

Hőhullámok: tudomány, eszközök és hosszú távú tendenciák

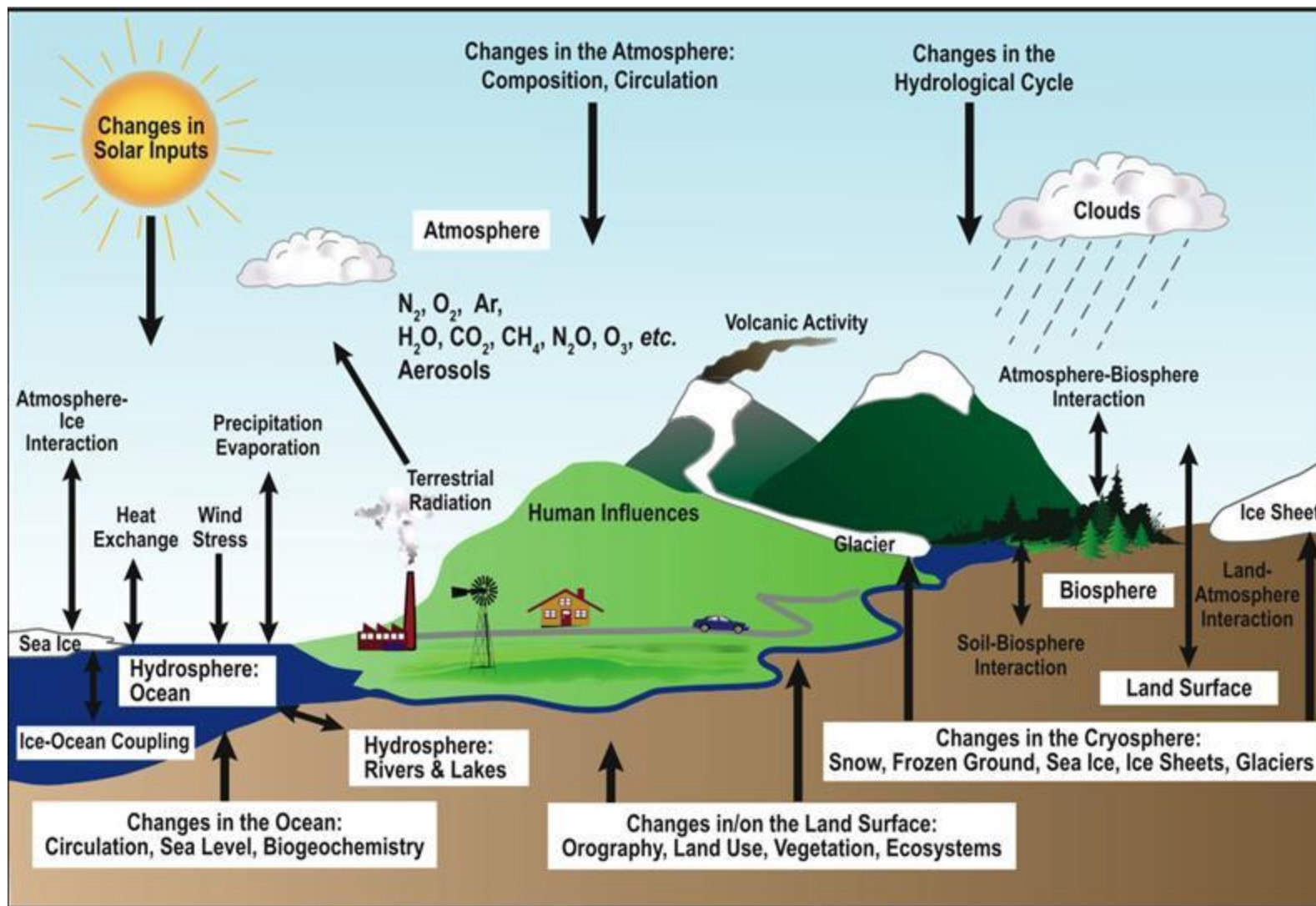
Lorenzo Sangelantoni

□ Bevezetés az éghajlati modellezésbe

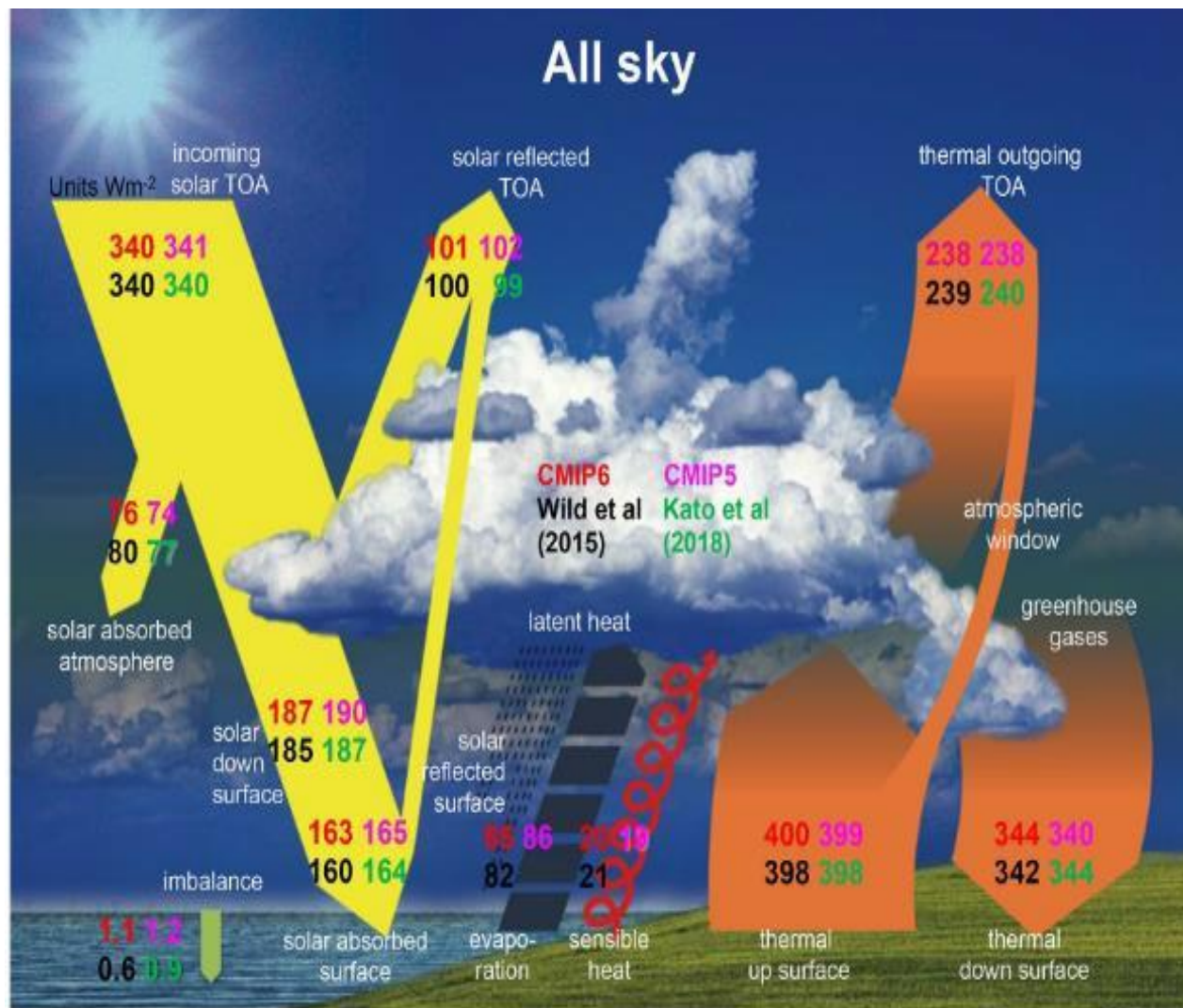
- Az éghajlati rendszer;
- Globális Éghajlati Modellek (GCM-ek) vs. Regionális Éghajlati Modellek (RCM-ek);
- Időskálák az éghajlati modellezésben: az időjárástól az előrejelzésekig;
- Bizonytalanság: Determinisztikus vs. Valószínűségi megközelítés.

