

Föreläsning på MVE420: Nya teknologier, global risk och
mänsklighetens framtid

Klimatförändringar

7 maj 2021

Olle Häggström

<https://www.chalmers.se/en/Staff/Pages/olle-haggstrom.aspx>

<http://haggstrom.blogspot.com/>





“We have less than 8 years to save the planet.”

VI HAR BARA 10 ÅR KVAR!

**Vi kommer dö!
Experterna är eniga!
KÄNN PANIK NU!**

Bilar & Koldioxid!

Kött & metangas!

**Varm sommar!
Kall vinter!**

Stormar på hösten!

Sluta grilla & flyga!



**Arktis kommer smälta
år 2000!**

**Nej, 2003. Ah, 2006.
2008!**

**2013! 2016!
2018! Eh 2020!**

Haven svämmar över!

**AVSKAFFA DEMOKRATIN!
Förinta kapitalismen!
RÄDDA PROLETA... KLIMATET!**



“We have less than 8 years to save the planet.”



~~"We have less than 8 years to save the planet."~~



“In Chapter Two, on page 108 in the SR 1.5°C IPCC report that came out in 2018, it says that if we are to have a 67 percent chance of limiting the global average temperature rise to below 1.5°C, we had on January 1st, 2018, about 420 gigatons of CO₂ left to emit in that budget.

And, of course, that number is much lower today, as we emit, about 42 gigatons of CO₂ every year, including in land use. With today's emissions levels, that remaining budget is gone within less than eight years.”



Greta Thunberg ✓

@GretaThunberg

I have never said anything like this, nor will I ever say it. It's never too late to do as much as we can, every fraction of a degree matters. There are of course no magical "dates" for "saving the world". I am only quoting the SR1,5 IPCC report on remaining CO2 budgets.



World Economic Forum ✓ @wef · 19h

.@GretaThunberg tells Davos 2020: We have eight years to save the climate
wef.ch/2GaoJgx @TIME #wef20

[Show this thread](#)

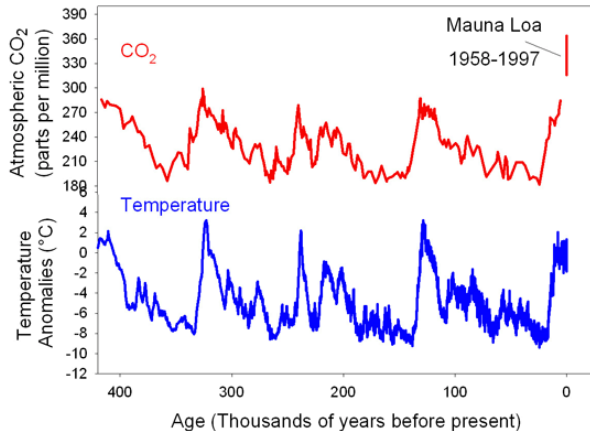


Klimatförändringar är inte något nytt.

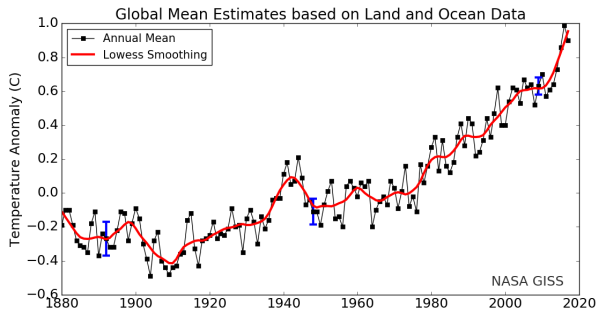
Klimatförändringar är inte något nytt.



