

Jarl-Ove Strömberg

Kristinebergs Marina Forskningsstation
Fiskebäckskil

Klimatsvängningar och klimatförändringar

Det kan förefalla vara enkelt att skilja mellan klimatsvängningar och en mer eller mindre permanent trend i en klimatförändring. Det är emellertid svårt, eftersom variationer kan innefatta cykliska fenomen med långa och oregelbundna pulser och våra mätningar och registreringar av klimatföreteelser är alltför korta för att vi skall säkert kunna utvärdera vilken förändring vi har att göra med.

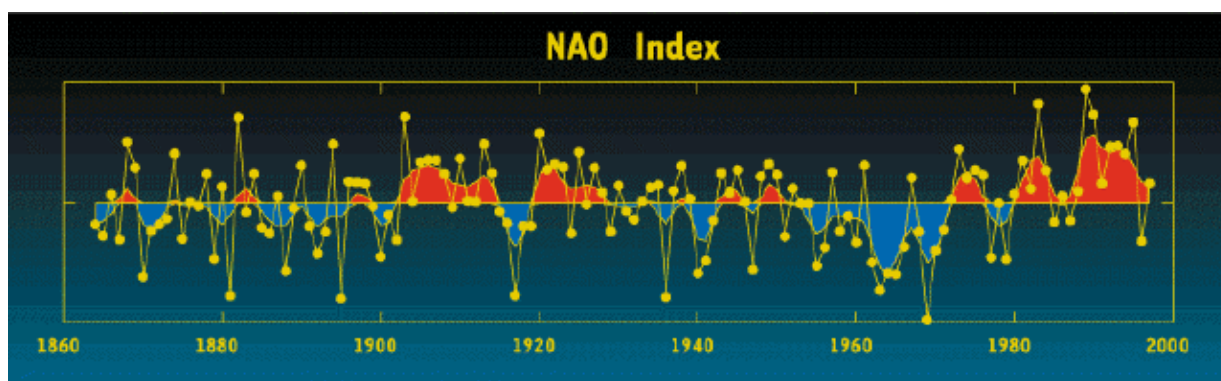
Vi har emellertid några goda exempel på återkommande klimatfenomen med en periodicitet på några få år till några tiotal år. Det första kan exemplifieras med det så kallade ENSO-fenomenet (El Niño/Southern Oscillation) som berör de ekvatoriala delarna av Stilla Havet och det andra med den Nordatlantiska Oscillationen (NAO), som berör havet mellan USA/Kanada och Västeuropa. Även om båda har kunnat studeras i årtionden är våra möjligheter att förutsäga när vi kan förvänta oss förändringar i rådande vädersystem begränsade.

Under en El Niño-period kommer varmt vatten via en östgående ekvatorialström mot Sydamerikas nordliga västkust och tränger undan den kalla ström som normalt passerar norrut längs kusten. Detta får till följd att det regn som normalt faller i havet i stället hamnar på land i områden som annars är torra eller ökenartade. Det kraftiga regnet åstadkommer svåra översvämningar och ofta jordskred. Särskilt sker detta i Perus och norra Chiles kusttrakter som därmed drabbas mycket påtagligt socioekonomiskt. En faktor bakom de förändrade havsströmmarna är en långsam uppbyggnad av varmt havsvatten i den indonesiska regionen (ibland åstadkommen genom att kraftigare passadvindar än normalt pressar vatten västerut) och eftersom det är en öppen kommunikation över Stilla Havet måste det varma vattnet till slut föras österut som en ekvatoriell motström. I mitten av 1970-talet trodde man att effekterna huvudsakligen var lokaliserade till den sydamerikanska västkusten. Den person som först kunde förutsäga att en El Niño var på gång var en kvinnlig forskare från Peru som fann en pelagisk krabba, som normalt inte fanns i det kalla kustvattnet, men som följde med det varmare vattnet in mot kusten. Till saken hör att vid den tiden kvinnor inte tilläts följa med den peruanska marinens båtar ut på undersökningar, men hon kunde i alla fall få material från provtagningarna. Senare har ENSO-fenomenet visat sig vara ett mycket mer komplicerat samspel mellan hav och atmosfär än man tidigare trott och ha mycket vidare klimateffekter - bland annat upp mot Kalifornien och vidare i Sydafrika, Indiska Oceanen och Australien. Möjligheten att förut-

KORRESPONDENS TILL
Prof. Jarl-Ove Strömberg
Kristineberg Marina Forskningsstation,
Fiskebäckskil
e-mail: j.stromberg@kmf.gu.se

säga när dessa händelser skall inträffa är fortfarande begränsade till ungefär ett halvår och de inträffar oregelbundet med intervaller på mellan 2 och 6-7 år. Även styrkan i dessa El Niño varierar kraftigt (1).

NAO är en växling i vinterklimatet i Nordatlanten och har som viktigaste pådrivande faktor skillnader i lufttryck mellan ett (subtropiskt) högtryck över Azorerna och ett (subarktiskt) lågtryck över Island. Vid kraftigare subtropiskt högtryck och lägre än normalt subarktiskt lågtryck får vi vad som kallas ett positivt NAO. Detta innebär att Medelhavsområdet får torrt klimat medan nordvästra Europa och angränsande delar av Asien kommer att domineras av varma sydvästvindar som ger regnigt och delvis stormigt väder. Ett negativt NAO innebär ett regnigt Medelhavsområde och ett torrare och kallare väder med huvudsakligen nordliga vindar över västra och norra Europa. Det subtropiska högtrycket över Azorerna är då svagt liksom lågtrycket över Island (det vill säga små skillnader i lufttryck mellan dessa områden). De olika faserna kan vara från några få till 20 eller fler år. För närvarande (2006) har vi en långvarig positiv NAO (2).



