



Ilmastoarviot: epävarmuudet ja todennäköisyydet

Jouni Räisänen,
Helsingin Yliopiston fysikaalisten tieteiden laitos

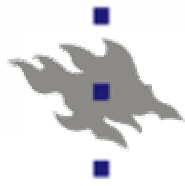
Kirsti Jylhä,
Ilmatieteen laitos

Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma
Kevätkokous
28.2.2007

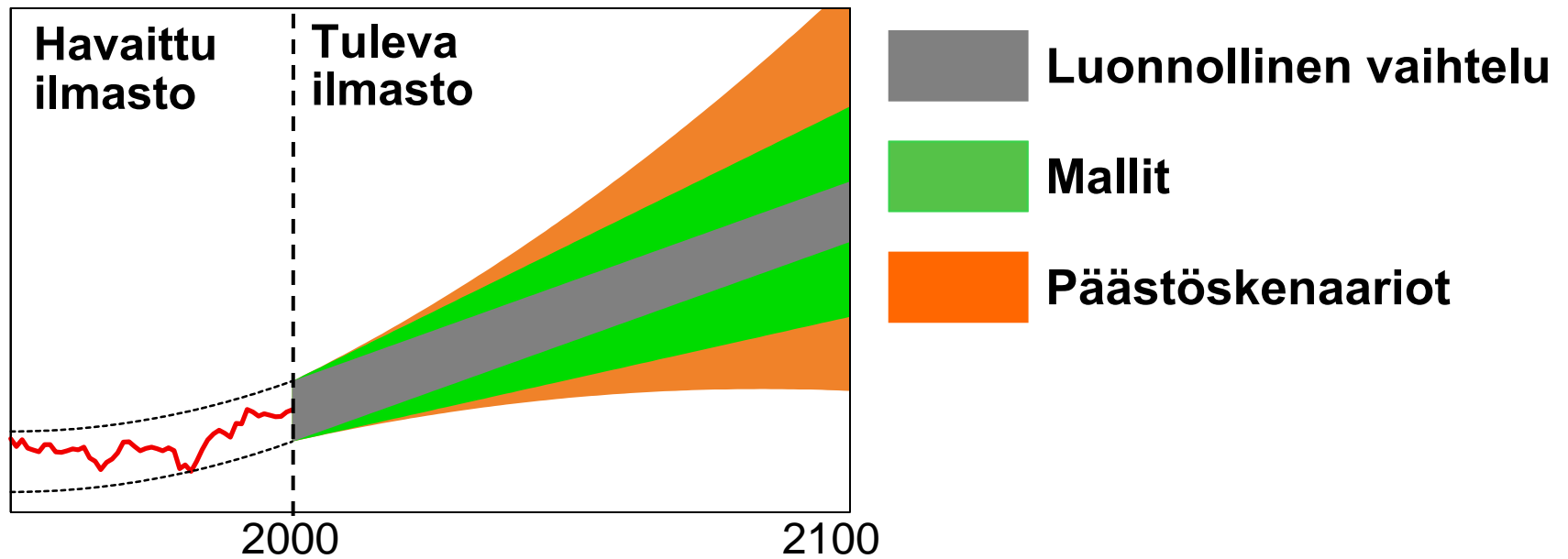


Miksi tulevaisuuden ilmasto ei voida ennustaa tarkasti?

- Kasvihuonekaasujen ja hiukkasten **päästöt** riippuvat ihmiskunnan tulevista toimista
- Ilmastojärjestelmän **mallittamiseen** liittyy epävarmuutta
 - Miten kasvihuonekaasujen ja hiukkasten pitoisuudet riippuvat päästöjen kehityksestä?
 - Miten ilmasto reagoi ilmakehän koostumuksen muutokseen?
- Ilmasto vaihtelee **luonnostaankin**
 - Auringon aktiivisuus ja tulivuoritoiminta
 - Ilmakehän ja merten kiertoliikkeeseen liittyvä ”satunnainen” ilmastonvaihtelu



Ilmastonmuutoksen epävarmuudet skemaattisesti



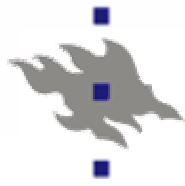
EPÄVARMUUKSIEN SUURUUS:	Lähi-tulevaisuus	Vuosisadan loppu
Luonnollinen vaihtelu	+	+
Mallit	(+)	++
Päästöskenaariot		++



ACCLIM

**Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja
uusimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot
ilmastonmuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten**





ACCLIM WP3: ilmastonmuutoksen todennäköisyysennusteet

Jouni Räisänen + Leena Ruokolainen (HY)

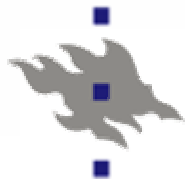
Akatemian hanke "Climate in the next 50 years" 2005-2008, mukana myös vaikutustutkimusta (Stefan Fronzek, SYKE)

Tavoite: todennäköisyysarvioita ilmastonmuutoksille (Suomessa ja muuallakin) lähivuosisikymmeninä ottaen huomioon

- erot eri ilmastomallien välillä
- ilmaston luonnollinen vaihtelu

1) Vuosikymmenkeskiarvot

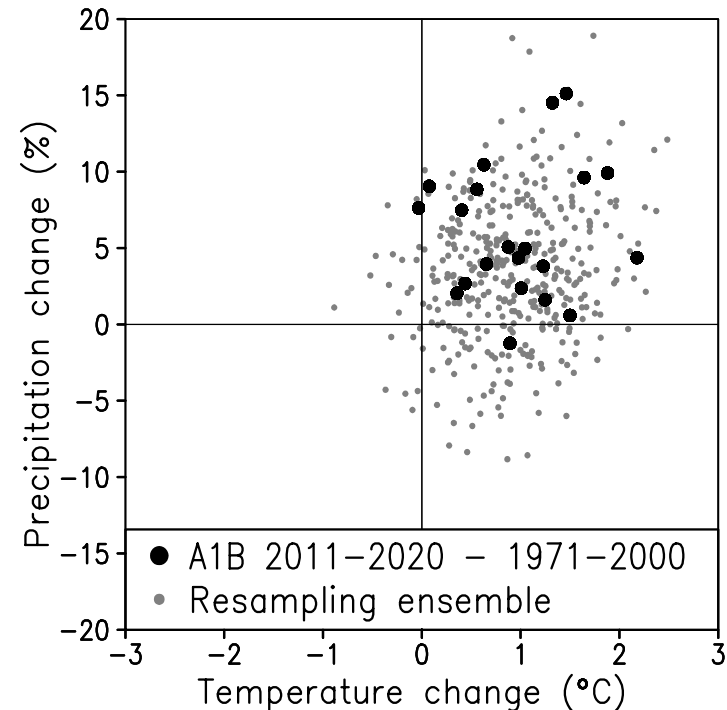
2) Yksittäiset vuosi-, vuodenaikais- ja kuukausiarvot