Vostok Ice Core, Antarctica

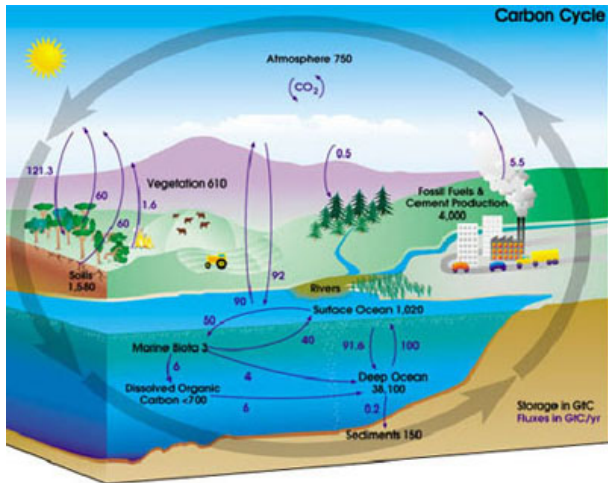


Petit et al. 1999 Nature

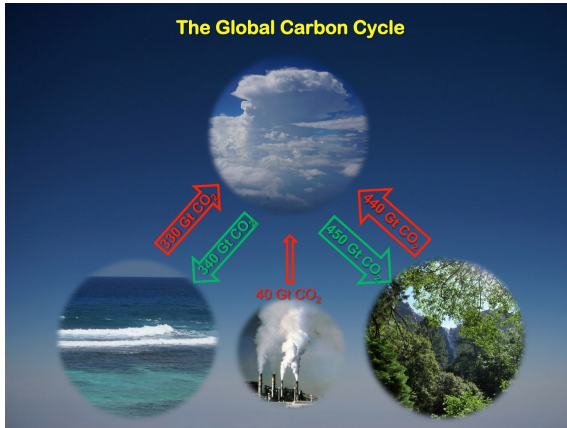


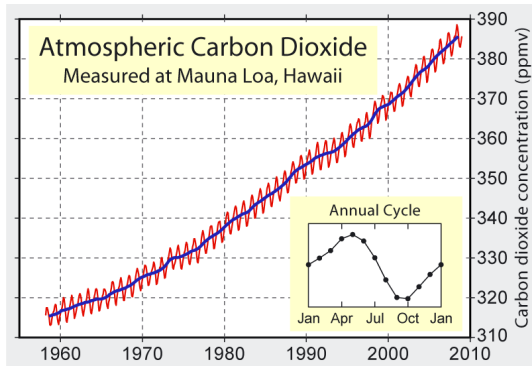
Kolcykeln

Kolcykeln

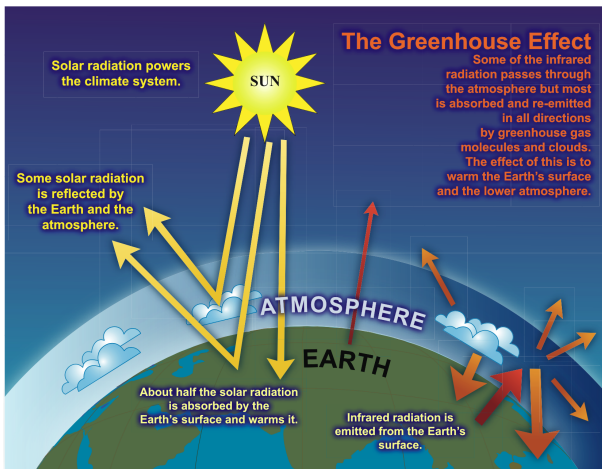


Kolcykeln





Grundläggande fysikalisk mekanism: växthuseffekten



I jämvikt råder vid jordytan strålningsbalans:

$$I_{in} = I_{out} .$$

I jämvikt råder vid jordytan strålningsbalans:

$$I_{in} = I_{out} .$$

Den utgående strålningen I_{out} ges av Stefan–Boltzmanns lag, som säger att

$$I_{out} = \varepsilon \sigma T^4 ,$$

där T är yttemperaturen (mätt i Kelvin), σ är den universella Stefan–Boltzmannkonstanten, och ε är ett tal mellan 0 och 1 som beskriver ytans emissivitet.

Den infallande strålningen I_{in} beror approximativt logaritmiskt på atmosfärens CO_2 -halt. Därför är det naturligt att kvantifiera **koldioxidens klimatkänslighet** $\Delta T_{2\times\text{CO}_2}$ som den höjning av jämviktsmedeltemperatur som blir följden av fördubblad CO_2 -halt.

Den infallande strålningen I_{in} beror approximativt logaritmiskt på atmosfärens CO_2 -halt. Därför är det naturligt att kvantifiera **koldioxidens klimatkänslighet** $\Delta T_{2\times\text{CO}_2}$ som den höjning av jämviktsmedeltemperatur som blir följden av fördubblad CO_2 -halt.

