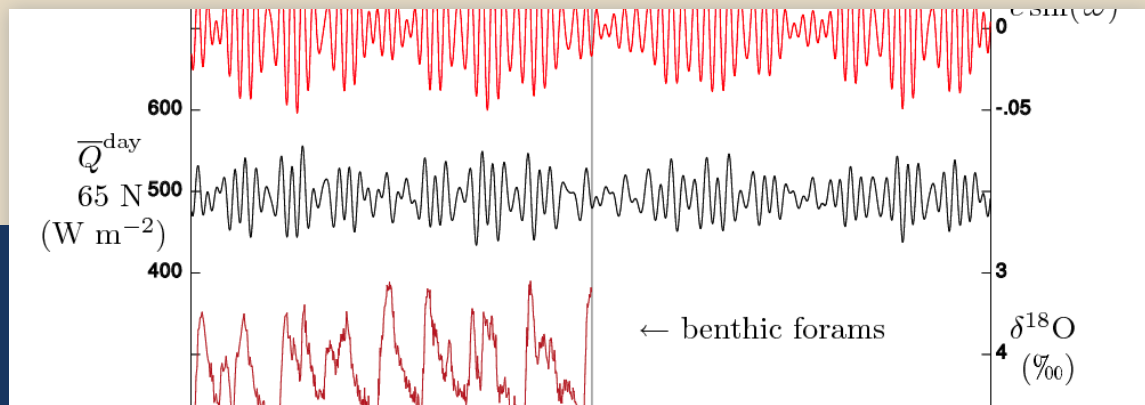


NATURLIGA KLIMATVARIATIONER



PER FLENSBURG, STRÖMSTAD AKADEMI

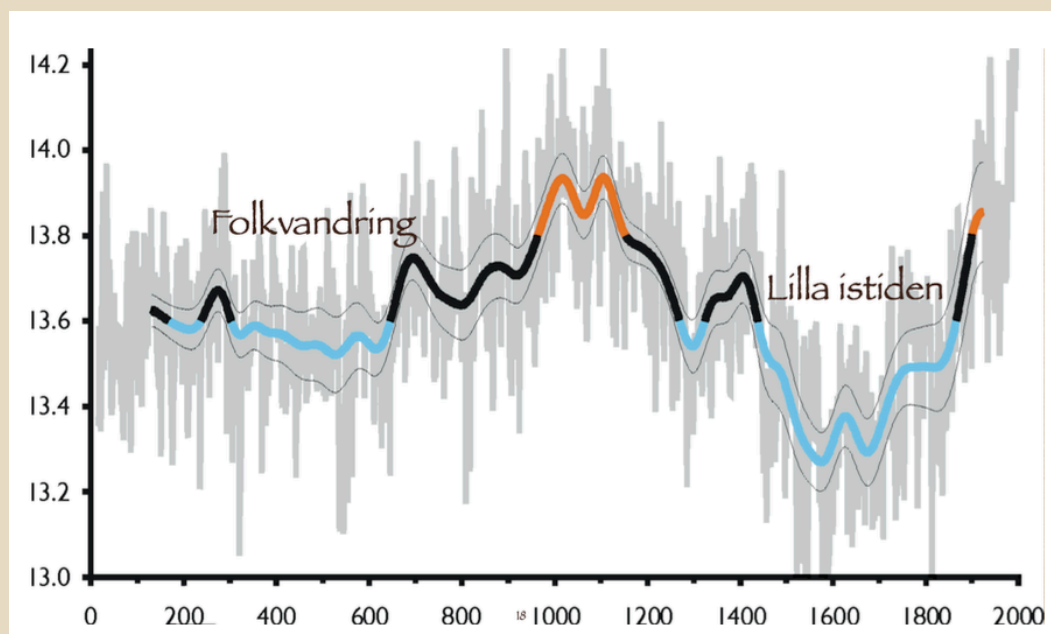
NATURLIGA FAKTORER SOM PÅVERKAR

- Solfläckar
- Variationer i jordbanans elliptiska form
- Jordaxelns lutning
- Precessionen
- Vulkanisk verksamhet
- Havsströmmarna

SOLFLÄCKAR

- Solens yta är ungefär 6000° varm, men i solfläckarna är det svalare, ca 4000°. Antalet solfläckor varierar med ca 11 års intervall. De år då det är många solfläckor är solens utstrålning något lägre och följaktligen borde det bli något svalare på jorden.
- Men det finns exempel som pekar på motsatsen.
- Under perioden 1645-1715 förekom det knappt några solfläckor men perioden brukar betecknas som "lilla istiden". Det var extremt kalla vintrar och svala somrar under denna tid. Det var bl a då som Karl X tågade över bälten i Danmark. Man kan förmoda att solfläckarna har någon form av samband med klimatet men exakt hur detta ser ut är dock än så länge okänt.

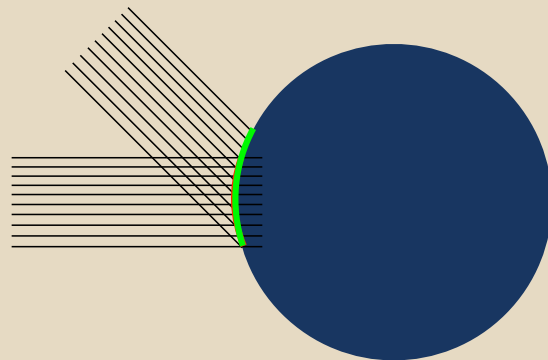
TEMPERATURVARIATIONER SENASTE 2000 ÅREN



NATURLIGA VARIATIONER

- * Många hävdar att temperaturhöjningen på jorden har naturliga förklaringar. Hur förklarar man annars istiderna?
- * Solvärmen är beroende av avståndet till solen och den vinkel som solstrålarna träffar jorden på.
- * Avståndet ger intensiteten på strålningen och vinkeln avgör ytan som strålningen sprids inom
- * Detta visar sig ha stora effekter
-

