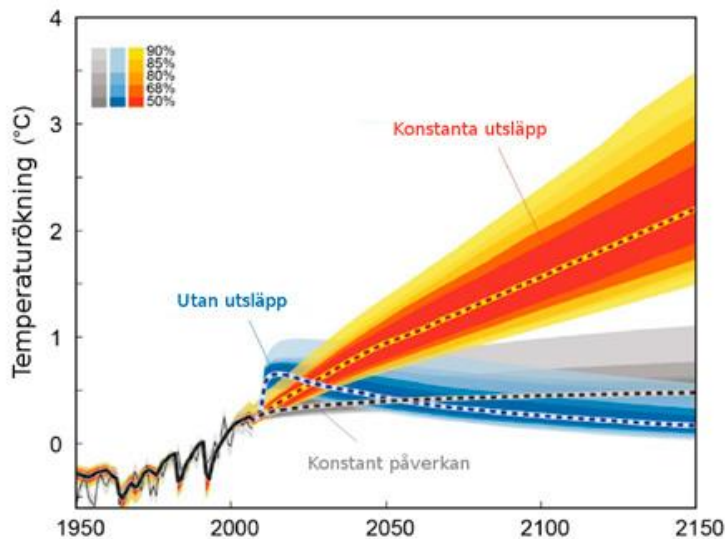
12.3 Vad skulle hända med det framtida klimatet om vi slutade släppa ut växthusgaser idag?

Att vi människor helt plötsligt skulle sluta släppa ut växthusgaser är inte realistiskt, men det är ett intressant scenario att studera teoretiskt med klimatmodeller för att se hur Jorden skulle påverkas. Genom att det är så många olika processer och händelser som samtidigt skulle börja påverkas så är det svårt

att skilja en händelse från en annan, särskilt som de sker under olika långa tidsförlopp, allt från minuter, som till exempel koldioxids upptag i ytvattnet, till processer som tar hundratals år som till exempel nedblandning av koldioxid i djuphaven. Resilience är ett begrepp som kortfattat innebär hur ett system, som till exempel Jordens klimat, återhämtar sig efter en påverkan (av människan). Det är i princip det som ett fullständigt utsläppsstopp skulle innebära och det är värt att studera i detalj.

Olika typer av ämnen kan släppas ut i atmosfären och de kan sedan reagera kemiskt med främst syret (oxideras) i till exempel radikaler och ozon som är de mest aktiva formerna av syre. De olika typerna av ämnen kan vara olika motståndskraftiga mot sådan oxidation. Metan har en livstid på cirka 10 år i atmosfären, medan vissa typer av freoner kan finnas i atmosfären i tusentals år utan att brytas ned. Det som är speciellt med koldioxid är, förutom att det är hyfsat långlivat i atmosfären med en livstid på cirka 100 år, att koldioxiden ingår i ett antal olika kretslopp som är hoplänkat med hav och växter på land (och även plankton i haven). Även i slutändan geologiska kretslopp med berggrunden kan påverkas över längre tidsperioder. Ungefär 20% av utsläppt koldioxid finns kvar i atmosfären efter 1000 år.

Om vi slutade släppa ut växthusgaser nu, så skulle marknära ozon och aerosoler med sot minska inom ett års tid, metankoncentrationerna skulle sjunka inom hundra år, men koldioxidhalterna skulle inte nämnvärt minska under flera generationers tid. Uppvärmningen av Jorden skulle med allra sannolikhet fortsätta med cirka 0,3 grader under detta århundrade jämfört med förra.



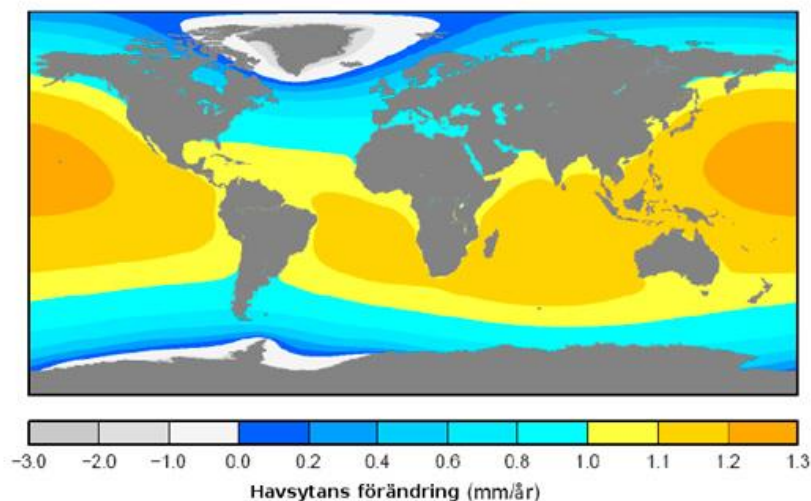
13.1 Varför skiljer sig lokalt vattenstånd i havet från globala värden?