Om det enbart vore för koldioxidens *direkta* växthuseffekt skulle vi med känd strålningsfysik erhålla $\Delta T_{2\times\text{CO}_2} \approx 1 \text{ K}$. Förekomsten av indirekta effekter, främst s.k. återkopplingseffekter, gör problemet svårare. IPCC anger i sin senaste rapport trolighetsintervallet

$$1.5\text{K} \leq \Delta T_{2\times\text{CO}_2} \leq 4.5\text{K}$$



562



After 40 years, researchers finally see Earth's climate destiny more clearly

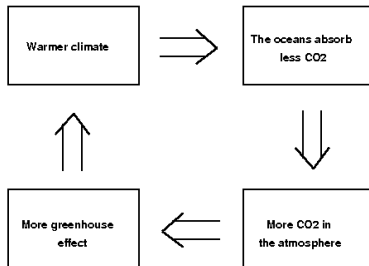
By Paul Voosen | Jul. 22, 2020, 10:00 AM

It seems like such a simple question: How hot is Earth going to get? Yet for 40 years, climate scientists have repeated the same unsatisfying answer: If humans double atmospheric carbon dioxide (CO₂) from preindustrial levels, the planet will eventually warm between 1.5°C and 4.5°C—a temperature range that encompasses everything from a merely troubling rise to a catastrophic one.

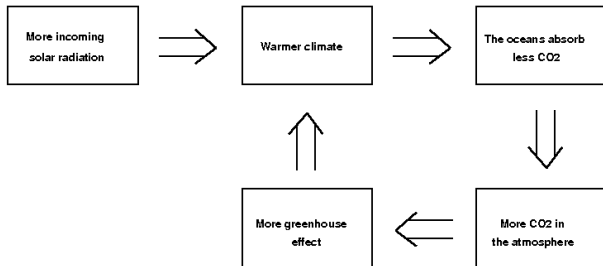
Now, in a landmark effort, a team of 25 scientists has **significantly narrowed the bounds on this critical factor**, known as climate sensitivity. The assessment, conducted under the World Climate Research Programme (WCRP) and publishing this week in *Reviews of Geophysics*, relies on three strands of evidence: trends indicated by contemporary warming, the latest understanding of the feedback effects that can slow or accelerate climate change, and lessons from ancient climates. They support a likely warming range of between 2.6°C and 3.9°C, says Steven Sherwood, one of the study's lead authors and a climate scientist at the University of New South Wales. "This is the number that really controls how bad global warming is going to be."

The new study is the payoff of decades of advances in climate science, says James Hansen, the famed retired NASA climate scientist who helped craft the first sensitivity range in 1979. "It is an impressive, comprehensive study, and I am not just saying that because I agree with the result."

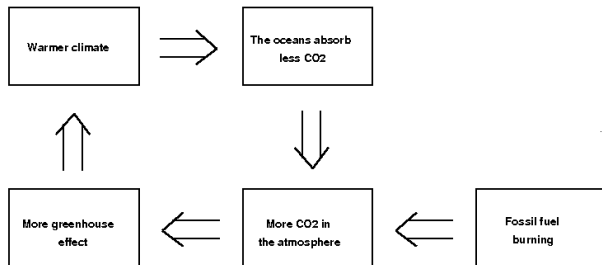
Koldioxidens återkopplingscykel



Koldioxidens återkopplingscykel under pleistocen



Koldioxidens återkopplingscykel från ca 1900 och framåt



Vart klimatet tar vägen det närmaste århundradet beror på många faktorer,

Vart klimatet tar vägen det närmaste århundradet beror på många faktorer, kanske framför allt

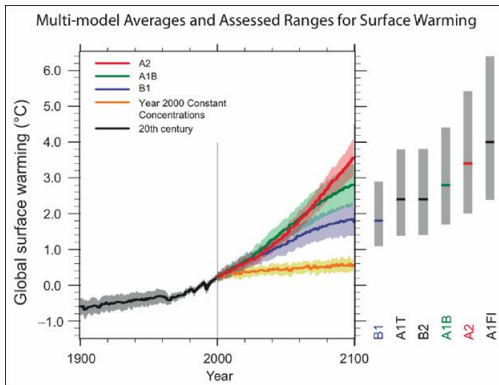
- ▶ värdet på klimatkänsligheten,

Vart klimatet tar vägen det närmaste århundradet beror på många faktorer, kanske framför allt

- ▶ värdet på klimatkänsligheten, och
- ▶ hur vi gör med våra utsläpp.