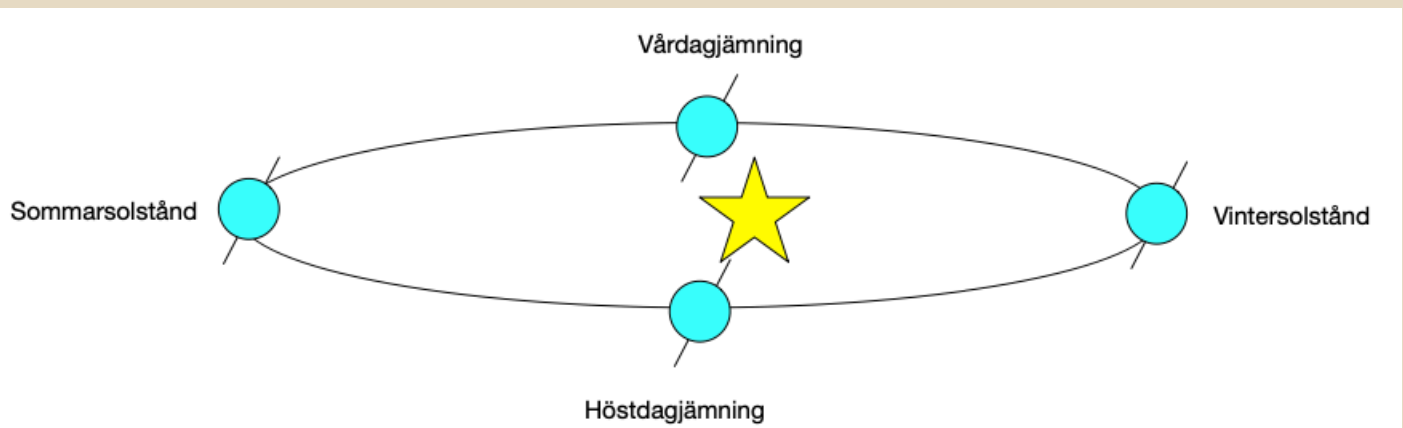
NATURLIGA VARIATIONER



SOLINSTRÅLNINGEN TILL JORDEN

- Den värme solen förmedlar till jorden på en viss punkt beror på tre olika rörelser av jordens bana:
 1. **Variationer i excentricitet** - Förändringar av jordbanans form.
 2. **Variationer i axellutning** - Förändringar av vinkeln mellan jordaxeln och jordbanans plan.
 3. **Precession** - Förändringar av jordaxelns och jordbanans riktning.
-

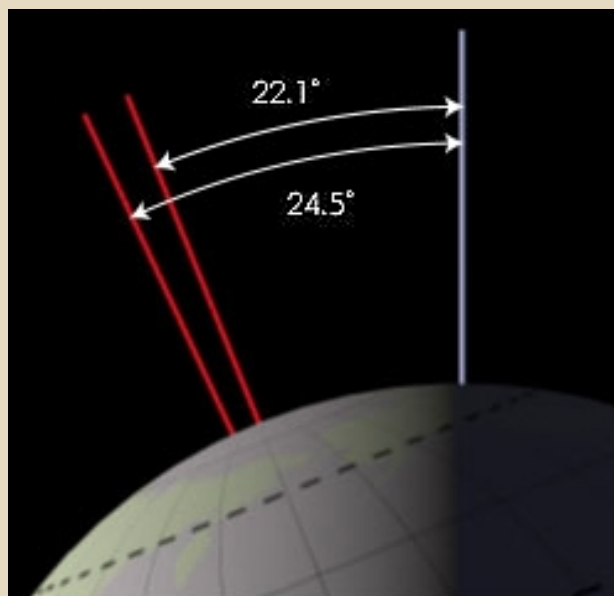
VARIATIONER I JORDBANANS EXCENTRICITET



EXCENTRICITET

- Excentriciteten varierar med tiden, mellan nära 0 (nästan en perfekt cirkel) till drygt 0,06. Variationen sker med en tydlig periodicitet med tre huvudsakliga komponenter, med egna perioder på 95 000, 124 000 respektive 405 000 år beroende på övriga planeters positioner. Den totala excentriciteten bildas som en kombination av de tre.
- När jordbanans excentricitet är störst blir solinstrålningen hela 23 procent kraftigare vid perihelium än vid aphelium. Om detta sker när det råder sommar på norra halvklotet blir somrarna där varmare än genomsnittligt, medan vintrarna i stället blir kallare än normalt eftersom jorden vid den tiden på året befinner sig ovanligt långt från solen.
- Å andra sidan blir somrarna under sådana omständigheter något kortare och vintrarna något längre än annars, eftersom jorden rör sig snabbare i sin bana vid perihelium än vid aphelium. På södra halvklotet blir dessa förändringarna omvända

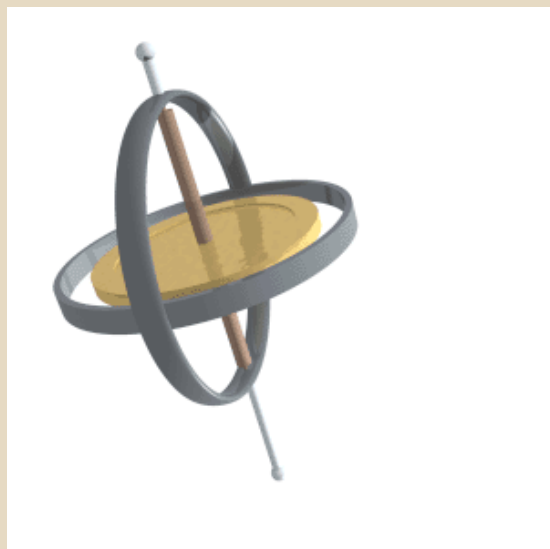
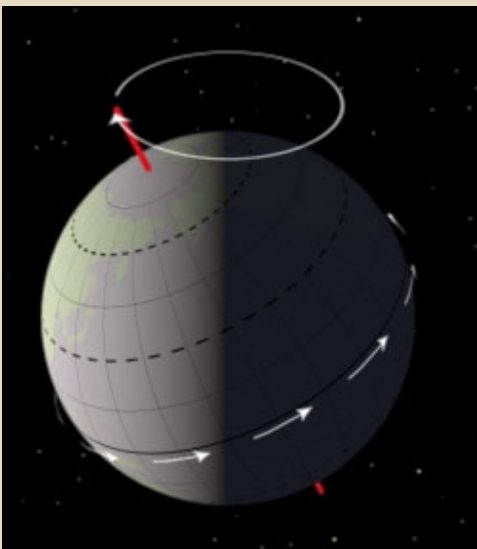
VARIERANDE AXELLUTNING



AXELLUTNING

- Axellutningen är vinkeln mellan jordens rotationsaxel och en linje vinkelrät mot jordbanans plan. En stor axellutning ger upphov till stora temperaturskillnader mellan de olika årstiderna, medan vi utan axellutning inte skulle ha några årstider alls. För närvarande är jordens axellutning ungefär $23,4^\circ$, men den varierar mellan $22,1$ och $24,5$ grader med en period på ungefär 41 000 år.
- Vi har alltså en axellutning ganska nära genomsnittet för tillfället. Under tider med större axellutning kan somrarna bli varmare och vintrarna kallare än de är nu, medan en mindre axellutning skapar förutsättningar för svalare somrar och mildare vintrar.