Vindar kan förändra ytvattnet hos haven, liksom utvidgningen (expansionen) av vatten då det värms upp. Smältande vatten från glaciärer och havsis kan ändra vattenströmmar och på sätt också påverka lokalt vattenståndet i haven. Nutida och historiska förändringar i istäcket på land kan påverka hur gravitationen i sin tur växelverkar och påverkar vattnet i haven, även lokalt.

Under korta tidsintervall så är det vädret som till största del påverkar lokalt vattennivån genom till exempel kraftiga vindar eller väderfenomen som till exempel El Niño. Även ovanligare fenomen som jordbävningar och tsunamis kan påverka havsnivåerna lokalt. Över längre tidsintervall som hundratals år så är det förändringar i klimatet som är den största påverkan på havsnivåerna.

Sedan 1992 har man mätt havsnivån i förhållande till Jordens mittpunkt (geocentrisk havsnivå) och havsnivån har ökat, mer på vissa delar av världshaven som till exempel i västra Stilla havet, och mindre på vissa delar som till exempel östra Stilla havet med till och med en minskning i västra USAs kust.

I Stockholm så sjunker havsnivåerna, men det beror på landhöjningen efter det att trycket från den tjocka inlandsisen för cirka 10000 år sedan försvunnit. Liknande förändringar i landmassan i närheten av förkastningsprickor kan ge upphov till skillnader i havsnivåerna.



13.2 Kommer smältning av is i Arktis och Antarktis att bidra till ökat vattenstånd i haven under detta århundrade?

Grönland och västra och östra delarna av Antarktis istäcke är de största tillgångarna av sötvatten på Jorden. Både tillväxt genom snöfall och minskning genom smältning har påverkat dessa ismassor genom tiden och därför också havsytan, eftersom en avsmältning höjer havsytan och tillväxt sänker havsytan. Under det senaste århundradet har det observerats att isarna har minskat i volym och därför kan vi anta att havsnivåerna kommer att fortsätta att stiga.

Is transporteras mycket sakta från ett område där snöfall får det att växa till, mot kusten där det kan lossna i form av isberg och smälta bort. På Grönland sker smältningen ungefär hälften av smältning från ytan och hälften genom isberg. På Antarktis sker nästan all smältning genom isberg. Exakt hur transporten, tillväxten och smältningen sker är, åtminstone i Antarktis, inte helt klart och det behövs mer forskning för att säkert kunna säga hur ismassorna kommer att uppträda på längre sikt om klimatet på Jorden fortsätter att förändras. På Grönland har man sett att smältning på ytan av isarna har ökat under det senaste århundradet och det förväntas fortsätta öka i omfattning. Även om återfrysning sker så antas det vara en tillfällig minskning av denna avsmältningsprocess. Det skulle kunna finnas ett tröskelvärde för temperaturen vid vilken stor avsmältning skulle kunna ske, men det är osäkert. Grönlands isar har smält och bidragit till att havsnivåerna ökat senaste århundradet, och det antas att den trenden håller i sig.

14.1 Hur beror regionala och globala klimatförändringar av varandra?

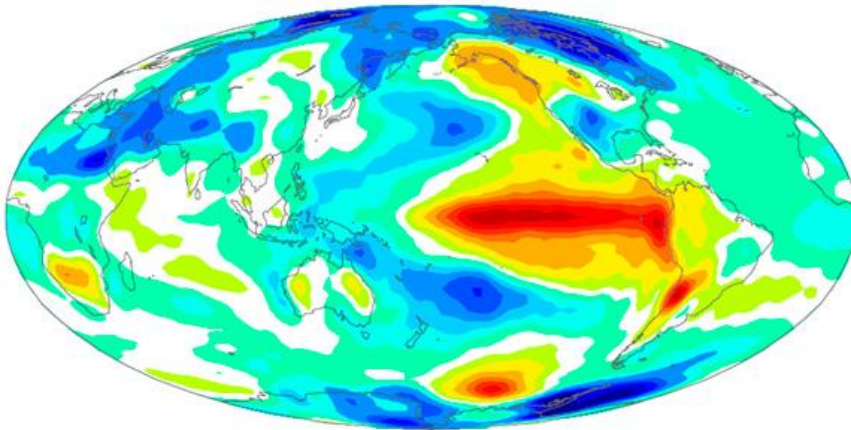
Regionalt klimat påverkas kraftigt av regionala processer som förflyttar värme från ett område till ett annat. När Världen värms upp ändras dessa mönster och hastigheten hos uppvärmningen kan ändras.