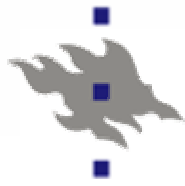
Laskentatekniikasta (vuosikymmenkeskiarvot)

- 1) Joukko pitkiä ilmastomalli-
ajoja useilla eri malleilla
(AR4: 21 mallia, 1901-2099)
- 2) Uudelleenotantamenetelmä
→ parempi kuva luonnolliseen
vaihteluun liittyvästä epä-
varmuudesta
- 3) Simuloitua luonnollisen vaihtelun
amplitudia voidaan yrittää korjata
havaintojen perusteella
(vaikutus tuloksiin melko pieni)

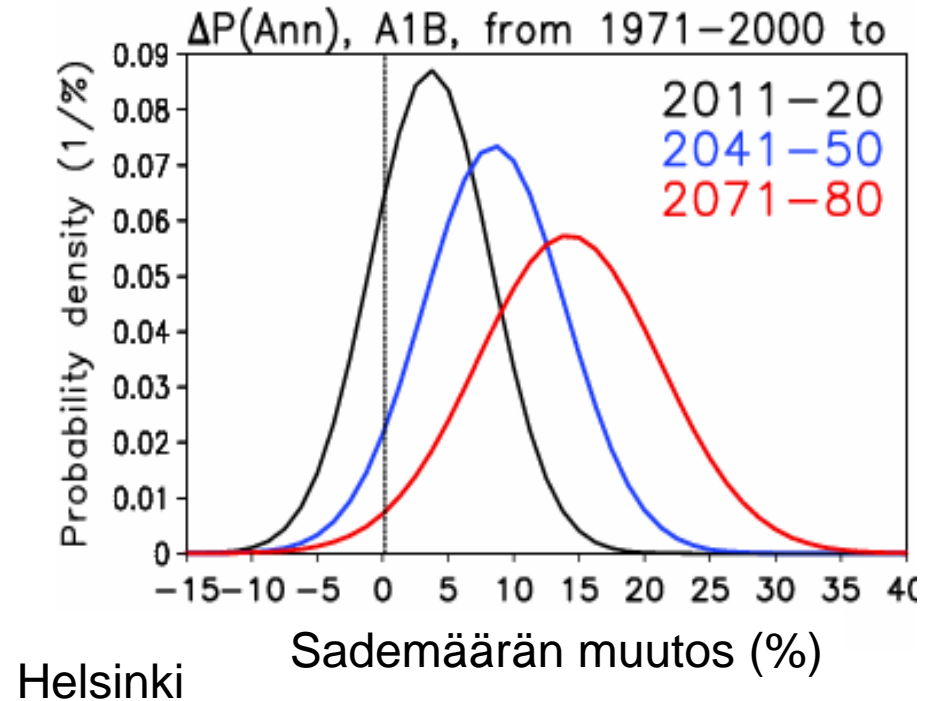
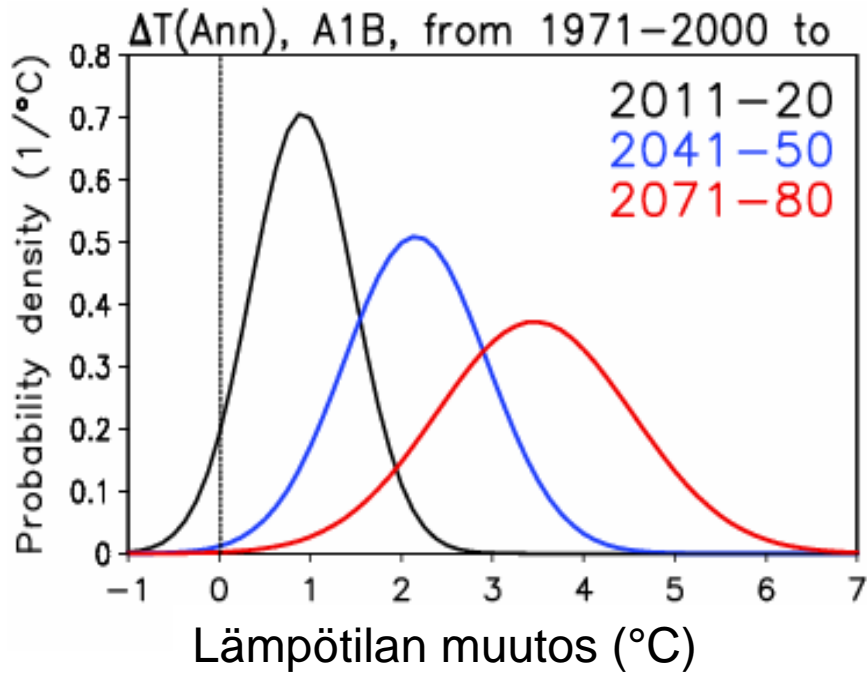
Esim: vuosikeskilämpötilan ja
sademäärän muutos pisteessä
(60°N, 25°E):
1971-2000 → 2011-2020

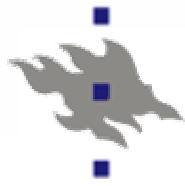


Räisänen & Ruokolainen, 2006:
Tellus, 58A, 461-472.