Figur 1. NAO index mellan ca 1860 till 2000 visas här. Positiva värden visas i rött och negativa i blått. Med tillstånd från Prof. Dr. Martin Visbeck. (För mer information se: <http://ideo.columbia.edu/NAO/>)

Med klimatförändring menas en långvarig förändring i bestämd riktning (kanske under hundratals eller tusentals år), som troligen inte kan återgå i motsatt riktning – i varje fall inte i det mänskliga tidsperspektivet. I en geologisk tidsbild har jorden upplevt istider ungefär vart 100 000:e år under den sista millionen år. Detta förefaller bäst passa ihop med förändringar i solinstrålningen mot jorden orsakad av jordens bana runt solen, som växlar mellan en närmast cirkulär till en klart oval sådan. Andra förändringar är jordaxelns lutning, som växlar mellan 22,1 och 24,5 grader fram och åter under en tidsperiod av 41 000 år, och en rotationsvariation med en period på 23 000 år. Otivelaktigt har dessa senare förändringar i jordens rörelser ett inflytande på solstrålningen och därmed det globala klimatet, men deras inflytande är fortfarande oklart. Om man ser på kortvariga cykliska förändringar i solstrålningen, till exempel solfläckarnas periodicitet på 11 år, så har dessa hittills inte kunnat visas ha någon större klimatpåverkan (3).

Global uppvärmning

Om förändringar i solstrålningen inte är orsaken till den globala uppvärmningen måste vi söka efter andra faktorer som kan påverka värmebalansen. Det är en nästan total samstämmighet bland forskare att jordens medeltemperatur under de senaste hundra åren stigit med $0,6^{\circ}\text{C}$ av vilket huvuddelen, $0,4^{\circ}\text{C}$, inträffat under de sista 25 åren. Ökningen är mest påtaglig på norra halvklotet (norr om 20°N) med $0,7^{\circ}\text{C}$ på grund av kontinenternas inflytande, och det faktum att land absorberar värme bättre än vatten. Sydhalvklotet, som domineras av hav, har haft en ökning på $0,3^{\circ}\text{C}$. Det är också en nästan total enighet hos forskarna att den huvudsakliga orsaken till temperaturförändringen är att finna i den ökade koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, särskilt av koldioxid (CO_2) även om metan (CH_4) och lustgas (N_2O) liksom freoner (CCl_2F_2) också bidrar aktivt. Mätningar av koldioxidhalten i atmosfären startade på allvar i slutet av 1950-talet, då en mätstation upprättades på toppen av vulkanen Maona Loa på ön Hawaii. Koncentrationen var då 315 ppm och har på mindre än 60 år ökat till 380 ppm. Den förindustriella koncentrationen har man funnit vara 280 ppm. Genom analys av luften i luftbubblor inneslutna i de tjocka istäckena både på Grönland och på Antarktis har man kunnat få fram att koncentrationen under de senaste 450 000 åren aldrig nådde över 300 ppm och för det mesta var långt under 250 ppm (4). Det råder knappast något tvivel om att den dramatiska ökningen av koldioxidhalten under de sista 100 åren är ett resultat av människans aktiviteter och då särskilt på grund av förbränningen av fossila bränslen. Ökningen från 350 till 380 ppm har tagit mindre än 20 år, medan före den industriella eran den snabbaste ökningen på 30 ppm tog omkring 1000 år. Av den av människan ökade produktionen av koldioxid stannar ungefär hälften i atmosfären medan den andra halvan tas upp i haven. Detta är huvudanledningen till den ökande försurningen av havsvatten (Se mer om detta nedan).

Förenta Nationernas klimatpanel (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) har undersökt olika scenarier för den framtida utvecklingen och har kommit fram till att vid slutet av innevarande sekel skulle koldioxidhalten i atmosfären kunna vara någonstans mellan 490 och 1260 ppm, det vill säga en ökning från den pre-industriella nivån med 75 till 350%.

Under den industriella eran har koncentrationen av metan i atmosfären ökat från 750 ppm till omkring 1600 ppm och motsvarande ökning för lustgaskoncentrationen är från 275 till 315 ppm. Ökningen av metan beror till en del direkt på mänskliga aktiviteter (jordbruk och djurhållning) men också på smältande permafrost i de nordliga tundraregionerna och frisläppning av metan från metanhydrater i sedimentavlagringar i haven. En jämförelse mellan dessa gasers värmeeffekt

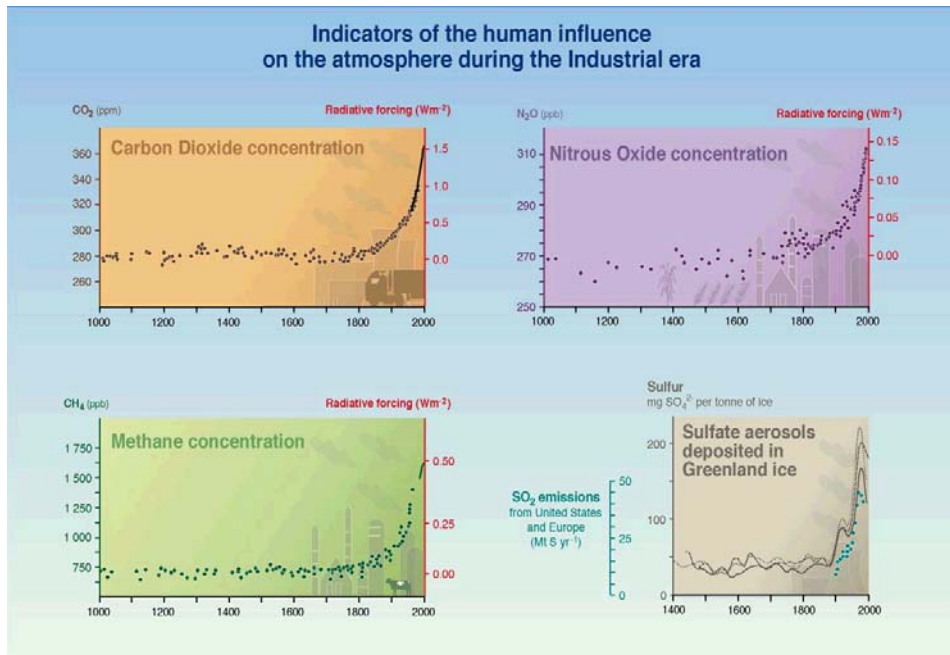
(i Wm^{-2}) ger värden på 1,5 för koldioxid, 0,5 för metan och 0,15 för lustgas.

För flertalet meteorologer och havsforskare betraktas ovanstående som fakta, men det tar lång tid att övertyga politiker och många medier att det är dåliga nyheter och att åtgärder måste vidtas för att begränsa denna klimatförändring. Det var därför överraskande att se framsidan på den amerikanska Time Magazine i början av april 2006 och kunna läsa: "Be worried. Be very worried. Climate change isn't some vague future problem – it's already damaging the planet at an alarming pace" (5). Under hösten 2006 har även de svenska journalisterna vaknat på allvar och tidningarna översvämmas av klimatrapporter.