Vart klimatet tar vägen det närmaste århundradet beror på många faktorer, kanske framför allt

- ▶ värdet på klimatkänsligheten, och
- ▶ hur vi gör med våra utsläpp.



De flesta bedömare menar att konsekvenserna av flera graders ytterligare uppvärmning skulle bli allvarliga,

De flesta bedömare menar att konsekvenserna av flera graders ytterligare uppvärmning skulle bli allvarliga, och inkludera t.ex.

- ▶ höjning av havsytan som kan dränka stora kustnära områden,

De flesta bedömare menar att konsekvenserna av flera graders ytterligare uppvärmning skulle bli allvarliga, och inkludera t.ex.

- ▶ höjning av havsytan som kan dränka stora kustnära områden,
- ▶ massutrotningar,

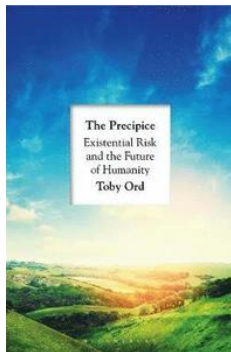
De flesta bedömare menar att konsekvenserna av flera graders ytterligare uppvärmning skulle bli allvarliga, och inkludera t.ex.

- ▶ höjning av havsytan som kan dränka stora kustnära områden,
- ▶ massutrotningar,
- ▶ försämrade förutsättningar för jordbruk på låga breddgrader,

De flesta bedömare menar att konsekvenserna av flera graders ytterligare uppvärmning skulle bli allvarliga, och inkludera t.ex.

- ▶ höjning av havsytan som kan dränka stora kustnära områden,
- ▶ massutrotningar,
- ▶ försämrade förutsättningar för jordbruk på låga breddgrader,
- ▶ stora flyktingströmmar.

Ur Toby Ords *The Precipice*

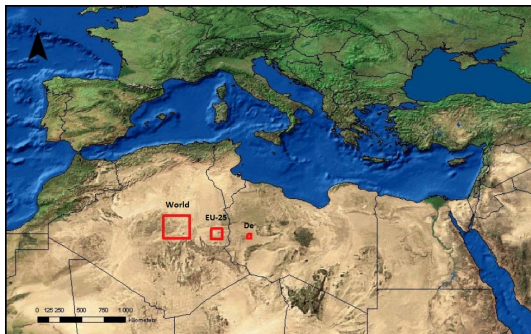


<i>Existential catastrophe via</i>	<i>Chance within next 100 years</i>
Asteroid or comet impact	~ 1 in 1,000,000
Supervolcanic eruption	~ 1 in 10,000
Stellar explosion	~ 1 in 1,000,000,000
Total natural risk	~ 1 in 10,000
Nuclear war	~ 1 in 1,000
Climate change	~ 1 in 1,000
Other environmental damage	~ 1 in 1,000
'Naturally' arising pandemics	~ 1 in 10,000
Engineered pandemics	~ 1 in 30
Unaligned artificial intelligence	~ 1 in 10
Unforeseen anthropogenic risks	~ 1 in 30
Other anthropogenic risks	~ 1 in 50
Total anthropogenic risk	~ 1 in 6
Total existential risk	~ 1 in 6

TABLE 6.1 My best estimates for the chance of an existential catastrophe from each of these sources occurring at some point in the next 100 years (when the catastrophe has delayed effects, like climate change, I'm talking about the point of no return coming within 100 years). There is significant uncertainty remaining in these estimates and they should be treated as representing the right order of magnitude—each could easily be a factor of 3 higher or lower. Note that the numbers don't quite add up: both because doing so would create a false feeling of precision and for subtle reasons covered in the section on 'Combining Risks'.

Potentialen att ställa om finns.