Todennäköisyysjakaumien muutos ajan funktiona (A1B-skenaario)



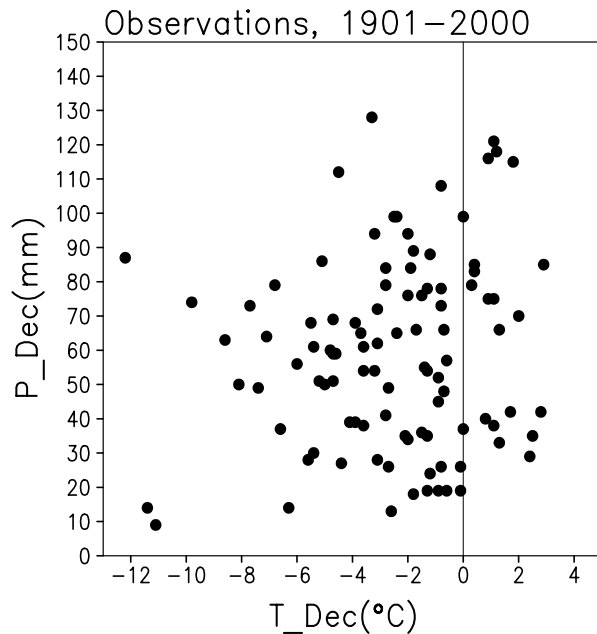


Todennäköisyysjakaumat yksittäisille vuosi-, kuukausi- ja vuodenaikaisarvoille

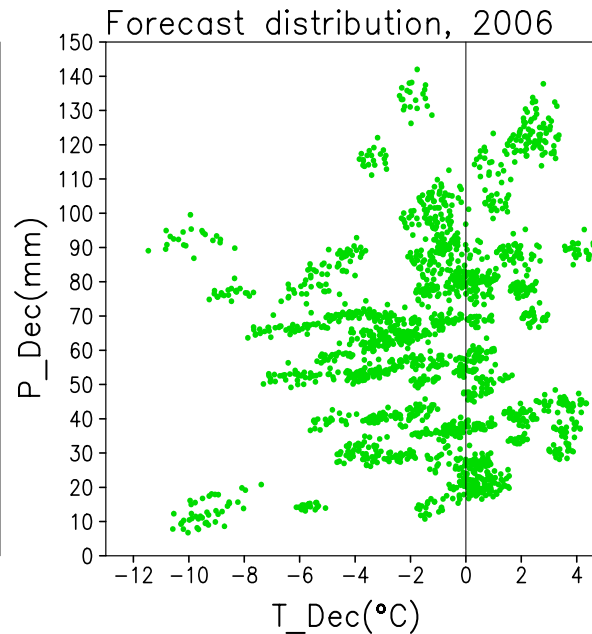
- **Lähtökohta:** havaitut ilmastolliset aikasarjat
- **Muokataan havaittuja arvoja** mallien simuloimien ilmastomuutosten (keskiarvon ja vaihtelevuuden muutokset) perusteella
- **Voidaan tehdä suureille, joille saatavilla**
 - Pitkiä havaittuja aikasarjoja
 - Ilmastomallituloksia muutoksesta kasvihuonekaasujen lisääntyessä
 - Erityisesti lämpötila ja sademäärä
- **Esimerkkinä seuraavassa:**
ennätyslämmin joulukuu v. 2006



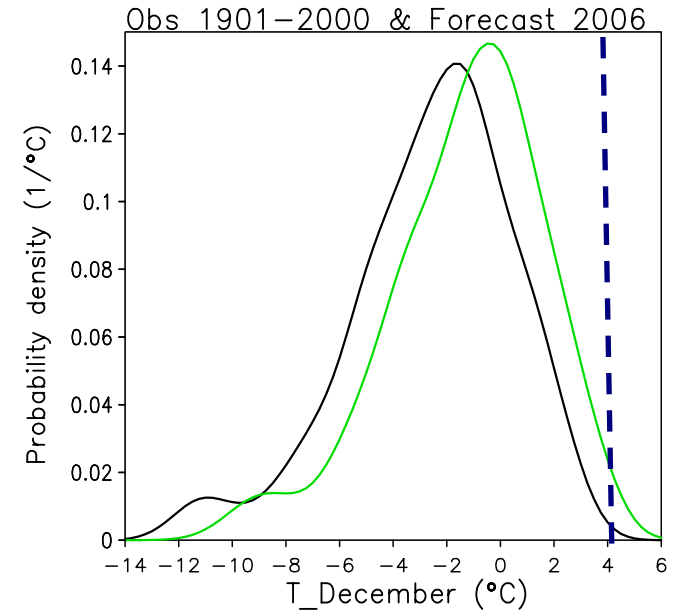
Joulukuun lämpötila ja sademäärä Helsingissä



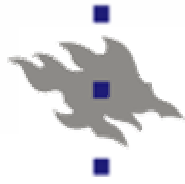
Havaitut arvot,
1901-2000



Vuoden 2006 tilannetta
kuvaava muokattu
jakauma

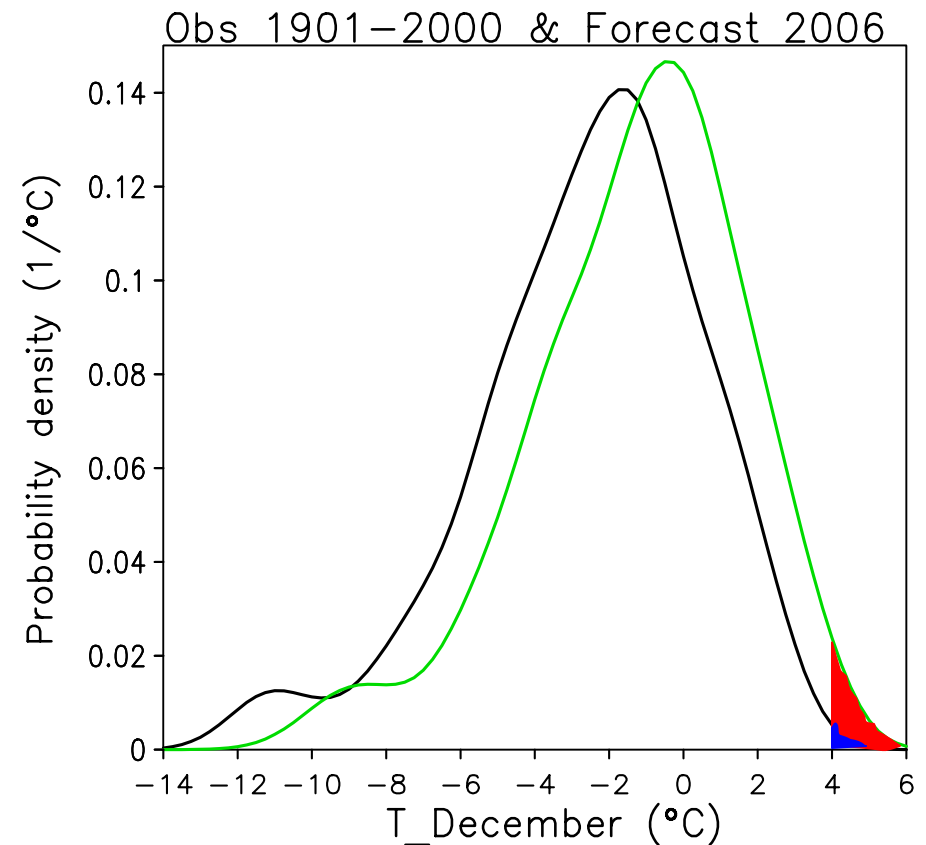


Lämpötilan tasoitettu
todennäköisyys-
jakauma 1901-2000
ja v. 2006.