□ Bevezetés a hóhullámokba (HW-k)

- A hóhullámok meghatározása;
- A hóhullámok detektálása;
- A hóhullámokat meghatározó hajtómechanizmusok. Nagy léptékű vs. helyi léptékű kényszerek.



IPCC AR4



- Az éghajlati rendszer egy kényszerített, disszipatív, nemlineáris, összetett és heterogén rendszer, amely termodinamikai egyensúlyon kívül helyezkedik el.
- A rendszer **természetes változékonyságot** mutat számos térbeli és időbeli skálán, és **különbéle külső kényszereknek** van kitéve, **természeteseknek és antropogéneknek** egyaránt.
- Összességében az éghajlati rendszer **úgy tekinthető, mint egy hőgép, amely képes az elektromágneses (sugárzási) hőt mechanikai energiává (atmoszferikus és óceáni cirkulációvá) alakítani.**

Ghil M, Lucarini V (2020) *The Physics of Climate Variability and Climate Change*. Rev Mod Phys 92

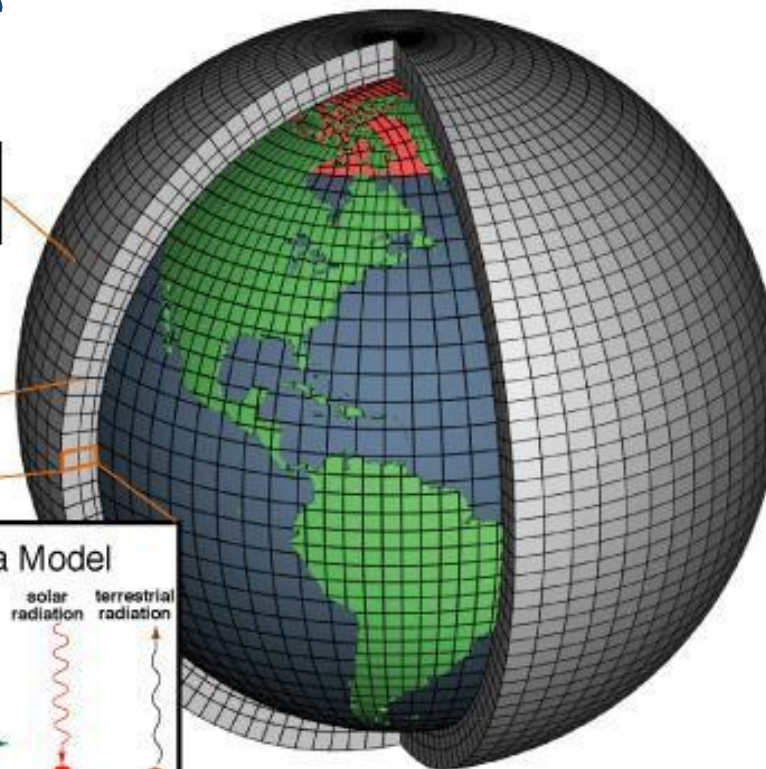
Az éghajlati rendszer modellezése

Vízszintes rács: földrajzi
szélesség-hosszúság

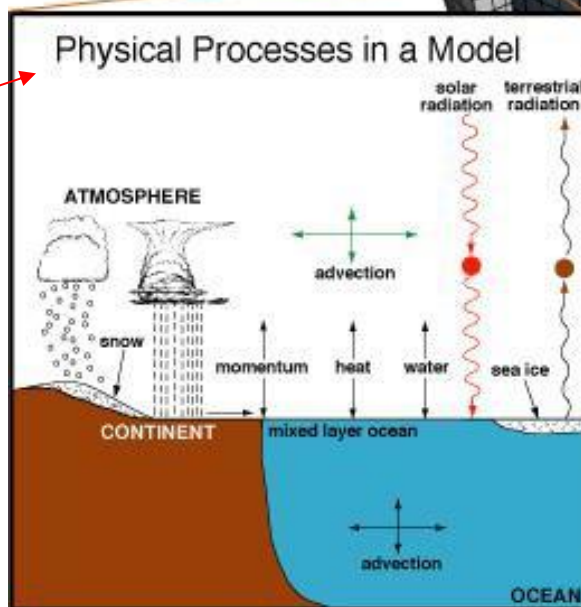