Eftersom solinstrålningen inte är jämnt fördelad över Jorden, så kan regionala klimat uppstå på grund av höjd över havet, breddgrad och hur marken används lokalt sett. Regionala skillnader i klimatet beror även på strukturen på klimatet, det vill säga variationer som kan uppstå naturligt på grund av återkopplingsmekanismer (feed-back) eller liknande återkommande mönster. Återkopplingsmekanismer är alltså en kedja av händelser som påverkar varandra och i slutändan påverkar den ursprungliga händelsen antingen genom att förstärka effekten, så kallad positiv återkoppling, eller genom att hämma effekten, så kallad negativ återkoppling. En typisk positiv återkoppling sker i Arktis genom att uppvärmningen får snö och is att smälta. Detta gör att underlaget ändrar färg från vitt till mörkare, och den ytan absorberar mer solljus vilket värmer upp markytan ytterligare.

De regioner nära ekvatorn som redan idag har mycket regn kommer förmodligen att få ännu mer nederbörd, medan de torra områdena i subtropiska regioner så som Medelhavet blir ännu torrare när högtrycksbältena sträcker sig närmare polerna. Arktis (nordpolen) förväntas värmas allra mest, medan södra halvklotet värms mer genomsnittligt. Extrema klimat och vädersituationer kan förändras och tillta beroende på både storskaliga luftströmmar men även på regionala effekter.

En typisk regional, naturlig variation är den så kallade El Niño som inträffar återkommande med ett antal års uppehåll emellan. Det är flera saker kopplat till ytvattentemperatur och tryckskillnader som ger upphov till detta väderfenomen som har effekter både regionalt i form av nederbördsförändringar och ökade

stormar, men också globalt då andra, avlägsna platser kan få extrem torka eller temperaturförändringar. El Niño uppträder utanför Chiles kust och varmt ytvatten kan sprida sig ända ut till Australien, se bilden. Blå färg visar kallare ytvatten än normalt och gult och rött visar varmare områden för ytvatten än normalt.



14.2 Hur påverkar klimatförändringar monsunerna?

I större delen av den tropiska klimatzonen så är påverkan av monsuner stor. Utbredningen och omfattningen av monsuner beror på ett stort antal faktorer så som luftfuktighet, temperaturskillnader mellan hav och land, atmosfäriska aerosolpartiklars mängd med mera. Man antar att monsunerna kommer att breda ut sig och öka i framtiden, mycket beroende på att en varmare atmosfär kan rymma mer vattenånga och att skillnaderna i temperatur mellan hav och land blir ännu större. De andra faktorerna kan komma att vara viktiga i vissa regioner och därför är det svårt att förutse exakt hur monsunerna verkar regionalt och lokalt i mindre områden. Bergskedjor kan vara en sådan faktor som har en regional påverkan. Vindar som blåser över berg stiger och för med sig ökad nederbörd.

Monsuner är transport av regn som beror på skillnader i temperatur mellan hav och land, vilket i sin tur beror på solinstrålningen under olika tider på året. Mängden monsunregn beror på både innehållet av vattenånga i luften och av cirkulationen av luft i atmosfären. Det finns komplicerade orsakssamband mellan monsuner och klimat i närliggande regioner. En minskad monsyncirkulation i östra Asien har till exempel fört med sig torka i norra Kina och översvämningar längs Yangtze-floden längre söderut.

Människan påverkar monsunerna genom att mängden vattenånga i atmosfären ökar med ökande globala temperaturer, men också regionalt kan stora utsläpp av ljusabsorberande sotpartiklar från matlagning över öppen eld och förbränning av trä för uppvärmning påverka monsunerna. Även tiden för monsuner kan förskjutas som effekt av mänsklig klimatpåverkan.