Todennäköisyysjakaumien tulkinnasta

- Todennäköisyys on verrannollinen käyrän alle jäävään pinta-alaan
- Vuonna Helsingissä 2006 $T_{\text{Joulukuu}} = 4.0^{\circ}\text{C}$.
- Todennäköisyys vähintään näin lämpimälle joulukuulle 1900-luvun ilmastossa = **sininen kolmio $\approx 1/400$**
- Todennäköisyys nykyisessä ilmastossa mallitulosten perusteella = **punainen kolmio $\approx 1/60$**

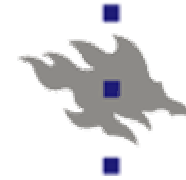


- Jo pienehkö ilmaston lämpeneminen lisää hyvin lämpimien kuukausien esiintymistä huomattavasti.



ILMATIETEEN LAITOS

ACCLIM



HELSINGIN YLIOPISTO

Hankkeen osatehtävät

- T1: Havaintoihin perustuvat sään ääri-ilmiöiden toistuvuudet
- T2: AR4-mallikokeisiin perustuvat skenaariot
- T3: Ilmastonmuutoksen todennäköisyysennusteet
- T4: Alueellisiin ilmastomallikokeisiin perustuvat skenaariot
- T5: Vuorovaikutus muiden hankkeiden kanssa

Hankkeen kotisivu:

http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html

Kyselyt ilmastotiedon tarpeista

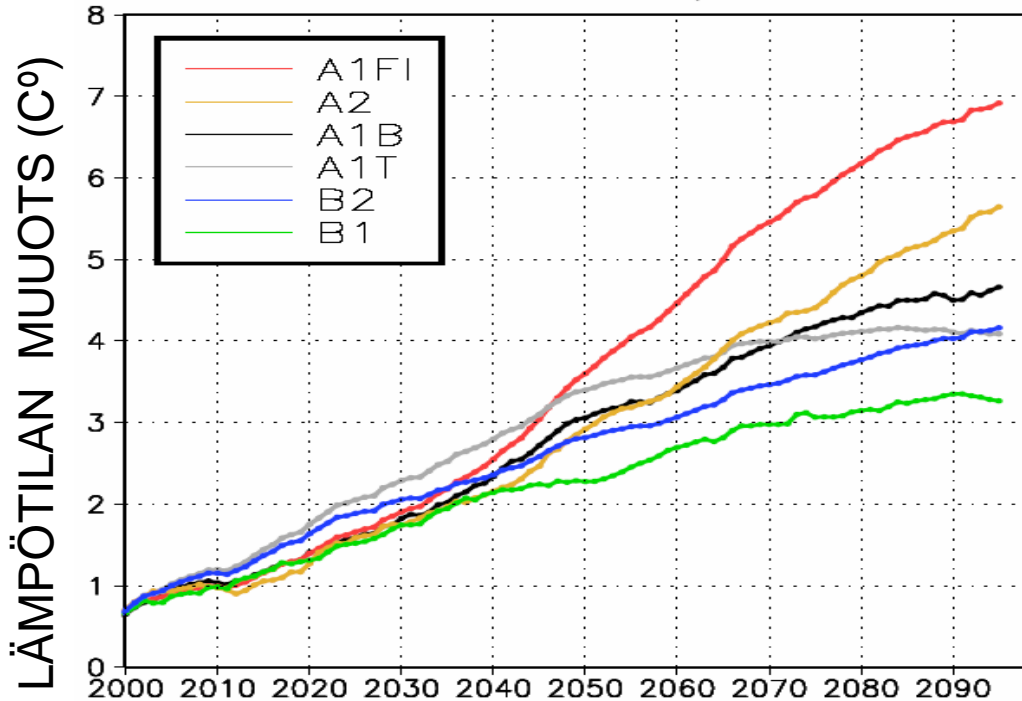
Kiitokset aineistosta: Kimmo Ruosteenoja



Suomi lämpenee lähivuosisikymmeninä $\sim 0.4 \pm 0.1^\circ\text{C}/10 \text{ v.}$