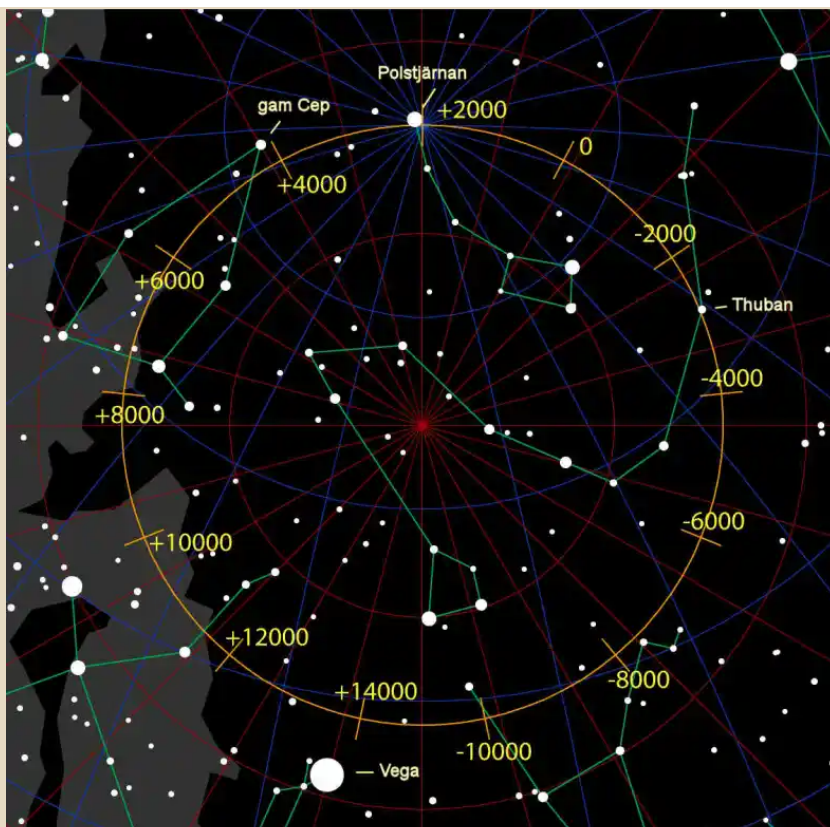
PRECESSION



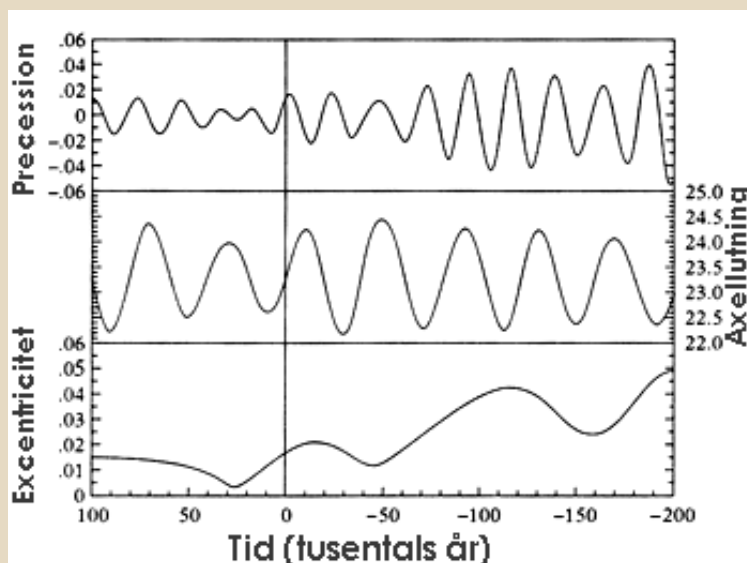
PRECESSIONEN

- * Jordaxelns precession innebär att den punkt på himlavalvet dit jordaxeln pekar långsamt vrids runt i en cirkel på 26 000 år
- * Tidpunkterna för perihelium och aphelium förskjuts från år till år.
- * Nu är jorden som närmast solen när det råder vinter på norra halvklotet medförande milda vintrar.
- * Om ungefär 10 000 år är det tvärtom och norra halvklotet får större skillnader mellan vinter och sommar

NORRA HIMMELSPOLEN FLYTTAS



DE TRE PARAMETRARNAS VARIATIONER

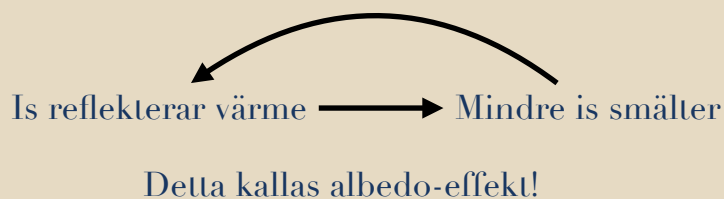


TEMPERATURVARIATIONER

- * Ingen av förändringarna av jordens rörelser har nämnvärd inverkan på den mängd solenergi som jorden tar emot
- * Men de ger upphov till regelbundna variationer av solinstrålningens fördelning mellan olika delar av jordklotet och olika tider på året.
- * Om sommartemperaturen på norra halvklotet blir ovanligt låg när jordaxelns lutning är liten samtidigt som jordbanan är påtagligt elliptisk och sommaren inträffar när jorden är som längst från solen kan somrarna bli så svala att vinterns snö- och istäcken aldrig hinner smälta innan det blir vinter igen. Därigenom kan en istid ta sin början.

ISTID??? HUR DÅ?

- * Is och snö är vit och reflekterar mer strålning ut i rymden än de mörka land- och havsområdena
- * Då sjunker temperaturen och det bildas mer is på vintrarna vilket medför att det totalt blir mer is
- * Till sist är det is året om och vi har en istid

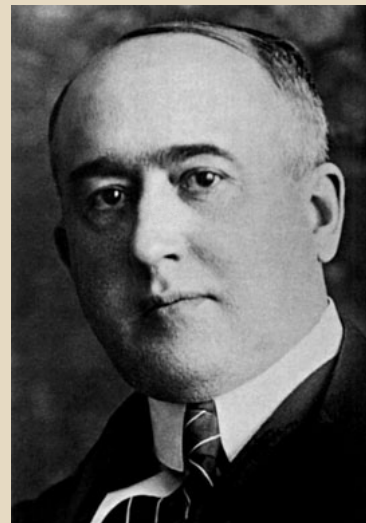


HAR VI ISTIDER PÅ SÖDRA HALVKLOTET OCKSÅ?

- Nej det har vi inte, eftersom där är mindre land
- Vattnen kring Antarktis är stort sett isfria och bidrar således mindre till jordens totala temperatursänkning
- Å andra sidan kan man anse att Antarktis just nu har en istid
- En annan återkoppling som bidrar till de stora temperaturskillnaderna mellan istider och varmare perioder är att luftens innehåll av koldioxid och metan sakta minskar när det blir kallare och vice versa. Det betyder att atmosfärens växthuseffekt förändras på ett sätt som förstärker temperaturens långsiktiga variationer.