Horizontal Grid
(Latitude-Longitude)

Függőleges rács: magasság
vagy nyomás szerint

Vertical Grid
(Height or Pressure)

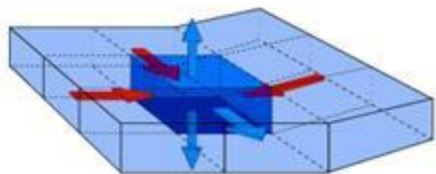
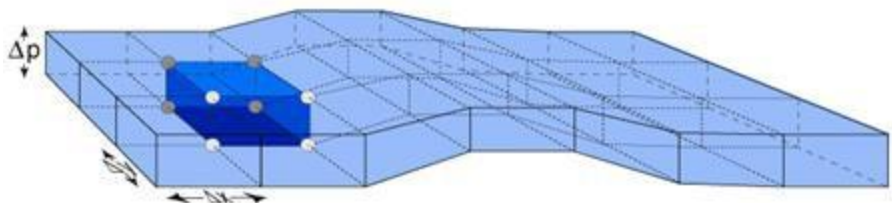
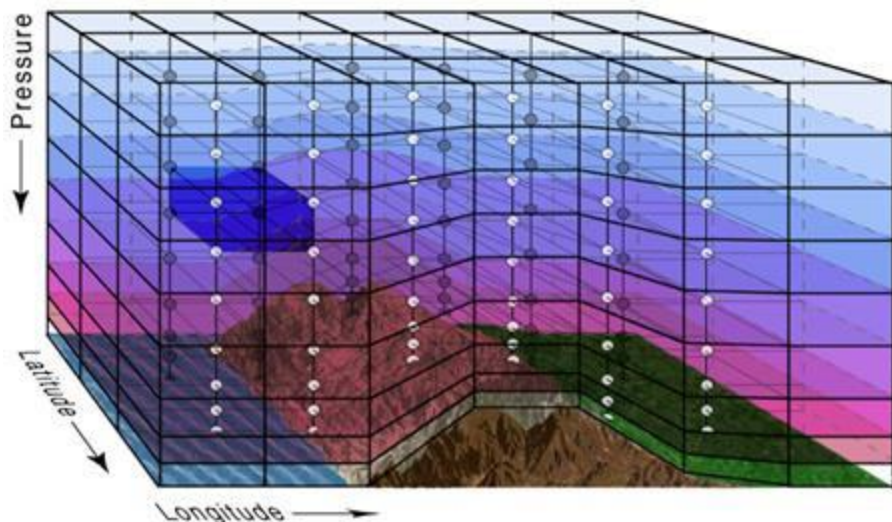


Fizikai folyamatok a modellben





Tipikus légekri GCM-rács



- Minden egyes rácselemhez (cellához) egyetlen érték tartozik minden változóra (például hőmérséklet, szél stb.).
- A függőleges koordináta követi a domborzatot, és nyomás szerint koordinált; a vízszintes rács földrajzi szélesség és hosszúság szerint van definiálva.
- A mozgásegyenletek parciális differenciálegyenleteit véges számú egyenletre cserélik, amelyek a szomszédos rácspontok közötti különbségeket írják le.
- Minden rácselem kommunikál a szomszédaival a tömeg-, energia- és nedvességtranszport tekintetében.
- Az egyes változók esetében az áramlás (fluxus) arányos a rácselemek közötti különbségekkel; ezen fluxusok mérlegei (egyenlegei) a megfelelő egyenletekhez kapcsolódnak.