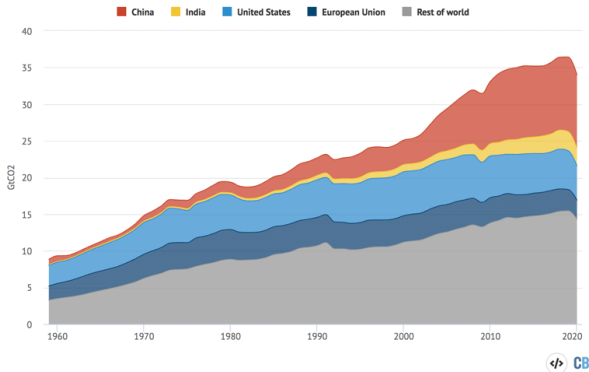
Potentialen att ställa om finns.



Ändå händer inte mycket.

Ändå händer inte mycket.

Global CO2 emissions from fossil fuels by region, 1959-2020



Finns det en plan B?

Finns det en plan B?

Vissa pekar på **geoengineering**-metoder,

Finns det en plan B?

Vissa pekar på **geoengineering**-metoder, som är av två slag:

- ▶ koldioxidborttagning

Finns det en plan B?

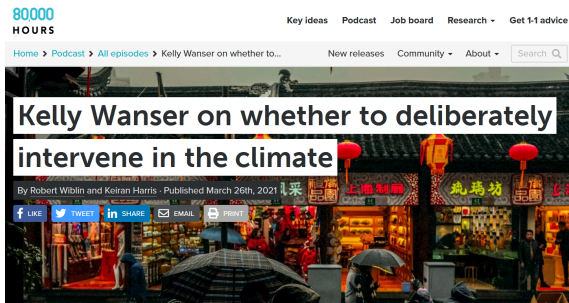
Vissa pekar på **geoengineering**-metoder, som är av två slag:

- ▶ koldioxidborttagning
- ▶ solskyddsmetoder

Finns det en plan B?

Vissa pekar på **geoengineering**-metoder, som är av två slag:

- ▶ koldioxidborttagning
- ▶ solskyddsmetoder



Men varför går det så trögt?

Men varför går det så trögt?

De tekniska svårigheterna med omställning till grön energi etc verkar vara överkomliga. Flaskhalsen tycks snarare ligga på ett socialt och politiskt plan: vem skall bära kostnaderna? Här finns både en **rum**s- och en **tidsaspekt**:

Men varför går det så trögt?

De tekniska svårigheterna med omställning till grön energi etc verkar vara överkomliga. Flaskhalsen tycks snarare ligga på ett socialt och politiskt plan: vem skall bära kostnaderna? Här finns både en **rums-** och en **tidsaspekt**:

Rumsaspekten: Kostnaden för utsläppsminskningsåtgärder (t.ex. att avveckla kolkraftverk och bygga vindkraftverk istället) bärs lokalt, medan nyttan sprids globalt.

Men varför går det så trögt?

De tekniska svårigheterna med omställning till grön energi etc verkar vara överkomliga. Flaskhalsen tycks snarare ligga på ett socialt och politiskt plan: vem skall bära kostnaderna? Här finns både en **rums-** och en **tidsaspekt**:

Rumsaspekten: Kostnaden för utsläppsminskningsåtgärder (t.ex. att avveckla kolkraftverk och bygga vindkraftverk istället) bärs lokalt, medan nyttan sprids globalt.

Tidsaspekten: Kostnaden för dessa åtgärder drabbar oss idag, medan större delen av nyttan går till kommande generationer.

Rumsaspekten har den struktur som benämns **allmänningens tragedi (tragedy of the commons)**, efter en uppsats av Garrett Hardin från 1965.



Rumsaspekten har den struktur som benämns **allmänningens tragedi (tragedy of the commons)**, efter en uppsats av Garrett Hardin från 1965.



Bönderna i en by har var och en ett stycke egen mark, men också tillgång till en gemensam allmänning som kan utnyttjas för de egna betesdjuren. Var och en tjänar på att utnyttja allmänningen, men om alla eller nästan alla gör det överlastas allmänningen och den förtvinar.

Jämför:

Jämför:

- ▶ Om var och en av bönderna i byn följer sitt ekonomiska egenintresse så går allmänningen under och alla förlorar på det.