Hur kommer global uppvärmning att påverka haven?

- *Höjning av havsytan*
 1. Utvidgning av vattnet: när vatten upphettas ökar dess volym: En dubbling av koldioxidhalten i atmosfären (från 350 ppm) har i vissa modeller uppskattats ge en temperaturökning på 3-4°C av havsytan, vilket skulle ge en havsytehöjning på 40-50 cm. För många låga kustområden och mindre öar är detta tillräckligt för att skapa allvarliga problem.
 2. Effekten av smältande kontinentalisar (Grönland och Antarktis): Det finns två olika uppfattningar; (a) en ökad nederbörd på isarnas övre, högt belägna delar skulle bygga på ismassan, men ge ett snabbare flöde av isen mot kanterna, med ökad isbergfrekvens och avsmältning perifert. Ismassan skulle därmed inte påverkas dramatiskt; (b) nederbörden ökar inte nämnvärt över kontinentalisarnas inre delar, men avsmältningen i periferien ökar med en förlust av ismassa som resultat. Havsytan kommer att höjas beroende på graden av avsmältning. Detta skulle kunna betyda minst en meter utöver utvidgningseffekten vid nästa millennieskifte (2100).

Undersökningarna hittills ger inte en enhetlig bild. Mer snöfall har rapporterats på toppen av Grönlandsisen, men det finns också bilder tagna sommartid av stora smältsjöar med issprickor under sig genom vilka vatten skulle kunna dräneras och bilda en eller flera sjöar under isen. I Antarktis har stora områden av shelfisar brutits loss på östra sidan av Antarktishalvön och dessa flyter omkring och smälter så sakteliga. Eftersom en stor del av den västliga Antarktisen har en stor del



Figur 2. Den snabba ökningen i koncentrationen av de tre växthusgaserna (CO_2 , CH_4 och N_2O) och sulfatpartiklar syns tydligt i alla fyra fallen ovan. Källa: Intergovernmental Panel on Climate Change.

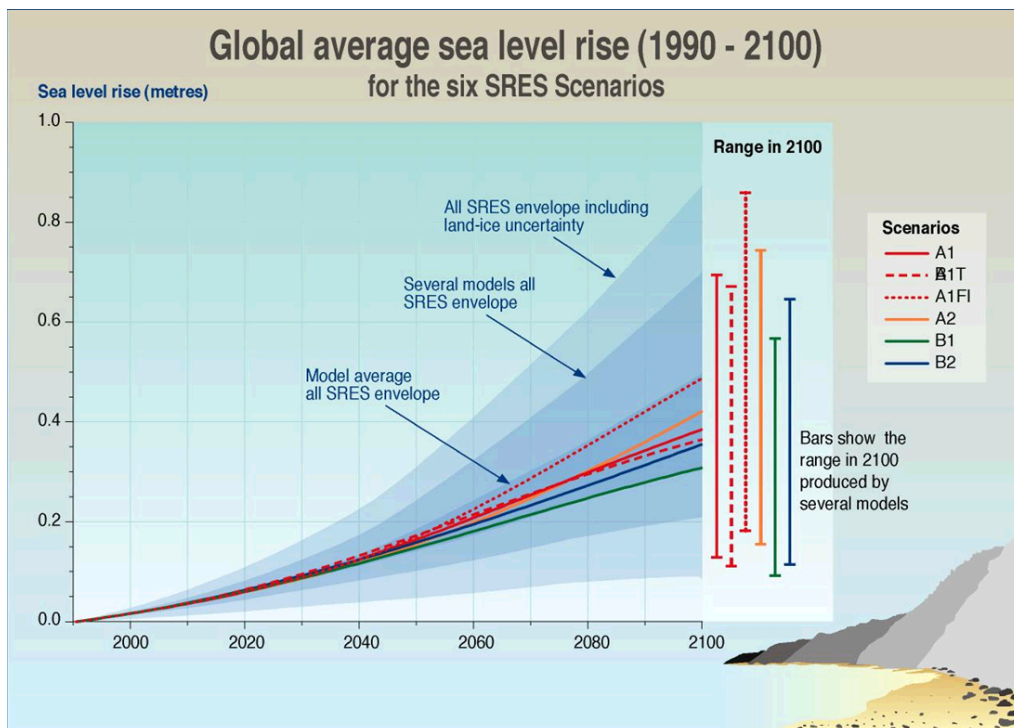
belägen under havsytanivån skulle denna del kunna smälta av snabbare vid ökad havsvattentemperatur. Om detta händer skulle det kunna resultera i en kraftig höjning av havsytan med katastrofala effekter för världens låga kustområden. De flesta modellerna stöder inte en sådan utveckling, men ganska höga lufttemperaturer har nyligen registrerats vid Antarktishalvön. Shelf-isens uppbrytning antyder att denna temperaturhöjning har haft en snabb effekt.

3. Stormvägor: Ökad ytvattentemperatur ger mer energi till orkaner, tyfoner, och monsunvindar, vilket innebär att kustområden kan dränkas tillfälligt med de effekter detta har i form saltvatteninträngning i odlingsområden och förstörelse av byggnader med mera. Under senare år har det funnits en tendens till mer frekventa stormar och kraftigare vindar.

- *Ändringar i havscirkulation och värmetransport*

1. Ändringar i avrinning från land: Varmare luft kan hålla högre fuktighet och öka nederbörden över land och avrinningen mot angränsande havsområden. Nordvästra Europa och Asien kan få en ökad avrinning av sötvatten mot Arktiska oceanen. Detta kan också komma att ske på den Nordamerikanska sidan mot Arktis. Med mera sötvatten på ytan av detta hav kommer det att innebära att den kalla Grönlandsströmmen längs Grönland östkust kommer att vara mindre salt än i nuläget.
2. Smältande havsis: Beroende på höjning av lufttemperaturen över Arktis och möjligen även varmare vatten från både Stilla havet och Atlanten

kommer både utbredningen av havsisen och dess tjocklek att påverkas. Det finns redan rapporter om mindre och tunnare havsis i Arktiska oceanen. Om denna utveckling fortsätter och vi får mer öppet vatten kommer reflektionen av solstrålningen från detta område att minska och mer värme att absorberas i ytvattnet. Detta kan snabba på avsmältningen av havsisen och öka ytan av öppet vatten under sommarmånaderna. Under vintern kommer det utsötade ytvattnet lätt att frysa, men detta ger inte som nu samma tunga och salthaltiga vatten under havsisen och därmed möjlighet till djupvattenbildning.