Lämpötilan vuosikeskiarvo, koko Suomi

Vertailujaksona v.1971-2000

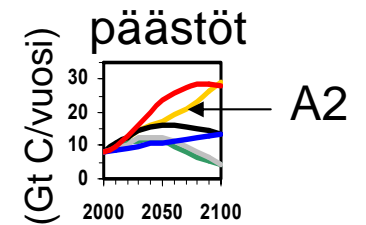
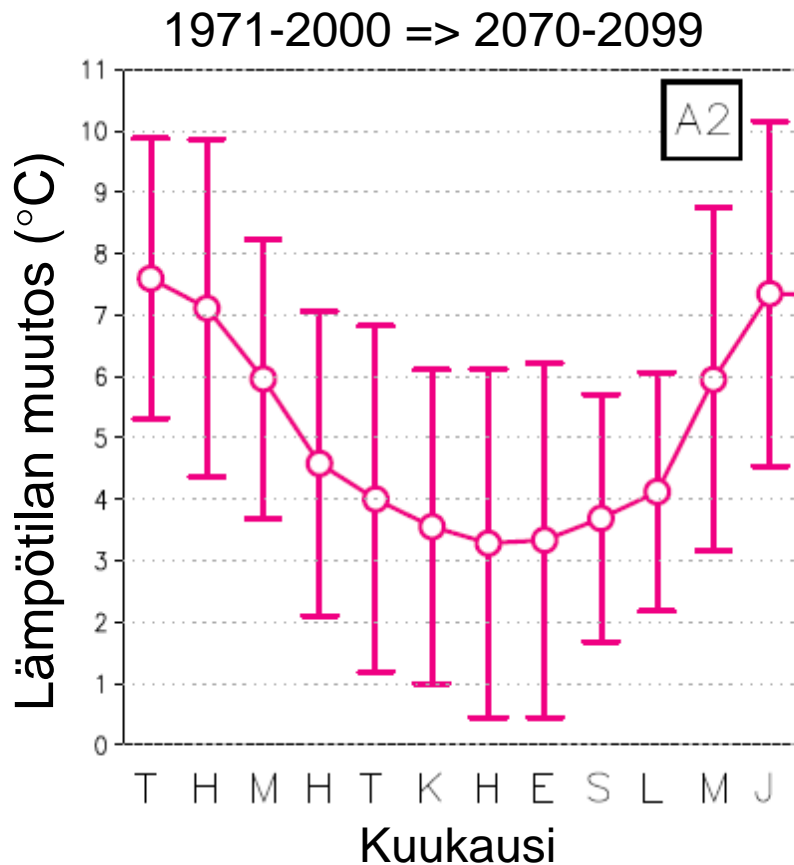


Muutos ($^\circ\text{C}$) 2070-2099	
Skenaario	Lämpötilan nousu
A1FI	6.4 (3.8 – 9.0)
A2	5.1 (3.1 – 7.0)
A1B	4.4 (2.5 – 6.3)
A1T	4.1 (2.4 – 5.8)
B2	3.9 (2.3 – 5.5)
B1	3.2 (1.5 – 4.9)

EPÄVARMUUKSIEN SUURUUS:	Lähi-tulevaisuus	Vuosisadan loppu
Luonnollinen vaihtelu	+	+
Mallit	(+)	++
Päästöskenaariot		++



Suomessa eniten lämpenevät talvet ja vähiten kesät



Muutoksen paras arvio ja
90%:n todennäköisyysväli
A2-skenaarion toteutuessa*



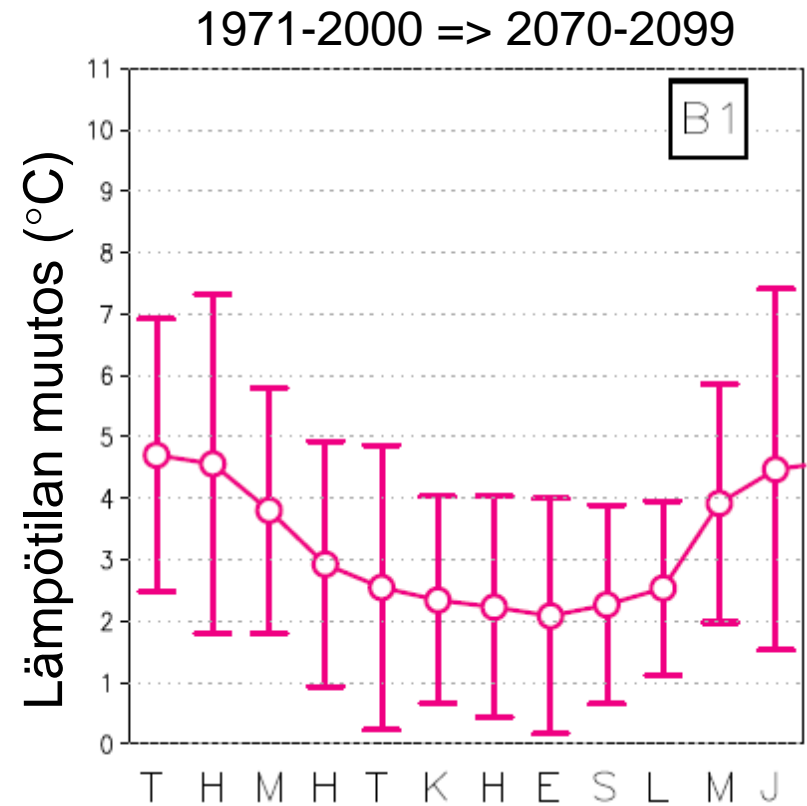
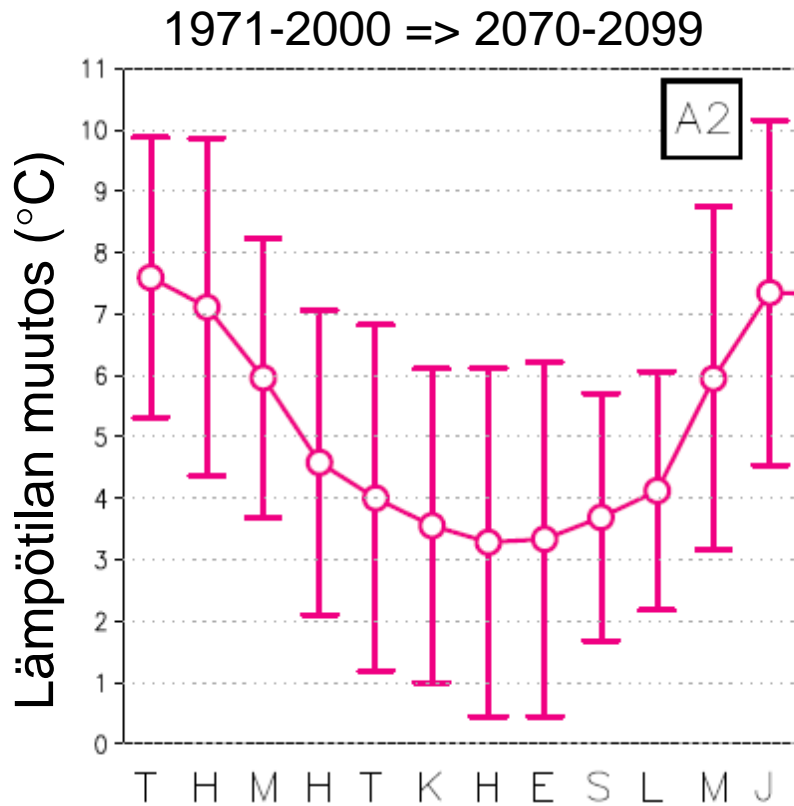
- Noin 20 ilmastomallin väliset erot
- Ilmaston luontainen vaihtelu