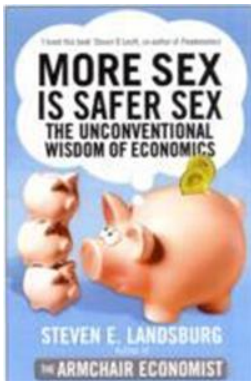
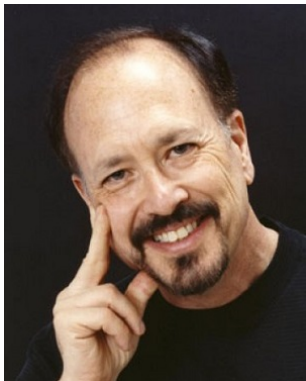
Jämför:

- ▶ Om var och en av bönderna i byn följer sitt ekonomiska egenintresse så går allmänningen under och alla förlorar på det.
- ▶ Om varje land på jorden följer sitt ekonomiska egenintresse och överlåter till utlandet att stå för omställningen till fossilfri energi (“vårt eget lilla land gör ju ingen större skillnad för utsläppen”) så fortskrider den globala uppvärmningen och alla förlorar på det.

Ofta föreslagen lösning: **externalitetsinternalisering**.



Det som fick mig att börja tvivla på externalitetsinternaliseringen som universallösning var ekonomen Steven Landsburgs behandling av brandförsvar.



Tidsaspekten handlar om hur vi skall väga kostnader (för t.ex. utsläppsminskningar) idag mot förmodade vinster i framtiden.

Tidsaspekten handlar om hur vi skall väga kostnader (för t.ex. utsläppsminskningar) idag mot förmodade vinster i framtiden. Detta brukar hanteras med en så kallad **diskonteringsränta** r . Om t.ex. $r = 2\%$, så betyder det att vi värderar en intäkt om \$1000 fördröjd t år in i framtiden lika högt som en intäkt idag om $\$1000 \cdot (1 - 0,02)^t$.

Tidsaspekten handlar om hur vi skall väga kostnader (för t.ex. utsläppsminskningar) idag mot förmodade vinster i framtiden. Detta brukar hanteras med en så kallad **diskonteringsränta** r . Om t.ex. $r = 2\%$, så betyder det att vi värderar en intäkt om \$1000 fördröjd t år in i framtiden lika högt som en intäkt idag om $\$1000 \cdot (1 - 0,02)^t$.

r	10 år	100 år
0,1%	0,99	0,90
1%	0,90	0,37
1,4%	0,87	0,24
3%	0,74	0,048
6%	0,54	0,0021

Oenighet råder om lämpligt val av diskonteringsränta r , men de flesta ekonomer anser att **Ramseys formel** är ett bra ramverk för val av r :

$$r = \eta g + \delta$$

Oenighet råder om lämpligt val av diskonteringsränta r , men de flesta ekonomer anser att **Ramseys formel** är ett bra ramverk för val av r :

$$r = \eta g + \delta$$

där

- ▶ δ är den s.k. **rena tidspreferensen**, dvs hur mycket viktigare vi finner vår egen välfärd idag vara jämfört med framtida generationers,

Oenighet råder om lämpligt val av diskonteringsränta r , men de flesta ekonomer anser att **Ramseys formel** är ett bra ramverk för val av r :

$$r = \eta g + \delta$$

där

- ▶ δ är den s.k. **rena tidspreferensen**, dvs hur mycket viktigare vi finner vår egen välfärd idag vara jämfört med framtida generationers,
- ▶ g är förväntad framtida tillväxttakt i ekonomin,

Oenighet råder om lämpligt val av diskonteringsränta r , men de flesta ekonomer anser att **Ramseys formel** är ett bra ramverk för val av r :

$$r = \eta g + \delta$$

där

- ▶ δ är den s.k. **rena tidspreferensen**, dvs hur mycket viktigare vi finner vår egen välfärd idag vara jämfört med framtida generationers,
- ▶ g är förväntad framtida tillväxttakt i ekonomin,
- ▶ η är den s.k. **riskaversionskoefficienten**, definierad som det η för vilket nyttan $u(x)$ av ekonomisk tillgång x beter sig så att marginalnyttan $\frac{du(x)}{dx} \sim x^{-\eta}$.