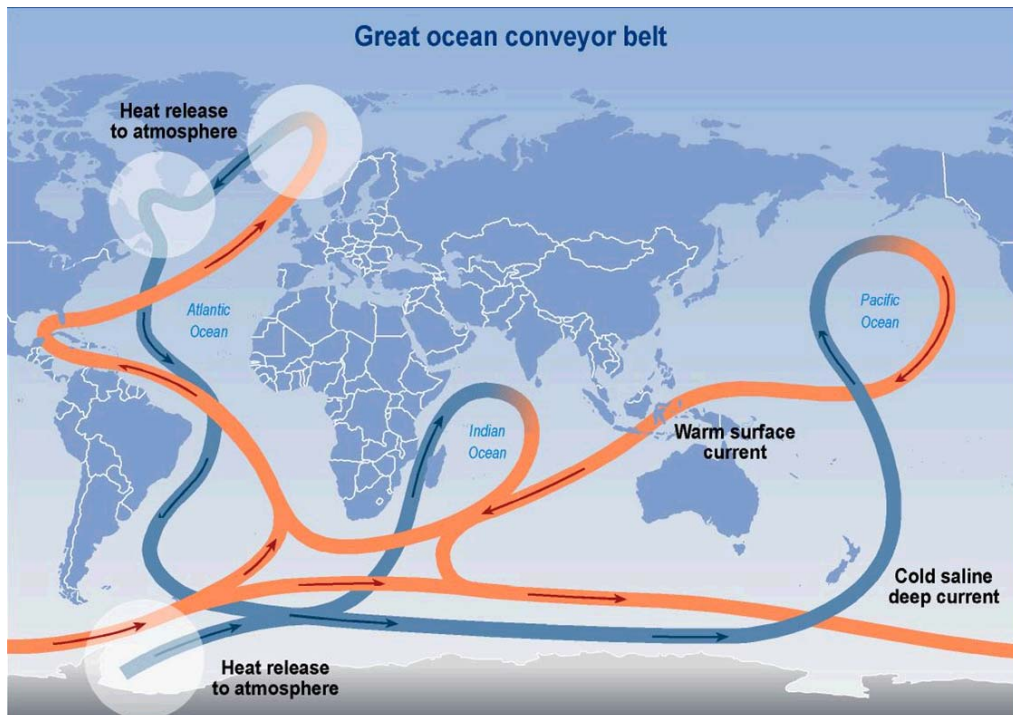


Figur 3. Figuren ovan visar resultatet av olika modeller avseende höjningen av havsytan vid slutet av innevarande sekel. Osäkerheten i avsmältningen av kontinentalisarna på Grönland och Antarktis framgår också. Källa: Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Uppenbarligen kommer detta att ha stora effekter på de övre delarna av det arktiska, marina ekosystemet men också på den vertikala transporten av syre och näringsriktvatten.
- Avsmältning och försvinnande havsis i stora delar av Antarktiskt vatten kan ske med möjliga dramatiska effekter på hela de Antarktiska marina och terrestra ekosystemen.

Ytvattencirkulation och djupvattenkonvektion
 Det finns två huvudområden för djupvattenbildning (konvektion); båda finns inom Atlantsektorns polära områden. Det i norr är i Grönland-Islandshaven eller Labradorhavet. Hit kommer kallt arktiskt vatten via den sydgående Grönlandsströmmen. Under vintern bildas havsis, vilken lämnar saltet i vattnet så att vatten med hög densitet bildas. Detta vatten sjunker och bildar en sydgående djupström. Det har sagts att djupvat-

tenbildningen är själva motorn för den storskaliga havscirkulationen (*ocean conveyor belt*). Skulle



Figur 4. En mycket generaliserad bild av den stora havscirkulationen (*The great ocean conveyor belt*). Blå strömmar går i djuphavet och orange går ytligt i havet. Djupvatten bildas i Nordatlanten och i Weddellhavet vid Antarktis. Djupvattnet kommer upp mot ytan i norra Indiska oceanen och norra Stilla havet. Många viktiga strömmar visas inte på den här bilden, till exempel hur Antarktiskt djupvatten tränger norrut i Atlanten under det Arktiska djupvattnet. Motorn för hela systemet anses vara djupvattenbildningen i Island-Grönlandshavet eller i Labradorhavet. Källa: Intergovernmental Panel on Climate Change.

motorn stanna genom att djupvattenbildningen upphör eller åtminstone reduceras kraftigt i styrka finns det risk att Golfströmmen och dess fortsättning i Transatlantiska strömmen kommer att ta en sydligare bana och därvid ge ett kallare vinterklimat i nordvästra Europa och betydligt varmare sådant i Sydeuropa. För närvarande har man registrerat en svagare djupvattenbildning och en minskad volym på den Transatlantiska strömmen.

Norska forskare har konstaterat att även om volymen i strömmen är mindre är temperaturen något högre, vilket ger i stort sett samma värmetransport till Norska havet och Barentshavet. Datorsimuleringar förutsäger och stöder en svagare värmetransport via havsströmmarna från tropikerna mot högre latituder i Nordatlanten (6).

I Weddellhavet vid Antarktis finns det andra stora stället där djupvatten bildas. Detta djupvatten är tyngre än det arktiska men följer i stort den storskaliga strömmen österut även om det också går norrut i Atlanten och bildar det djupast belägna vattnet hela vägen upp till norr om ekvatorn. I norra delarna av Indiska oceanen och Stilla havet kommer djupströmmen upp mot ytan och förblir sedan en ytström hela vägen tillbaka in i Atlanten. Om djupvattenbildningen, som den ser ut idag, skulle upphöra på grund av den globala uppvärmningen, finns det en risk att vi får en separation mellan ett ythav och ett djuphav. I ythavet skulle en mättnad av koldioxid ske, vilket skulle påskyn-

da ökningen av denna gas i atmosfären och leda till en snabbare uppvärmande effekt.

En negativ effekt på djuphavsfaunorna skulle bli en följd genom den minskade syretillförseln från ytan. Syre kan dock föras ned i djupet i vissa havsområden genom densitetsökning av ytvatten på grund av en mycket kraftig avdunstning orsakad av kraftig solstrålning.