* => Ehdollinen todennäköisyysväli

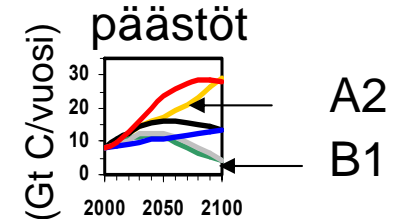


Suomessa eniten lämpenevät talvet ja vähiten kesät

- päästöjen määrän vaikutus näkyy tuloksissa selvästi (A2>B1)

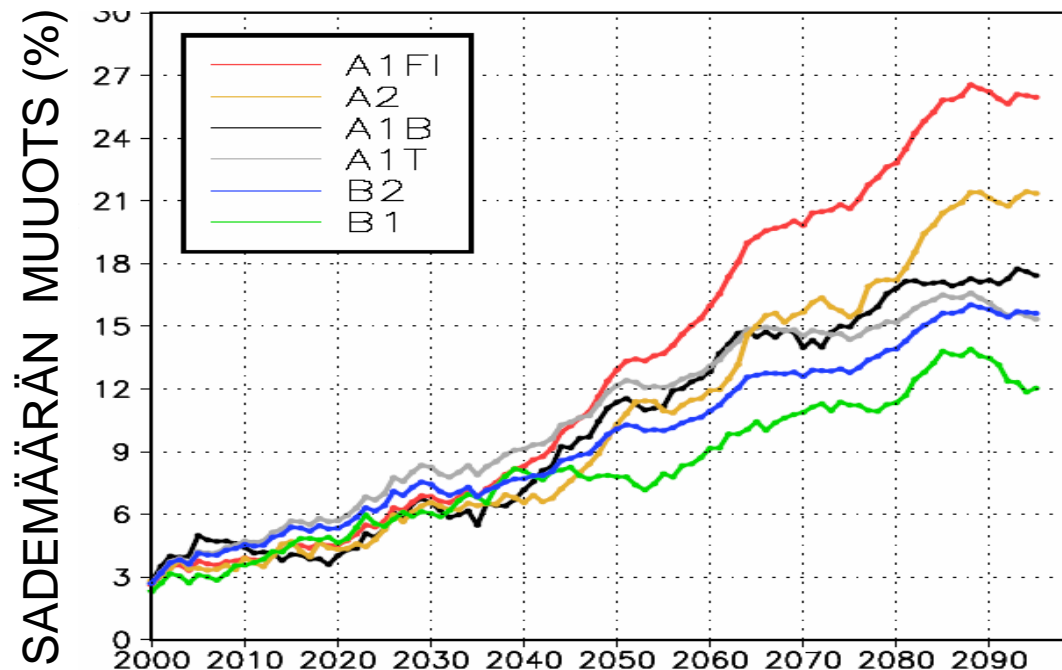


- Tulevien päästömäärien epävarmuus
- Ilmastomallien väliset erot
- Ilmaston luontainen vaihtelu





Vuotuisen sademäärän muutokset (%) Suomessa eri päästöskenaarioissa



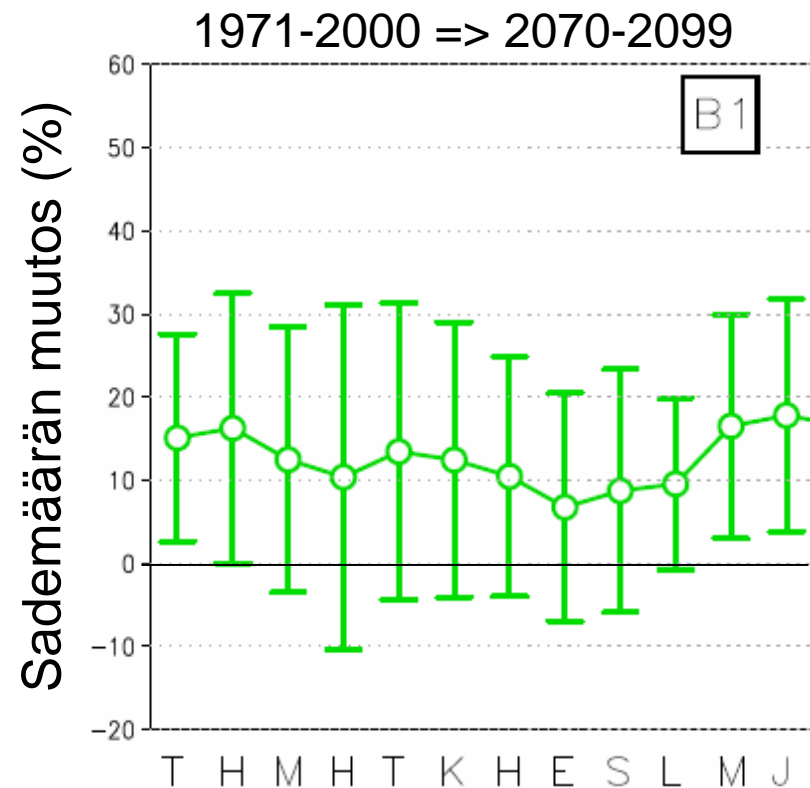
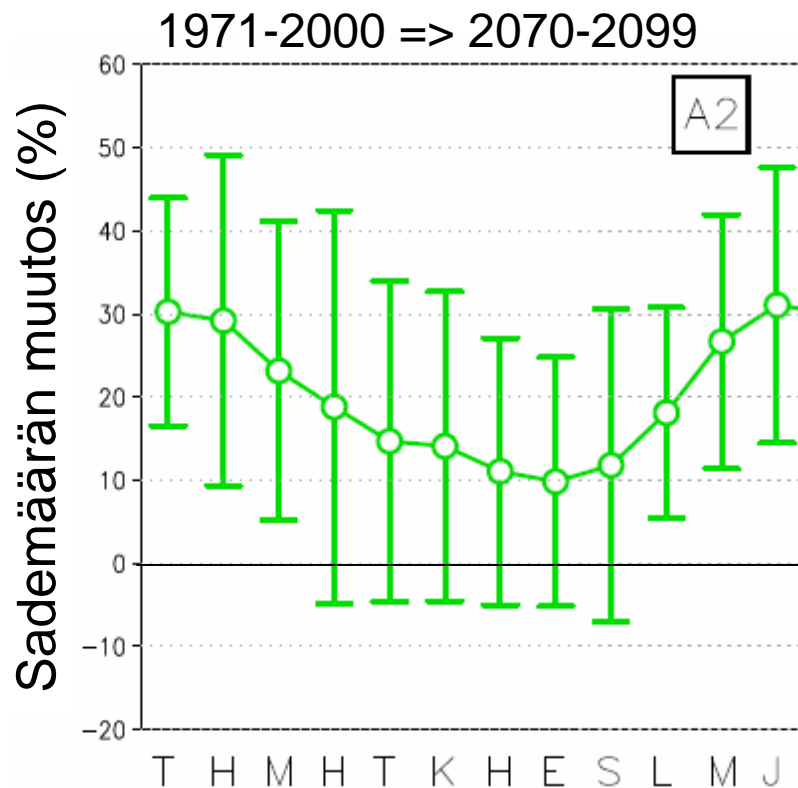
Muutos (%)	2070-2099
Skenaario	Sadannan lisäys
A1FI	24 (13 – 35)
A2	19 (10 – 28)
A1B	17 (8 – 25)
A1T	15 (8 – 23)
B2	15 (8 – 22)
B1	12 (5 – 19)