Neelin, 2011. *Climate Change and Climate Modeling*, Cambridge UP

Az éghajlati rendszer modellezése

Matematikai egyenleteket adunk meg, amelyek a fizikai tulajdonságokat és folyamatokat reprezentálják minden egyes cellában

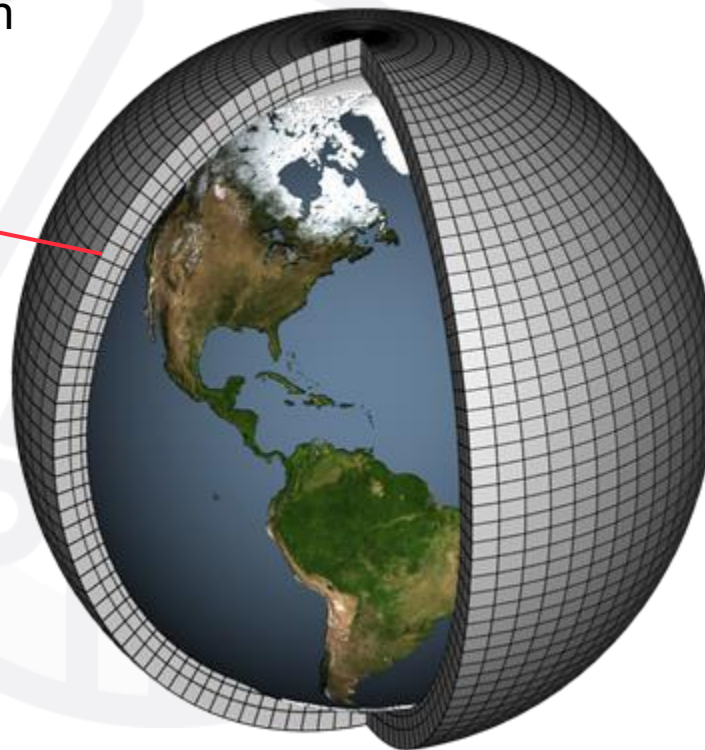
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \eta v - \frac{\partial \Phi}{\partial x} - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial x} - z \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{\partial \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\eta \frac{u}{v} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial y} - z \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\partial \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right)}{\partial y}$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}$$

$$\frac{\delta W}{\delta t} = u \frac{\partial W}{\partial x} + v \frac{\partial W}{\partial y} + w \frac{\partial W}{\partial z}$$

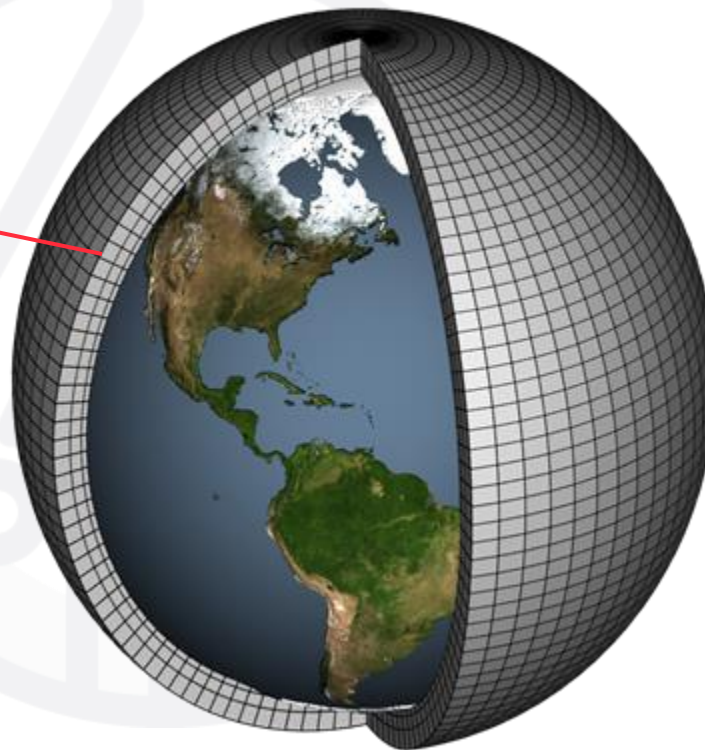
$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial \sigma} = u \frac{\partial}{\partial x} x \frac{\partial p}{\partial \sigma} + v \frac{\partial}{\partial y} y \frac{\partial p}{\partial \sigma} + w \frac{\partial}{\partial z} z \frac{\partial p}{\partial \sigma}$$