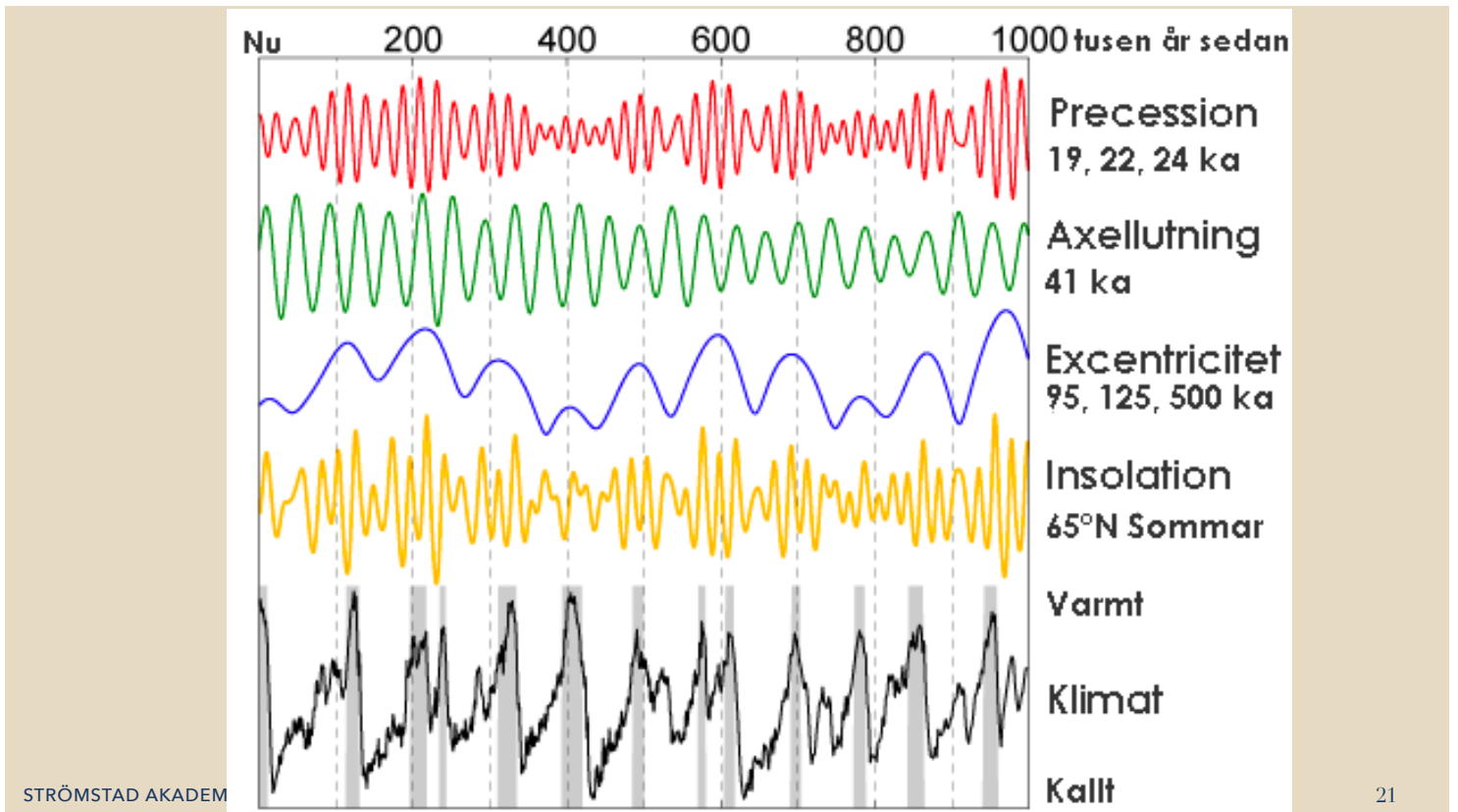
MILANKOVIĆ

- Milutin Milanković (serbiska: Милутин Миланковић) född 28 maj 1879 i Dalj (Kroatien, dåvarande Österrike-Ungern), död 12 december 1958 i Belgrad, var en matematiker, astrofysiker och ingenjör som är mest känd för sin forskning kring hur skillnader i jordens bana kring solen resulterar i klimatförändringar. Teorin kom att kallas Milanković-cykler.



MILANKOVITCH-KURVOR

- En serbisk matematiker, Milutin Milankovitch, räknade ut hur alla dessa förändringar sammanlagt agerar och det blev något som kallas Milankovitch-kurvor. På nästa bild ser vi kurvornas interaktion jämförd med temperaturen på jorden under den senaste årmiljonen på 65:e breddgraden. Vi ser att större delen av tiden har det faktiskt varit istid.
- Milankovitch publicerade denna modell 1941, men han hade redan börjat jobba på den 1920. I den visade han på klimatcyklar på 23 000 och 41 000 år. Senare expeditioner, bl a den svenska Albatrossexpeditionen 1947-48, visade att det även fanns en 100 000 årscykel. Men den studerade tidsrymden, 1 miljon år, anses av en del moderna forskare vara för kort. Längre tillbaka var klimatet varmare och havsisens påverkan mindre.



MÄNNISKANS PÅVERKAN

- Med kunskap om dessa kurvor borde man tämligen exakt kunna beräkna temperaturen
- idag om det inte funnits någon påverkan av människan. Men återkopplingar gör saken
- komplicerad eftersom de återkopplingsprocesser som aktiveras vid olika temperaturer
- är mer komplicerade och kraftigare än man anat och mycket svåra att efterskapa i mod-
- eller. Vi kan därför inte med 100% säkerhet ange en exakt siffra men 98% av klimat-
- forskare är överens om att mänsklig aktivitet är orsaken till den ökande halten CO₂.

ÄR VI INTE PÅ VÄG IN I EN NY ISTID?

- * Därom tvista de lärde. Solstrålningen skulle, allt annat oförändrat, förmodligen leda till detta. Om några 1000- eller 10 000-tals år!
- * Men glaciärerna smälter och istäcket i Arktis minskar, vilket i sin tur minskar albedo-effekten, som i sin tur höjer temperaturen så isarna smälter ännu mer osv.
- * Detta gör att vi kan bryta ett mönster som varit förhärskande i miljoner år.
- * Och då kan man undra: Hur såg det ut tidigare? Hur kom vi hit!
- * Men det är en annan historia!

VÄXTHUSGASERNAS FÖRDELNING

Växthusgas (eller motsvarande)	Andel av totala växthuseffekten på jorden (%) ^[9]
Vattenånga	39–62
Moln	15–36
Koldioxid	14–25
Ozon	2,7–5,7
Dikväveoxid (lustgas)	1,0–1,6
Metan	0,7–1,6
Partiklar	0,3–1,8
CFC ("freoner")	0,1–0,5

VATTENÅNGA OCH KOLDIOXID

- Förekomsten av alla dessa gaser i atmosfären har ökat markant sedan industrialiseringen början, och särskilt under de senaste decennierna [IPCC, 2013b]. Vattenånga har mycket större förmåga att absorbera infraröd strålning än vad koldioxid har, den finns dessutom i betydligt större mängd i atmosfären.
- Trots det spelar koldioxid en stor roll för den globala uppvärmningen. Det beror på att jordytan kyls av när vattenånga bildas genom avdunstning. Vattnets kretslopp skapar därigenom en jämvikt mellan jordens temperatur och mängden vattenånga i atmosfären. När ytterligare en växthusgas, som till exempel koldioxid, tillförs ökar temperaturen något vilket i sin tur ökar avdunstningen och mängden vattenånga i atmosfären. Därigenom förstärker vattenången koldioxidens växthuseffekt.