EPÄVARMUUKSIEN SUURUUS:	Lähi-tulevaisuus	Vuosisadan loppu
Luonnollinen vaihtelu	+	+
Mallit	(+)	++
Päästöskenaariot		++

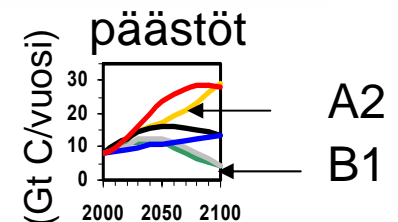


Suomessa sademäärät kasvavat läpi vuoden, vähiten kesäisin

- mallien väliset erot ja luontainen vaihtelu ovat suuria



- Tulevien päästömäärien epävarmuus
- Ilmastomallien väliset erot
- Ilmaston luontainen vaihtelu





Muuttuja	Alue	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Vuosi
Vuodenajan /vuoden keskilämpötila	Etelä	+	+	+	+	+
	Keski	+	+	+	+	+
	Pohjois	+	+	+	+	+
Vuorokauden maksimilämpötila	Etelä	+	+	+	+	+
	Keski	+	+	+	+	+
	Pohjois	+	+	+	+	+
Vuorokauden minimilämpötila	Etelä	+	+	+	+	+
	Keski	+	+	+	+	+
	Pohjois	+	+	+	+	+
Lämpötilojen vuorokausivaihtelu	Etelä	-		(+)		
	Keski	-		(+)		
	Pohjois	-		(+)		
Lämpötilojen ääriarvojen vaihtelu	Etelä	(-)				
	Keski	(-)				
	Pohjois	(-)				
Hellepäivien lukumäärä	Etelä		+	+	+	+
	Keski		+	+	+	+
	Pohjois		+	+	+	+

Ilmastomuuttujien arvioitu kehitys Suomessa vuosina 2000–2080

+ = lisääntyy/kasvaa

**+ = lisääntyy/kasvaa
huomattavasti**

- = vähenee

- = vähenee huomattavasti

/ = säilyy suunnilleen
ennallaan

() = muutos hyvin epävarma
tyhjä = ei osata sanoa tai
merkityksetön



Muuttuja	Alue	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Vuosi
Pakkas- tai hallapäivien lukumäärä	Etelä	-	-	-	-	-
	Keski	-	-	-	-	-
	Pohjois	-	-	-	-	-
Nolla-asteen ohituspäivien lukumäärä	Etelä	/	-	-	-	-
	Keski	+	-	-	-	-
	Pohjois	+	-	-	-	-
Lumipeitteen paksuus	Etelä	-	-		-	-
	Keski	-	-		-	-
	Pohjois	-	-		-	-
Keskimääräinen sademäärä	Etelä	+	+	/	+	+
	Keski	+	+	+	+	+
	Pohjois	+	+	+	+	+
Rankkasateiden voimakkuus	Etelä	+	+	+	+	+
	Keski	+	+	+	+	+
	Pohjois	+	+	+	+	+
Sateettomien kausien pituus	Etelä	-	+		+	+
	Keski	-	/		/	/
	Pohjois	/	-		-	-