Az éghajlati rendszer modellezése

Az egyenleteket számítógépes kódokká alakítják, és beállítják az éghajlati változókat

```
if (diagts .and. eots) then
do 1500 m=1,nt
do 1490 k=1,km
fx = cst(j)*dyl(j)*dzt(k)/(c2dtts*dtxcel(k))
do 1480 i=2,intml
boxfx      = fx*dxt(i)*fm(i,k,jc)
sddt      = (ta(i,k,m)-t(i,k,jc,nm,m))*boxfx
svar      = (ta(i,k,m)**2-t(i,k,jc,nm,m)**2)
            *boxfx
n          = 0
termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
tvar(k,m,n)     = tvar(k,m,n)     + svar
n             = nhreg*(mskvr(k)-1) + mskhr(i,j)
if (n .gt. 0 .and. mskhr(i,j) .gt. 0) then
termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
tvar(k,m,n)     = tvar(k,m,n)     + svar
```



Az éghajlati rendszer modellezése

CASSANDRA

Compute node type: LENOVO SD650 V3
(Direct Water Cooled)

Processor type: Intel Xeon Max 9480 (56
cores) (Sapphire Rapids HBM)

Processor Speed: 1.9 GHz

of processor cores: 20,160

GPU: n.a.

of nodes: 180 (dual processors nodes)

Memory per node: 1024 GB

Interconnection: Infiniband NDR
(400Gbps)