Detta sker redan nu i östra delen av Medelhavet.

- *Ändring av biogeokemin i haven*

1. Salthalt / halokliner: Som tidigare nämnts kan ett överflöd av sötvatten på havsytan i Arktis ha en stor inverkan på djupvattenbildningen (konvektionen) i Grönland-Islandhaven och Labradorhavet. Med stor sannolikhet kommer det också att innebära en förändring i värmebudgeten (in- och utstrålning) i Arktis.

Förändringar i havsisens utbredning kommer säkerligen att påverka den marina planktonfloran. Detta kan sedan ha ett inflytande på produktionen av dimetylsulfid, som avges av vissa arter av fytoplankton, vilket fungerar som kondensationskärnor av vattenånga och därigenom till en stor del är ansvarigt för den arktiska dimman. Denna påverkar både ljus- och värmebudgeten.

2. Turbiditet (partiklar i vattnet): mer flodvatten och smältvatten från kontinentisar och jöklar kommer att föra mer partiklar ut i kustvattnen och även något utanför dessa om partiklarna är små eller lätta.

Detta skulle kunna medföra ändringar i algers vertikalfördelning på grund av ljusberoende. Ökad sedimentbelastning kan skada korallrev och bygga upp labila sedimentskikt på bottnarna, vilket kan leda till turbiditetsströmmar som påverkar bottenfaunorna (benthos) över en rad djupområden.

- *Påverkan på den marina biologin*

1. Några observerade förändringar i abundans (mängd) och utbredning.

Det finns relativt få tydliga exempel på förändringar som kan härledas till global uppvärmning. Alla arter har ett eller flera centra för sin förekomst inom vilka stora fluktuationer i mängd kan förekomma, men där de alltid påträffas.

Ju närmare man kommer periferin av en arts förekomst desto större är risken att arten inte påträffas under kortare eller längre perioder av olika

anledningar, men den kan i alla fall så småningom återkomma. Sådana fluktuationer är vanliga och orsakas ofta av extrema vädersituationer – till exempel tillfälliga extra kalla eller varma säsonger. Dessa kan leda till misslyckad fortplantning, påverka överlevnaden av olika delar av en arters livscyklar, och inverka på tillgången av föda, predationstryck etc. Två exempel kan tas upp här. Det första berör plankton i Nordsjön och det andra klippfaunan i tidvattenszonen vid kusten i centrala Kalifornien.

- a. En måttlig uppvärmning av Nordsjön har registrerats under de senaste årtiondena. Denna har påverkat utbredningen av två planktoniska hoppkräftarter (copepoder), den kalltempererade *Calanus finmarchicus* och den varmtempererade *Calanus helgolandicus*. Arterna är närbesläktade men upptar något olika temperaturnischer. Den förra arten har en temperaturpreferens omkring 10-11°C, och den andra föredrar något högre temperaturer - upp till ca 14°C. *C. helgolandicus* har kommit att dominera i Nordsjön under senare delen av åren, medan tidigare *Calanus finmarchicus* var klart förhärskande under hela året. Den totala biomassan av *Calanus*-arterna har dock minskat kraftigt sedan senare delen av 1980-talet (7).

En förändring i geografisk utbredning är vad som kan förväntas vid en gradvis pågående uppvärmning. En möjlig följd effekt kan vara att fortplantningen hos den europeiska torsken, *Gadus morhua*, har påverkats negativt av förändringen, genom att torskens larvstadier föredrar *C. finmarchicus* som föda. Nedgången av torskbeståndet i Nordsjön kan följaktligen vara en följd av överfiskning i kombination med ändringar i födotillgången på grund av global uppvärmning.

Ett varmare havsvatten innebär inte bara förskjutningar i artutbredningar utan också abundansförändringar. Detta har särskilt observerats i Nordsjön och i angränsande delar av Nordatlanten under perioden 1960 till 1995. Både i planktonprover tagna genom programmet "*The Continuous Plankton Recorder*" administrerat av Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS) och från satellitobservationer har en ganska dramatisk ökning fytoplanktonbiomassan kunnat konstateras (8).

- b. Evertebratfaunan i tidvattenszonen längs den klippiga kusten i centrala Kalifornien studerades i detalj i en jämförelse mellan 1931-33 och 1993-94 (9, 10). En annan undersökning hade visat att under dessa 60 år hade den årliga medeltemperaturen i ytvattnet längs samma kust ökat med

0,75°C och högsta sommartemperaturen var 2,2°C varmare 1983-93 än 1921-31. Slutresultatet av faunastudien var att utav 45 studerade arter hade 8 av de 9 sydliga arterna ökat signifikant i abundans och av 8 nordliga arter hade 5 samtidigt minskat. Möjliga orsaker till förändringen, andra än global uppvärmning beaktades noga men kunde uteslutas, t.ex. ENSO-relaterade effekter, ändringar i predatorpopulationerna, antropogen påverkan eller slumpartad variation.

2. Förutsagda och tänkbara framtida förändringar i utbredning av flora och fauna

a. avseende plankton:

Det råder ingen tvekan om att en gradvis uppvärmning av haven kommer att innebära att många planktonorganismer får förändringar i sina utbredningsområden med en generell förskjutning norrut på norra halvklotet och söderut på södra hemisfären. Det finns en oro för att bakterier och virus, som normalt inte tål kalla eller måttligt varma vatten, kommer att kunna förflytta sig på samma vis. Under varma somrar, som vi upplevt i nordvästra Europa under senare år, har ökad förekomst av *Escherichia coli*-bakterier ofta rapporterats från många populära badplatser, som då tvingats stänga tillfälligt. Detta har hänt oftare under de allra senaste åren. Bakterieutbrotten har uppenbarligen en antropogen bakgrund. De reflekterar inte en ändrad geografisk spridning utan i stället en större möjlighet för överlevnad för bakterierna (t.ex. *E.coli*) i det varmare vattnet sommartid.

Det finns emellertid relativt sena rapporter om massdöd av många allmänna marina taxa på grund av sjukdomsutbrott. Tropiska korallrev som utsatts för höga vattentemperaturer har inte bara blekts; korallernas motståndskraft mot nya sjukdomar har också försvagats, vilket orsakat hög mortalitet.