Ilmastomuuttujien arvioitu kehitys Suomessa vuosina 2000–2080

+ = lisääntyy/kasvaa

+ = **lisääntyy/kasvaa huomattavasti**

- = vähenee

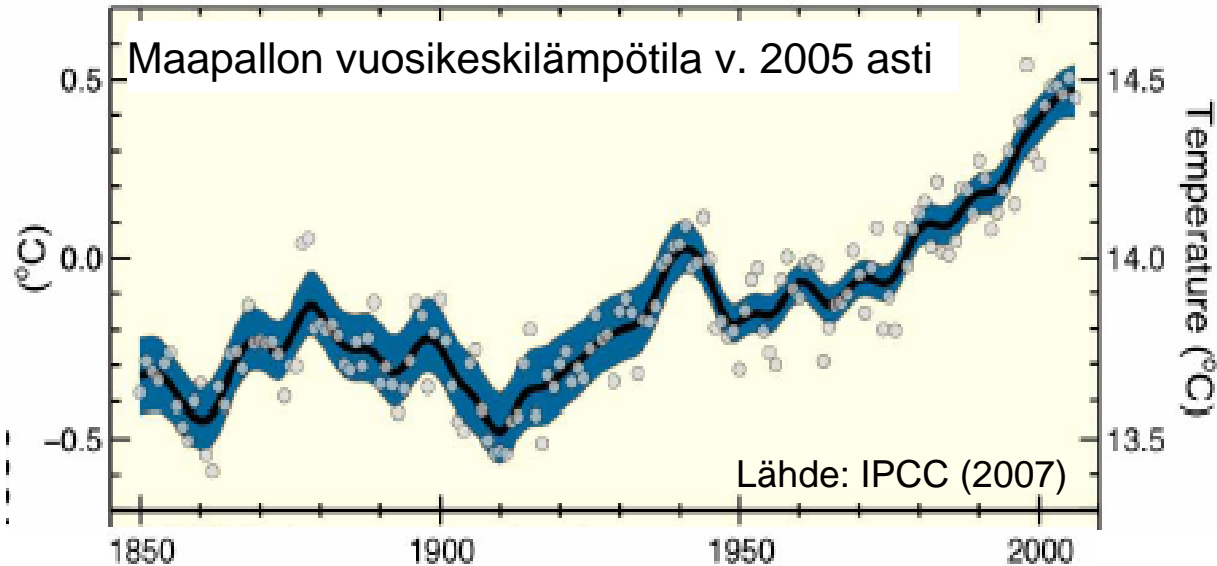
- = **vähenee huomattavasti**

/ = säilyy suunnilleen ennallaan

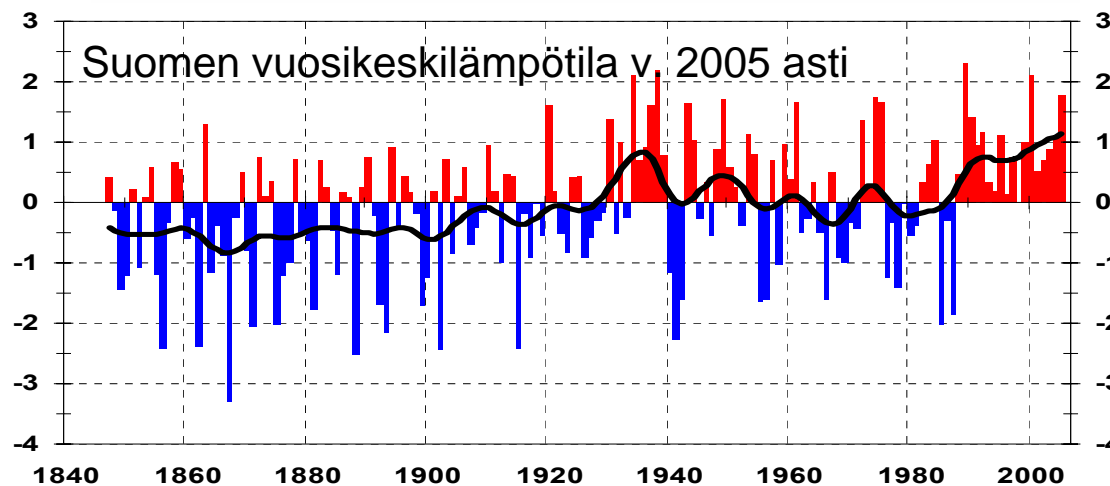
() = muutos hyvin epävarma
tyhjä = ei osata sanoa tai merkityksetön



Mitä pienemmän alueen ilmasto, sitä suurempi luonnollinen vaihtelu (etenkin pohjoisilla leveysasteilla)



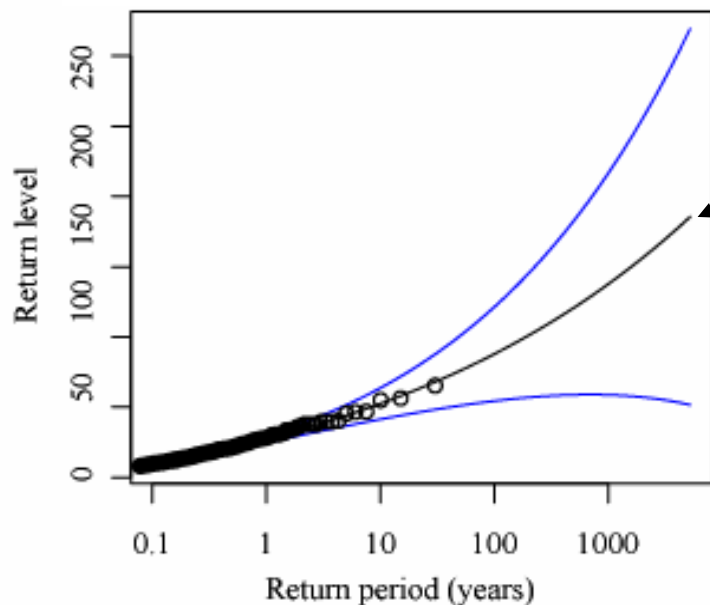
Huomaa
eri
asteikot





Mitä harvinaisemman ilmiön esiintyminen, sitä suurempi sattuman vaikutus

Yhden vuorokauden sadesumman
(mm) toistuvuus aika Jyväskylässä



suurimman uskottavuuden estimaatti

95%:n luottamusväli

The Extremes Toolkit – ohjelmatyökalu
(kehitetty: NCAR, USA)

Menetelmä: Valitun kynnyksarvon ylittäviin havaintoarvoihin sovitetaan niiden käyttäytymistä parhaiten kuvaava yleistetty ääriarvojakauma (ns. Generalized Pareto (GP) distribution).



Ilmastoarviot: epävarmuudet ja todennäköisyydet

YHTEENVETO

- Kasvihuonekaasujen ja hiukkasten **päästöt** riippuvat ihmiskunnan tulevasta toimista
- Ilmastojärjestelmän **mallittamiseen** liittyy epävarmuutta
- Ilmasto vaihtelee **luonnostaankin**

EPÄVARMUUKSIEN SUURUUS:	Lähi- tulevaisuus	Vuosisadan loppu
Luonnollinen vaihtelu	+	+
Mallit	(+)	++
Päästöskenaariot		++

”Ehdolliset todennäköisyydet” vuosisadan alkupuolen jälkeen



Ilmastoarviot: epävarmuudet ja todennäköisyydet

YHTEENVETO (jatkuu):

- Uudet lämpötilaskenaariot eivät kovin paljoa poikkea aikaisemmista. Sademäärän skenaariot jonkin verran entistä "märempiä". Sadeskenaarioissa epävarmuushaarukka on jonkin verran pienentynyt.
- Pohjois-Suomessa lämpötila nousee ja sademäärä lisääntyy hiukan nopeammin kuin etelässä.
- Vuosisadan alkupuolella eri SRES-skenaariot poikkeavat toisistaan vielä varsin vähän.
- Vuosisadan loppuvuosikymmeninä suurimpien päästöjen skenaario tuottaisi jo noin kaksinkertaisen lämpenemisen pienimpien päästöjen skenaarioon verrattuna.