STRÖMSTAD AKADEMI 2025

VULKANISK VERKSAMHET

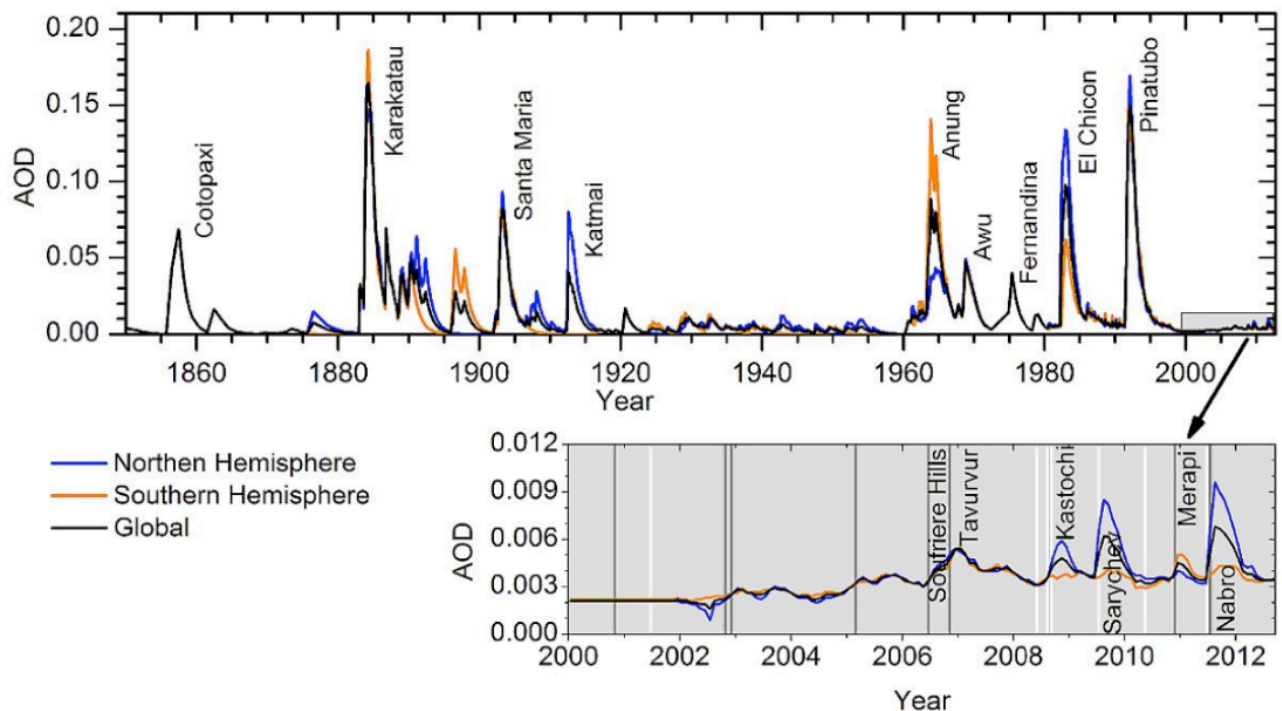


FAKTORER

- Hur stor effekt ett vulkanutbrott har på den globala temperaturen styrs i huvudsak av tre faktorer:
- Mängden partiklar som bildas från utbrottet,
- hur långt upp i atmosfären vulkanplymen når
- vulkanens geografiska läge.

PARTIKLAR

- Vid ett vulkanutbrott sprids små partiklar (en tusendels millimeter) i atmosfären. De kallas aerosoler och sprider inkommande solljus. Temperaturen blir då lägre
- Om ett vulkanutbrott ska inverka på klimatet behöver det nå stratosfären. Stratosfären börjar på cirka 10 km i polartrakterna och cirka 17 km i tropikerna.
- Eftersom det inte finns någon nederbörd som kan rena luften i stratosfären har partiklar som är små nog för att ha en försumbar fallhastighet en lång uppehållstid där.
- Om ett vulkanutbrott sker i tropikerna och når stratosfären, kan partiklarna uppehållas i stratosfären i något eller några år innan de transporteras ned i den underliggande troposfären, där partiklarna snabbt försvinner.
- Om vulkanutbrottet sker på högre breddgrader blir uppehållstiden i stratosfären kortare, varav effekten på temperaturen blir mindre och mer lokal.



NÅGRA HISTORISKA UTBROTT

- Pinatubo på Filippinerna i juni 1991 är det största utbrottet i modern tid. Vulkanen injicerade cirka 20 miljoner ton SO_2 till atmosfären till en höjd av cirka 27 km, det vill säga djupt in i stratosfären. Eftersom vulkanen är belägen nära ekvatorn spreds partiklarna till båda hemisfärerna och gav upphov till en global temperatursänkning som uppskattats ligga runt 0,5 grad
- Ett annat utbrott av historiska mått är det av Tambora år 1815 i Indonesien, vilket nådde en höjd på runt 30 km och tros ha skapat över 100 miljoner ton svavelpartiklar. Partiklarna spreds globalt och bidrog till vad man ibland kallar "året utan sommar", med dåliga skördar, svält och ekonomisk kris som följd på flera håll.

SLUTSATS

- Vulkanutbrott har idag inga betydande effekter på klimatet. De är kortvariga och i regel lokala.
- Däremot har de varit synnerligen betydelsefulla då det gäller att bryta ett snöbollsläge på jorden
- Detta kommer vi att gå genom i en senare föreläsning