Även marina däggdjur har blivit offer för nya sjukdomar i en allt högre omfattning. Det förefaller som dessa uppkommer genom värdebyte eller förändring av utbredningsområde för redan kända sjukdomsalstrare. Med nuvarande kunskap är det svårt att avgöra om huvudorsaken för förändringen är klimatrelaterad eller har att göra med mänskliga aktiviteter, men det troliga är en kombination av båda faktorerna (11). Det är sällan som bakterier eller virus som orsakat sjukdomarna har kunnat isoleras och identifieras, men bakterier hittas ofta hos koraller och virus hos sälar, delfiner och fiskar.

Angrepp av protozooparasiter på ostron har man funnit i Mexikanska golfen särskilt i anslutning till El Niño-händelser. Harwell m. fl. (11) konstaterar följande: "...att en bättre förståelse behövs av ursprungen till uppträdande sjukdomar liksom av evertebraternas immunitet innan vi kan utvärdera vilken roll ändrade miljöförhållanden har för spelet mellan värd och patogen (sjukdomsalstrare). Studiet av evertebraternas motståndskraft mot sjukdomar kommer inte bara att förse oss med kunskap för att hantera kommersiella och naturliga populationer utan vi får också fram molekyler och ämnen som kan användas biomedicinskt". Bakterien som orsakar kolera är *Vibrio cholerae*. Den sprids lätt runt jorden och har varit orsak till många pandemier. I detta sammanhang är det av intresse att bakterien har en associering med djurplankton, särskilt kitinförsedda taxa som t.ex. hoppkräftor, vilket innebär att sjukdomens spridning kan ske med havsströmmar längs kustområden.

Bakterien kan också ha en associering med vissa vattenväxter, t.ex. vattenhyacint, och även blågrönbakterier (*Anabaena*). Denna bakterie visar på en klar förbindelse mellan globalt klimat, global klimatförändring och mänsklig hälsa (12).

Ett annat exempel är *Vibrio parahaemolyticus* som orsakar mag- och tarminflammation. Man har funnit den i ostron och eftersom dessa ofta äts råa är risken för infektion hos människor mycket stor. Ett utbrott av sjukdomen som skedde i Alaska 2004 har tillskrivits höjd havsvattentemperatur. Sedan 1997 har den ökat med 0,21°C om året. Före 2004 hade ett utbrott aldrig skett så långt norrut (13).

b. avseende betare och högre predatorer:

I Antarktiska vatten finner vi två dominerande grupper av betare, krill eller lysräkor (särskilt *Euphausia superba*) och salper (t.ex. *Salpa thompsoni*). De förekommer normalt inte i samma vatten. Krill föredrar områden med hög växtplanktonproduktion som t.ex. sydvästra Atlantsektorn, från Antarktishalvön till Sydgeorgien, medan salperna tolererar varmare vatten än krill och ofta i områden med lägre produktivitet. Krillabundansen korrelerar positivt med utbredda havsisområden från föregående vinter. Detta innebär att larvstadier och yngre krill drar nytta av den rika flora av alger som finns på isens undersida under vintern för att som vuxna äta av den rika planktoniska algfloran under sommaren. Krillen är också relativt skyddad för rovdjur under isen.

Ett dominerande inslag i det högre Antarktiska ekosystemet, både i havet och på land, har krill som sin viktigaste föda. I havet gäller detta många bläckfiskar och fiskarter och givetvis också bardvalarna, som kommer till dessa vatten sommertid. De flesta Antarktiska sälarter, alla pingviner och många andra fåglar lever också till mycket stor del på krill, medan det tycks finnas mycket få predatorer på de gelatinösa salperna.

Krill är alltså en nyckelorganism i det Antarktiska ekosystemet och fluktuationer i abundansen kan då ha stort inflytande på näringskedjan i allmänhet. I en nyligen genomförd studie (14) har man funnit att >50% av krillpopulationen finns i den Atlantiska sektorn, som nämnts ovan, men också att deras abundans har minskat sedan 1970-talet medan salpernas har ökat.

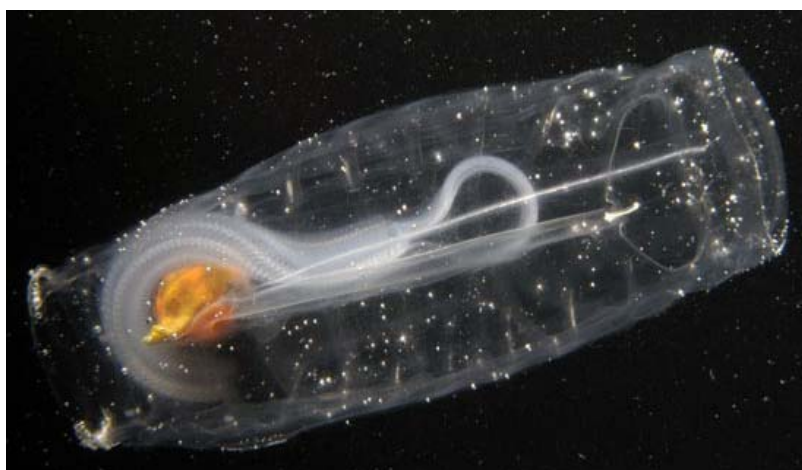
Något förvånande har områdena kring Antarktis-halvön och haven kring denna visat sig vara ett av de kraftigast påverkade området för global uppvärmning, och den väldiga utbredningen av havsis under vintern har minskat medan djuphavstemperaturen har ökat något. Vi kan av detta förvänta oss att få se effekter med minskande populationsstorlekar av predatorer på krillen.

c. avseende kalkförsedda (med skal eller skelett) organismer:

Nyligen har ett nytt hot mot det marina livet avslöjats (15). Med den ökande koncentrationen av koldioxid i atmosfären kommer också mer och mer av denna gas att lösas i det ytliga havsvattenet, vilket leder till en gradvis försurning. Koncentrationsökningen av koldioxid i atmosfären från 280 till 380 ppm sedan början av den industriella revolutionen under det tidiga 1800-talet har lett till att det genomsnittliga pH i oceanernas ytliga vatten har sjunkit från 8,16 till 8,05. Mot slutet av innevarande sekel kan detta värde möjligen gå ner till 7,9. Växter och djur som kommer att påverkas av detta är de som har yttre kalkskelett eller inre stödjande skelettdelar



Figur 6. Krillarten *Euphausia superba* är en nyckelart i Antarktiska marina ekosystemet. Arten förekommer i mycket stora svärmar på åtskilliga ton (ibland i megasvärmar på hundratals ton) även om maximala storleken på en enskild krill är knappt 6 cm. De lever mest på fytoplankton och har valar, sälar, pingviner och andra marina fåglar, liksom fisk och bläckfisk som betydande predatorer. Krillen påträffas nästan aldrig i större mängd i samma vatten som salper. (Foto, J-O Strömberg).