Idén med termen ηg i Ramseys formel $r = \eta g + \delta$ är att om framtida generationer är rikare än vi så är vi i större behov än de av ett extra ekonomiskt tillskott.

Idén med termen ηg i Ramseys formel $r = \eta g + \delta$ är att om framtida generationer är rikare än vi så är vi i större behov än de av ett extra ekonomiskt tillskott.

Två specialfall:

- ▶ $\eta = 0$ svarar mot $\frac{du(x)}{dx} = C$ och att ett givet ekonomiskt tillskott betyder exakt lika mycket för fattig som för rik. Knappast särskilt realistiskt.

Idén med termen ηg i Ramseys formel $r = \eta g + \delta$ är att om framtida generationer är rikare än vi så är vi i större behov än de av ett extra ekonomiskt tillskott.

Två specialfall:

- ▶ $\eta = 0$ svarar mot $\frac{du(x)}{dx} = C$ och att ett givet ekonomiskt tillskott betyder exakt lika mycket för fattig som för rik. Knappast särskilt realistiskt.
- ▶ $\eta = 1$ svarar mot $\frac{du(x)}{dx} = \frac{C}{x}$ och $u(x) = C \log(x)$, så att ett givet *relativt* tillskott betyder lika mycket för fattig som för rik (en extra krona för den som har 1000 kr betyder lika mycket som en extra hundralapp för den som har 100 000 kr). Måhända mer realistiskt?

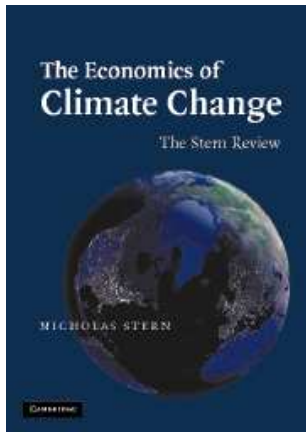
Idén med termen ηg i Ramseys formel $r = \eta g + \delta$ är att om framtida generationer är rikare än vi så är vi i större behov än de av ett extra ekonomiskt tillskott.

Två specialfall:

- ▶ $\eta = 0$ svarar mot $\frac{du(x)}{dx} = C$ och att ett givet ekonomiskt tillskott betyder exakt lika mycket för fattig som för rik. Knappast särskilt realistiskt.
- ▶ $\eta = 1$ svarar mot $\frac{du(x)}{dx} = \frac{C}{x}$ och $u(x) = C \log(x)$, så att ett givet *relativt* tillskott betyder lika mycket för fattig som för rik (en extra krona för den som har 1000 kr betyder lika mycket som en extra hundralapp för den som har 100 000 kr). Måhända mer realistiskt?

Ju större η , desto viktigare att fördela ekonomiska resurser jämnt.

Diskussionen om val av diskonteringsränta hettade till 2006 när brittiske nationalekonomen Sir Nicholas Stern presenterade sin radikala rapport om klimatekonomi.



- ▶ Stern förordar $\eta = 1$, $g = 1,3\%$ och $\delta = 0,1\%$, så att $r = \eta g + \delta = 1,4\%$.

- ▶ Stern förordar $\eta = 1$, $g = 1,3\%$ och $\delta = 0,1\%$, så att $r = \eta g + \delta = 1,4\%$.
- ▶ Harvardekonomen Martin Weitzman förordade $\eta = 2$, $g = 2\%$ och $\delta = 2\%$, så att $r = 6\%$.

- ▶ Stern förordar $\eta = 1$, $g = 1,3\%$ och $\delta = 0,1\%$, så att $r = \eta g + \delta = 1,4\%$.
- ▶ Harvardekonomen Martin Weitzman förordade $\eta = 2$, $g = 2\%$ och $\delta = 2\%$, så att $r = 6\%$.

Detta leder till radikalt olika bedömningar av hur angeläget och bråttom det är med utsläppsminskningar och andra klimatåtgärder. Stern förordar snabb avveckling av våra växthusgasutsläpp, medan Weitzmans val av r gör att de framtida kostnaderna för klimatförändringar i högre grad diskonteras bort, så att utsläppsminskningar idag blir mindre viktiga.