STRÖMSTAD AKADEMI

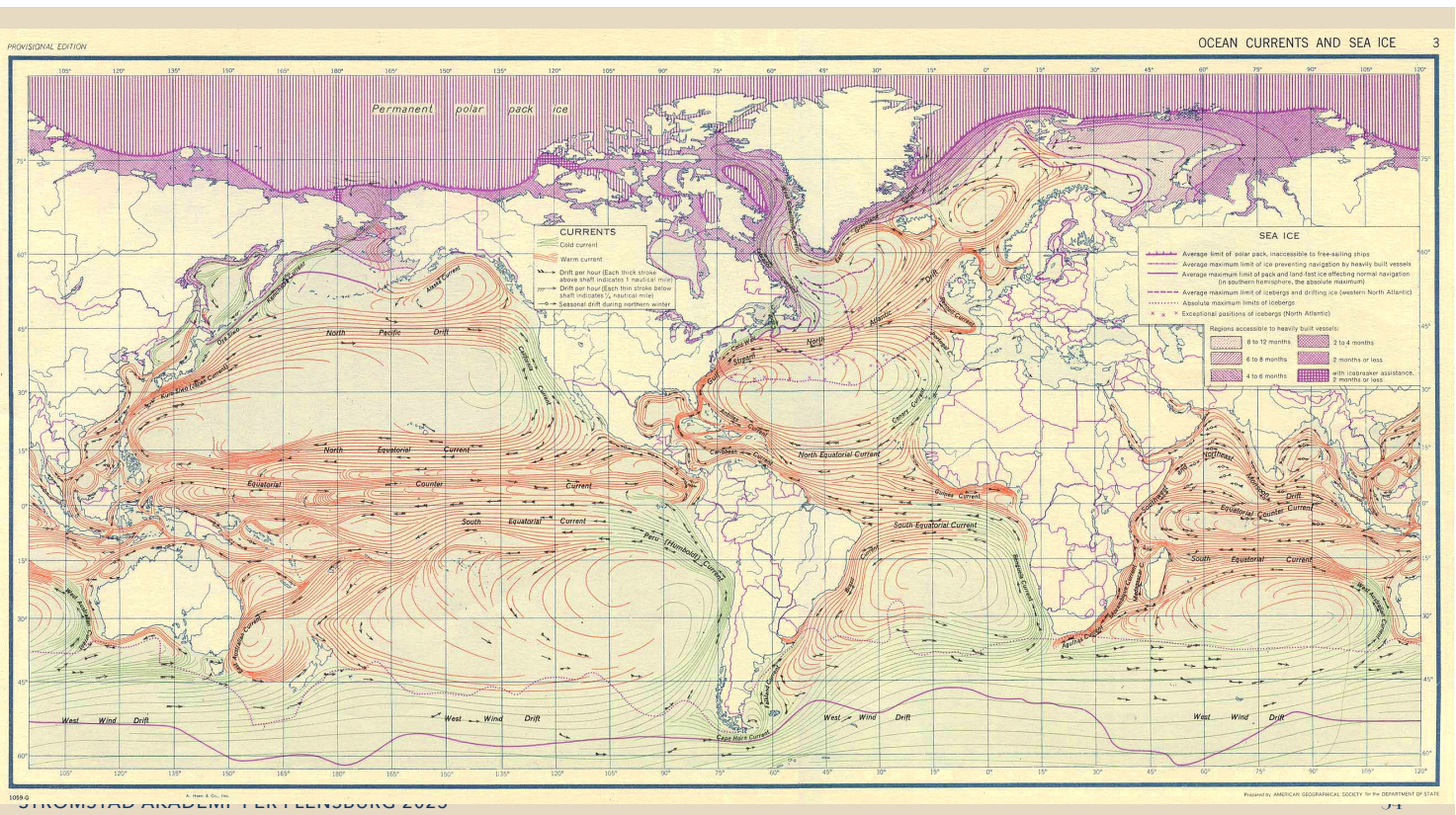
HAVSSTRÖMMAR



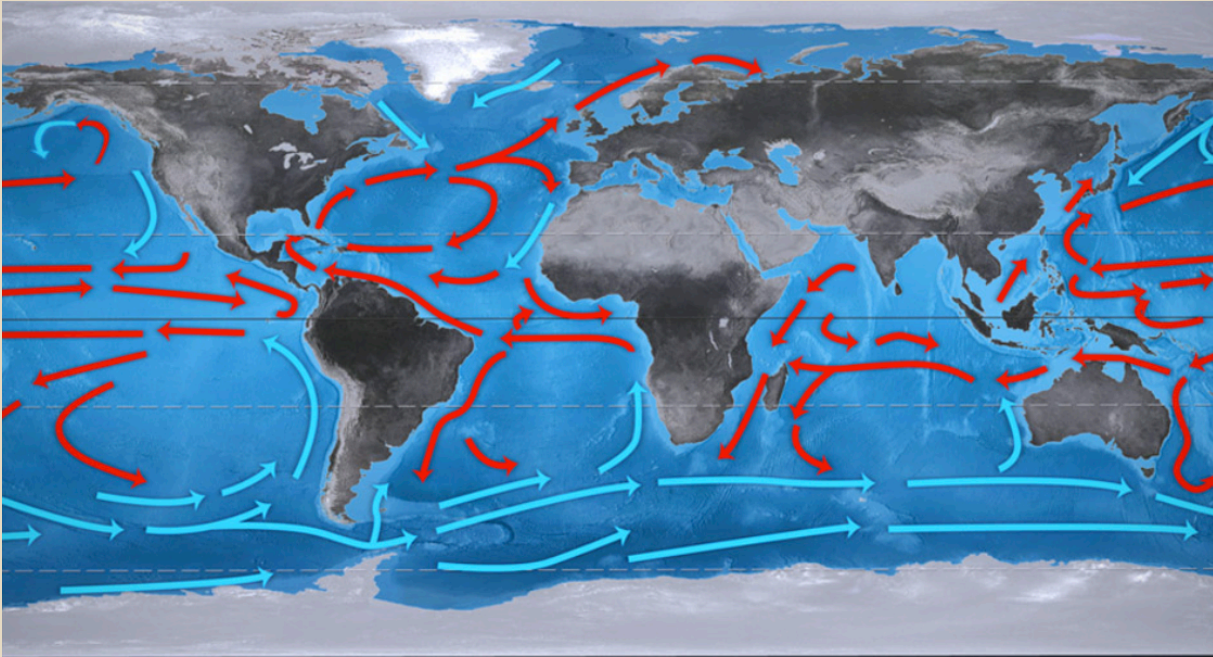
SENIORUNIVERSITETET

VINDDRIVNA HAVSSTRÖMMAR

- Den kraft som är mest betydelsefull för de stora ytliga havsströmmarna är vinden. Vinden påverkar havsytan genom direkt friktion i vindriktningen, men corioliseffekten gör att den här vattenrörelsen inte fortplantas i samma riktning ned i djupare vattenskikt.
- Vattenrörelsen avlänkas vinkelrätt mot vindriktningen, till höger på Norra halvklotet och till vänster på Södra halvklotet. Rörelsen sker i ett 10-200 meter djupt lager, ekmanskiktet, och kallas ekmantransport.



VINDDRIVNA STRÖMMAR



STRÖMSTAD AKADEMI PER FLENSBURG 2025

35

VINDDRIVNA HAVSSTRÖMMAR

- De ytliga havsströmmarna på global skala bestäms av hur ekmantransporterna konvergerar eller divergerar. Strax norr om ekvatorn skapar passadvinden en ekmantransport norrut, och i norr skapar västliga vindar en ekmantransport söderut.
- Den här konvergensen kallas ekmanpumpning och leder till en ansamling av vattenmassor i den subtropiska konvergenzonen, som i sin tur genererar ett utåtriktat tryck.
- Trycket påverkas av corioliseffekten och ger upphov till de stora, anticyklonala subtropiska oceanvirvlar som finns norr om ekvatorn i Stilla havet och Atlanten. Samma krafter verkar även söder om ekvatorn, men med omvänd rotationsriktning. I subarktiska regioner divergerar ekmantransporterna, vilket ger cyklonala virvlar.