Figur 6. Salper är helt planktoniska och effektiva tunicater som lever på fytoplankton. De kan uppträda som gelatinösa, enskilda individer, som på denna bild av den Antarktiska *Salpa thompsonia*. De kan vid riklig tillgång på föda snabbt föröka sig och bilda långa kedjor av sammanhängande individer. (Foto, Laurence Madin, Woods Hole Oceanographic Institution).

av kalcit, som är den vanligaste kalkformen i ytliga haven, medan djuphavets livsformer oftast har aragonit. En typ av mycket litet växtplankton (Coccolitophorer), med vackert utformade kalcitplattor som ytligt skydd, ger havsvattnet en turkos färg vid riklig förekomst tack vare det reflekterade ljuset från skalen. Experiment har visat att en ökad försurning av vattnet leder till att kalkskyddet minskar till ungefär hälften om koldioxidkoncentrationen tredubblas. Detta påverkar flytförmågan som i sin tur påverkar andra planktonorganismer som lever på dessa mycket allmänt förekommande typer av fytoplankton. Risken är också att de aldrig kan sjunka till havsbotten, varför den bottenlevande faunan (benthos) förlorar en viktig näringskälla.

Andra organismer som påverkas av försurningen är tagghudingar (särskilt sjöborrar), kräftdjur och koraller. Djuplevande koraller har skelett uppbyggda av aragonit, vilket är mer lösligt än kalcit, så dessa kan få ännu större svårigheter att bygga upp sina skelettdelar.

Tropiska korallrev kan också påverkas kraftigt av pH-ändringar vid sidan av risken att exponeras för ökande vattentemperaturer, vilket leder till blekning och utsläppande eller död av de symbiotiska alger (zooxanteller) som är nödvändiga för de revbildande korallernas överlevnad.

Effekten av ett lägre pH i havsvatten är väl dokumenterad i de mjukhudade sjöborrar och sjögurkor, som lever på större djup än ca 3500 meter. På det djupet medför det hydrostatiska trycket att karbonat övergår i bikarbonat (och djuren alltså inte kan bilda skelett). Ytligt levande sjöborrar, som exponerats för vatten med lägre än normalt pH, har klara svårigheter att behålla sina hårda och spetsiga taggar och sitt hårda kroppstäckande skal.

Vid sidan av problem med skeletten har det visat sig att sjunkande pH ger respiratoriska problem hos många djur, varför även metaboliska och andra fysiologiska effekter kan förväntas.

För närvarande har vi endast en begynnande förståelse av de negativa effekterna av ett lägre pH i oceanerna, men det är uppenbart att också små förändringar kan ha stor betydelse för hur marina ekosystem fungerar. Givetvis finns det experter som kritiserar åsikten att försurningen skulle få stora negativa konsekvenser, och de pekar på den stora buffrande kapacitet som finns i oceanerna med de mycket utbredda bottenområden som täcks av kalkhaltiga sediment.

En slutlig intressant synpunkt är att försurningen av oceanerna kan förstärka den globala uppvärmningen. Resonemanget utgår ifrån att coccolitophorer, när de blommar, hjälper till att reflektera ljus från havsytan. Om ett lägre pH reducerar det ljusa kalkskalet på dessa alger eller om deras antal minskar och de ersätts av andra icke reflekterande planktonarter, så kommer mindre ljus att reflekteras bort från haven och mer värme absorberas där. En annan effekt skulle kunna bli en mindre produktion av dimetylsulfid, vilket fungerar som kondensationskärnor för vattenånga och medverkar till molnbildningen över stora havsområden. En minskad molnbildning skulle säkerligen påverka den globala värmebudgeten.

Att lära av tidigare händelser och att förutsäga framtiden

För att kunna förutsäga framtiden är det viktigt att även se bakåt på vad som tidigare hänt och försöka förstå vad som varit orsakerna till dessa händelser. Som tidigare nämnts kan man idag undersöka luftbubblor som inneslutits i kontinentalisarna vid den tid då isen bildades för att få fram tidigare förhållanden i atmosfären. Dessa luftbubblor kan analyseras på den sammansättning luften hade när de inneslöts och det finns nu information som går tillbaks nära 800.000 år från borrhade iskärnor tagna på Antarktis. Man kan också indirekt få temperaturuppfattningar genom att studera relationen mellan olika syreisotoper i luftbubblorna. Detta ger klimatforskare en utmärkt grund för att bedöma den nutida utvecklingen och även möjlighet att modellera framtiden.

Andra sätt att se bakåt är att analysera djuphavssediment, där rester av fytoplankton, foraminiferer, molluskskal och fiskfjäll kan användas för att ge en uppfattning av vad som skett i ytliga vattenlager i haven. Särskilt i områden där bottensedimenten fått ligga orörda och bildar distinkta skikt (s.k. laminerade sediment) kan relativt precisa dateringar göras.