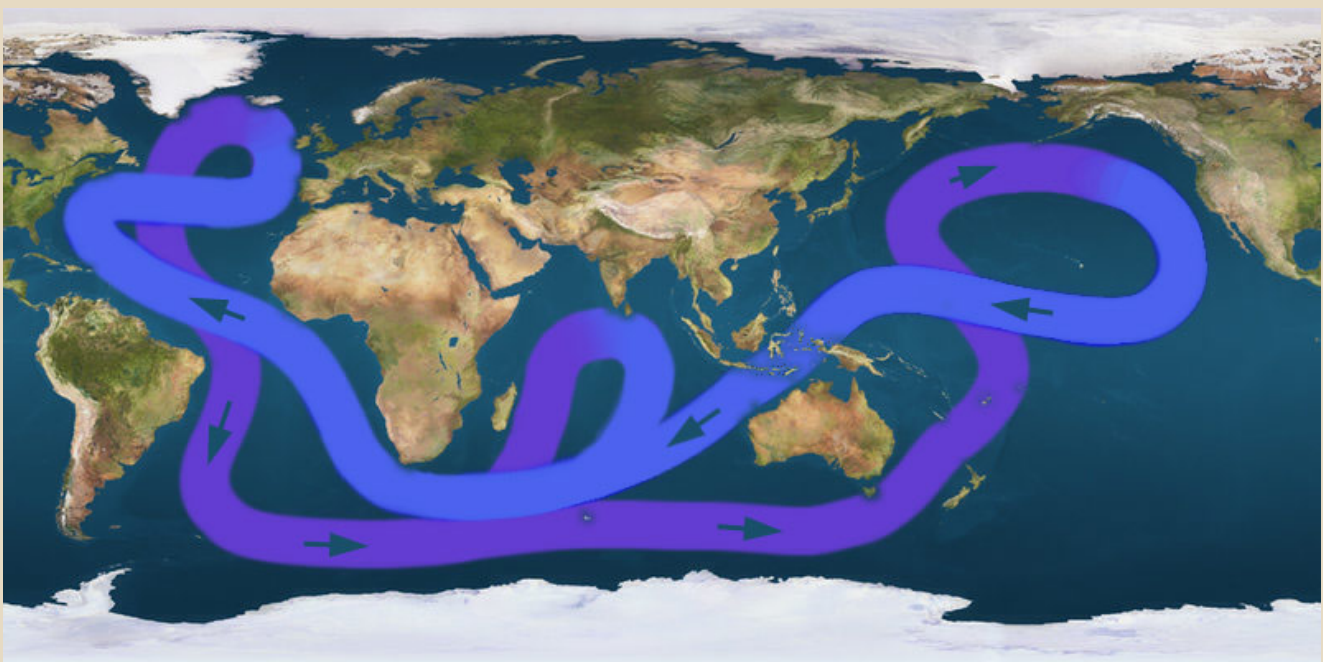
STRÖMSTAD AKADEMI PER FLENSBURG 2025

36

TERMOHALINA HAVSSTRÖMMAR

- Djupa havsströmmar drivs huvudsakligen av skillnader i densitet, som beror på förändringar av vattnets salthalt och temperatur.
- När vattnets densitet ökar som en följd av avkylning och tillförsel av smältvatten på högre latituder sjunker det mot botten. Denna produktion av djupvatten sker endast på ett begränsat antal platser i Nordatlanten och vid Antarktis.
- Det sjunkande djupvattnet skapar undervattensfloder utefter på havsslätterna, och ersätts med varmare och lättare vatten från ekvatorn.
- Systemet kallas för den termohalina cirkulationen eller det termohalina transportbandet. I princip transporterar cirkulationen kallt vatten österut på större djup, med ett ytligare returlopp av varmare vatten i västlig riktning.