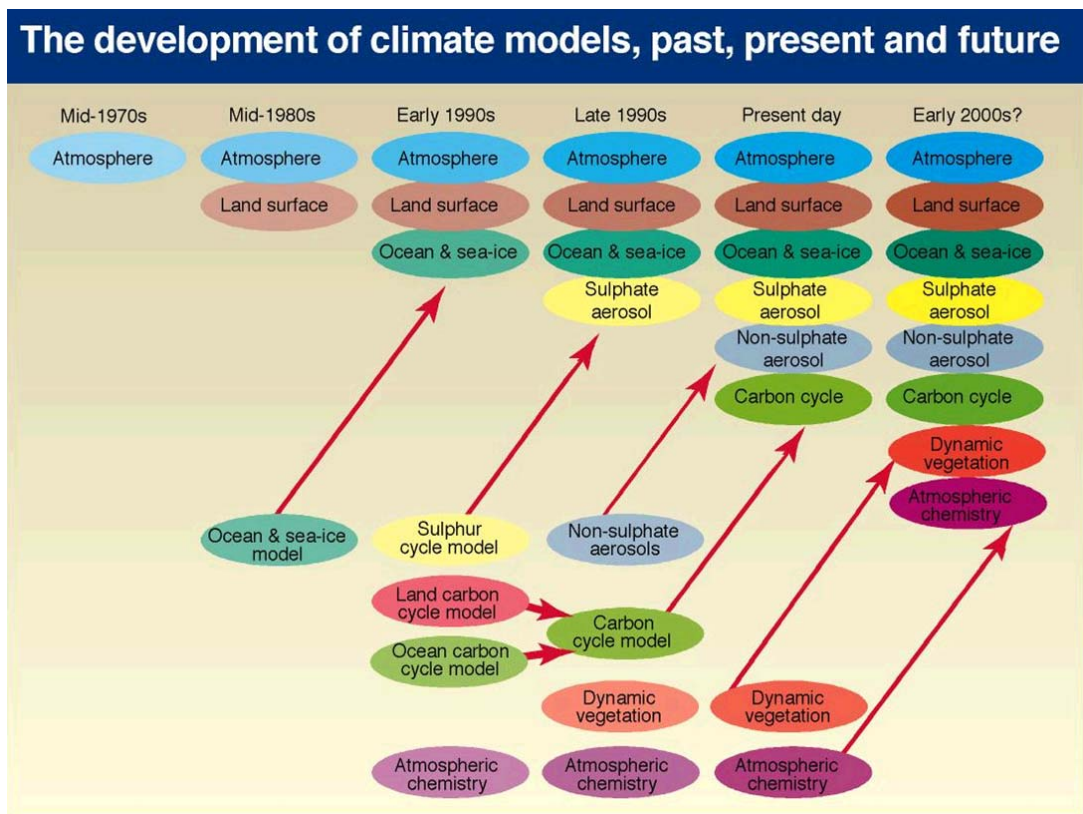
Ett tredje sätt är att studera tillväxtskikt i korallhuvuden eller trädringar i mycket gamla träd och i fossila lämningar. Isotoptekniker finns för att datera åldern i dessa tillväxtskikt.

Dessa uppgifter i kombination med resultat från nutida undersökningar ger en god bakgrund för att utvärdera modeller och se hur väl de passar in i tidigare skeenden.

Att förutsäga framtiden är helt klart svårare och beroende på utvecklingen av allt mer sofistikerade modeller. Modellerna var i början grova, men allteftersom man kunnat ta hänsyn till fler faktorer av betydelse har mo-

dellerna blivit mer pålitliga. Detta är mycket tydligt när det gäller utvecklingen av klimatmodeller.

Det finns alltid faktorer och detaljer som inte tagits tillräcklig hänsyn till, och även större och viktiga sådana kan ha missats. Detta framgår i fall där många olika modeller testats och man funnit stora avvikelser mellan dem. Beträffande den huvudsakliga globala förändringen i framtiden så pekar dock alla i samma riktning. Den globala uppvärmningen är ett faktum. Orsaken i form av växthusgasernas inflytande är också klar. Hur dessa kommer att påverka klimatet regionalt och lokalt kommer givetvis att uppvisa gradskillnader beroende på var på klotet man befinner sig. Vi har en grov uppfattning av hur det marina livet kommer att påverkas, men detaljerna saknas vanligen fortfarande. Inflytandet på mänskligheten kommer att bli dramatiskt med nödvändiga ändringar och anpassningar till många av våra relationer till naturen.



Figur 7. Med allt fler faktorer inkluderade i modellerna blir de allt mer tillförlitliga. Dessa måste testas genom att jämföras med dataserier bakåt i tiden så långt detta är möjligt, liksom med historiska data.

Figuren ger en uppfattning om den gradvis uppbyggda komplexiteten i klimatmodellerna.

Källa: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Några övningar:

a. Det finns flera växthusgaser av betydelse för det globala klimatet. De olika gaserna har olika kraftig påverkan och varaktighet i atmosfären. Leta på nätet upp hur värdena skiljer sig mellan koldioxid, metan och lustgas (på engelska kallas denna påverkan "*radiative forcing*"). Se t.ex. på <http://www.ipcc.ch>, som är FNs klimatpanel.

b. Koldioxid medverkar i utbytet mellan atmosfär och hav. Gasen löses delvis direkt i havsvattnet men tas också aktivt upp i stor mängd av algerna, särskilt av de encelliga algerna, som dominerar kraftigt i haven. De använder koldioxid i fotosyntesen precis som landväxterna. Genom att leta på nätet kan du säkert finna vilka havsområden som har störst betydelse för den fysikaliska nedtransporten av koldioxid. Och var i haven finner vi de största mängderna växtplankton? Var är den s.k. biologiska pumpen mest betydelsefull?

c. Diskutera med dina klasskamrater (1) vad som kan hända om vi skulle få en uppdelning av oceanerna i ett ytligt hav och ett djuphav och (2) varför påverkar permafrostens upptining koncentrationen av växthusgaser i atmosfären?

Referenser och användbar litteratur:

1. <http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.description.html>, 2006; <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/QuickLook.html>, 2006
2. <http://www.ldeo.columbia.edu/NAO/>, 2006
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles, 2006
4. J.R. Petit et al. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.
5. TIME, April 3, 2006
6. Quadfasel, D. (2005) Oceanography: The Atlantic heat conveyor slows. *Nature* 438: 565-566.
7. SAHFOS, <http://192.171.163.165/research>. (2006)
8. P.C. Reid et al. (1998) Phytoplankton change in the North Atlantic. *Nature* 391: 546.
9. J.P. Barry et al. (1995) Climate-related, long-term faunal changes in a California rocky intertidal community. *Science* 267: 672-675.
10. R.D. Sagarin et al. (1999) Climate-related change in an intertidal community over short and long time scales. *Ecological Monographs* 69 (4): 465-490.
11. C.D. Harwell et al. (1999) Emerging marine diseases – Climate links and anthropogenic factors. *Science* 285: 1505-1510.
12. R.R. Colwell (1996) Global climate and infectious disease: The cholera paradigm. *Science* 274: 2025-2031.
13. J.B. McLaughlin et al. (2005) Outbreak of *Vibrio parahaemolyticus* gastroenteritis associated with Alaskan oysters. *New England Journal of Medicine* 353(14): 1463-1470.
14. A. Atkinson et al. (2004) Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature* 432: 100-103.
15. J. Ruttimann (2006) News Feature: Sick seas. *Nature* 442: 978-980.



Tack

Volvox-projektet finanseras av EU:s Sjätte Ramprogram.