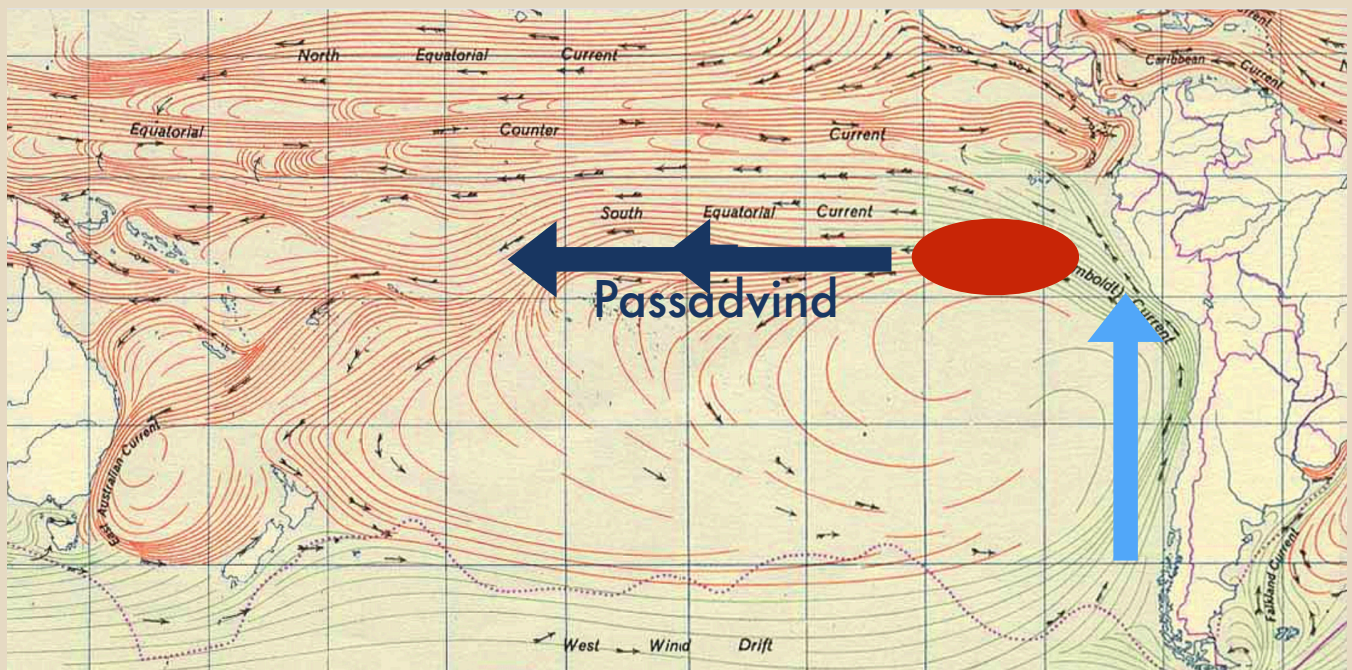
TERMHALINA HAVSSTRÖMMAR



EL NINJO

- Under normala förhållanden driver passadvindar varmt ytvatten från de östra delarna av Stilla havet västerut mot Indonesien och Australien. De varma passadvindarna leder till att vattenytan är ungefär en halvmeter högre och 7,2 °C varmare i Indonesien jämfört med Ecuador.
- Vattnet som drivits västerut ersätts av kallare bottenvatten som strömmar österut och väller upp underifrån för att samlas längs Sydamerikas kust.
- Det kalla vattnet innehåller mycket näring - inte minst nitrater och fosfater - och göder fytoplankton som använder näringen till fotosyntes. Dessa i sin tur leder till ett rikt djurliv
- Uppvällningen av kallt vatten medför att det vanligen är torr luft och torra vid Sydamerikas västkust. Förflyttningen av det varma vattnet från västra Stilla havet resulterar i sin tur i ökad nederbörd runt Indonesien och Nya Guinea.

EL NINJO



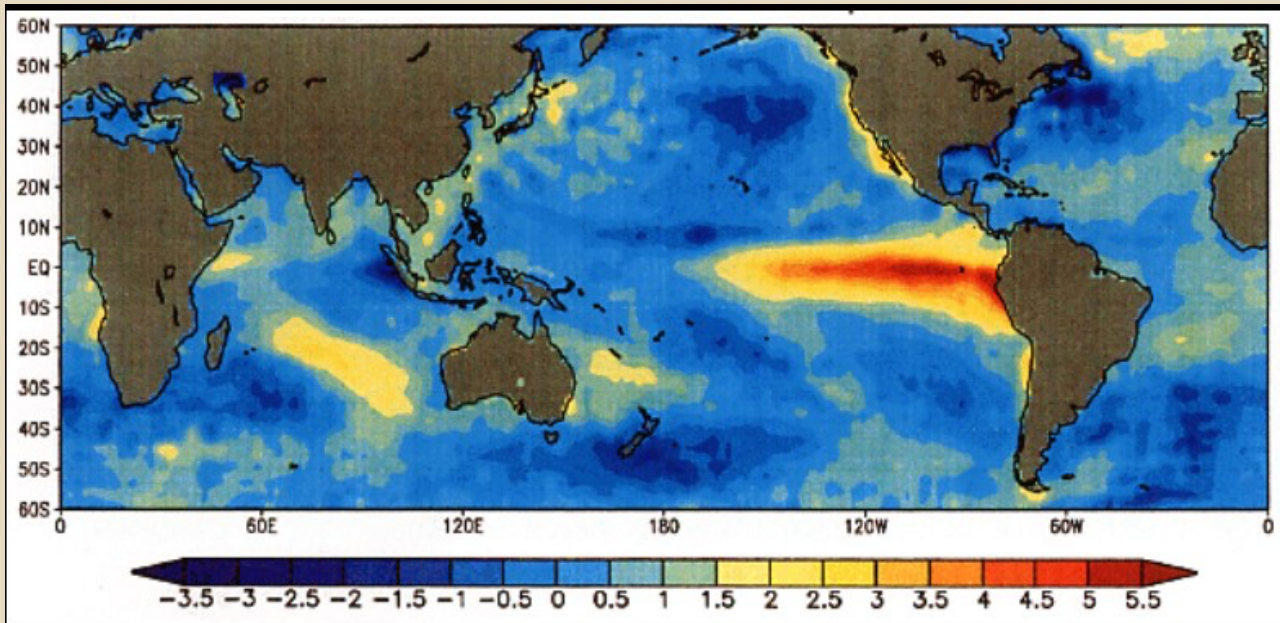
EL NINJO

- På andra sidan Stilla havet i Indonesien och östra Australien råder rakt motsatta förhållanden. Där drabbas man i stället av stigande lufttryck och svår torka vilket slår hårt mot jordbruket och ofta orsakar väldiga skogsbränder.
- El Niño är ett av de kraftfullaste naturfenomen som existerar och påverkar stora delar av världen. I Indiska oceanen och Atlanten finns liknande fenomen som dock är mindre kraftfulla. Det finns tecken som tyder på att El Niño har ett inflytande även över dessa. Under El Niño-perioder stiger också jordens medeltemperatur.
- Men det finns ingen vetenskaplig förklaring till denna variation. Den kan dock tänkas i varje fall delvis bero på den ökande temperaturen på jorden

LA NINJA

- La Niña är El Niños motsats. Nu blir i stället havsvattnet i de östra och centrala Stilla havet ovanligt kallt medan motsatsen gäller i havet utanför Indonesien och Australien.
- Till skillnad från El Niño sänker La Niña jordens medeltemperatur. I mitten av mars 2008 befann sig världen i en stark La Niña-period. Detta medförde att vintern 2007/2008 globalt sett var den kallaste på 14 år.
- Klimatforskarna menar emellertid att den förhållandevis kalla vintern i världen 2007/2008 inte på något sätt innebär att den pågående uppvärmningen av jorden hejdas
- Tvärtom menar man att jordens medeltemperatur åter kommer öka markant så snart La Niña-perioden är slut och att vintern 2007/2008 trots La Niña ändå var varmare än normalt jämfört med perioden 1901-2000.

EL NINJO 1997



FORSKNING

- I slutet av 1950-talet drog FN igång en stor studie för att bättre förstå sambanden mellan vädret på olika platser i världen. 1959 fann den norsk-amerikanske meteorologen Jacob Bjerknes förklaringen till att torrperioderna, och de regniga perioderna på västra respektive östra sidan av Stilla havet alltid sammanföll. El Niño hade ett avgörande inflytande på vädret på platser som låg över 16 000 kilometer från varandra.
- Kommande decennier fann man allt fler samband mellan El Niño och vädret på fler vitt skilda platser i världen. Klimatforskare och historiker har visat att El Niño-fenomenet vid upprepade tillfällen har påverkat historiens förlopp och att meganiños (kraftiga El Niño-perioder som varar åtskilliga år, eller till och med decennier) även utplånat hela kulturer. De senaste åren har forskningen ökat huruvida den globala uppvärmningen kommer påverka El Niño-La Niña-cykeln.

SLUTSATS



UPPSKATTAT MÄNSKLIGT BIDRAG

- Det uppskattade mänskliga bidraget till den globala uppvärmningen var $0,23^{\circ}$ C under det senaste decenniet (2013 till 2022), som publicerats i Earth System Science Data av professor Piers Forster och kollegor,
- Det är baserat på en klimatmodell emulator som drivs av en uppdaterad uppskattning av faktorer inklusive påverkan av växthusgaser och aerosoler på jordens klimat under de senaste åren.

Finito