Peak Performance: 1,225 TFlops

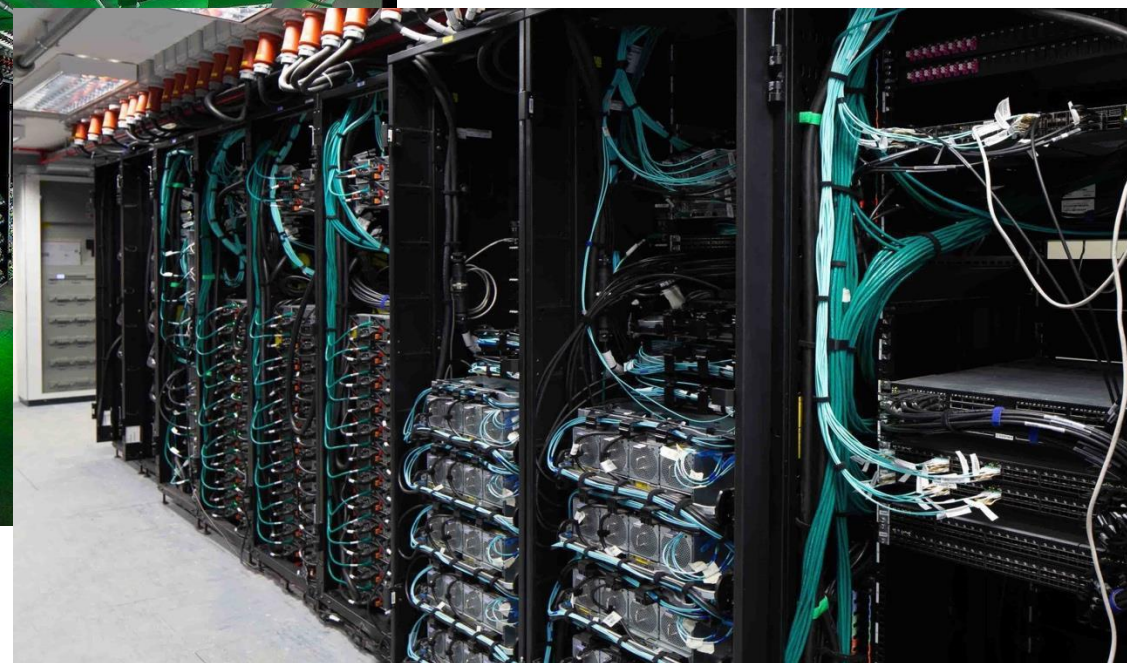
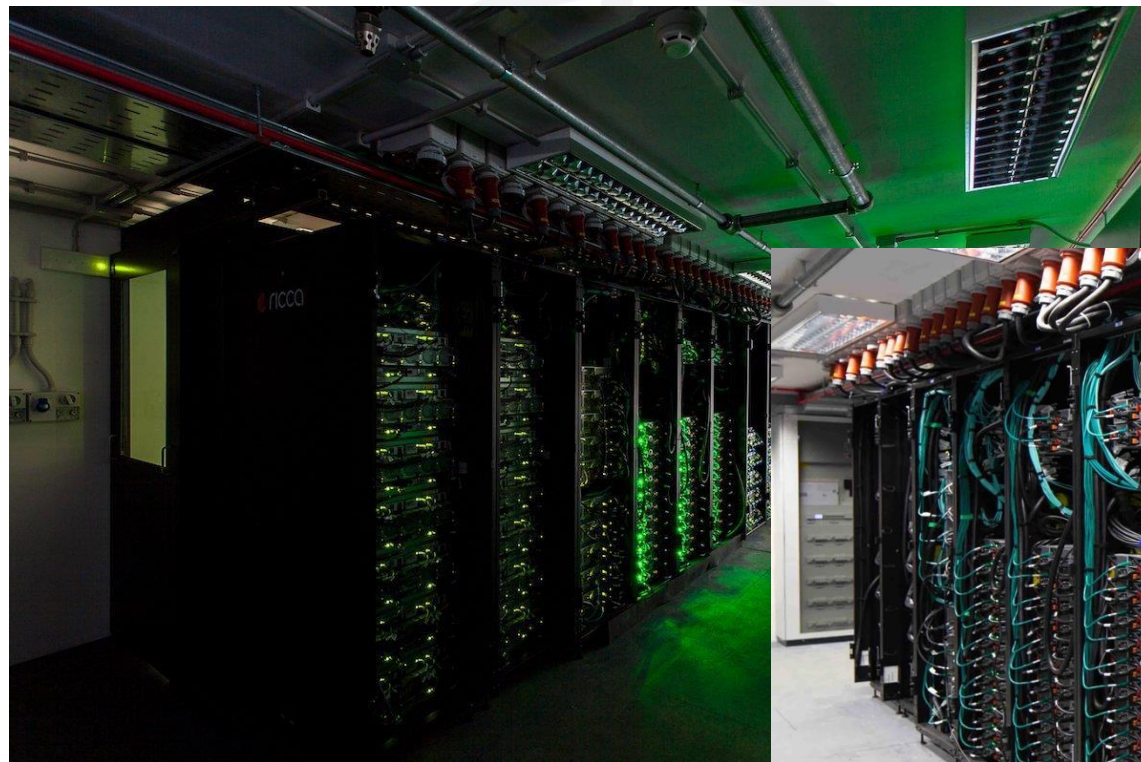
Operating System: Red Hat v.9.0 (Linux
x86_64)

Batch Queuing System: IBM Spectrum
LSF v.10.x (HPC Suite)

Cluster Parallel File System: IBM
Spectrum Scale v.5.x (GPFS)

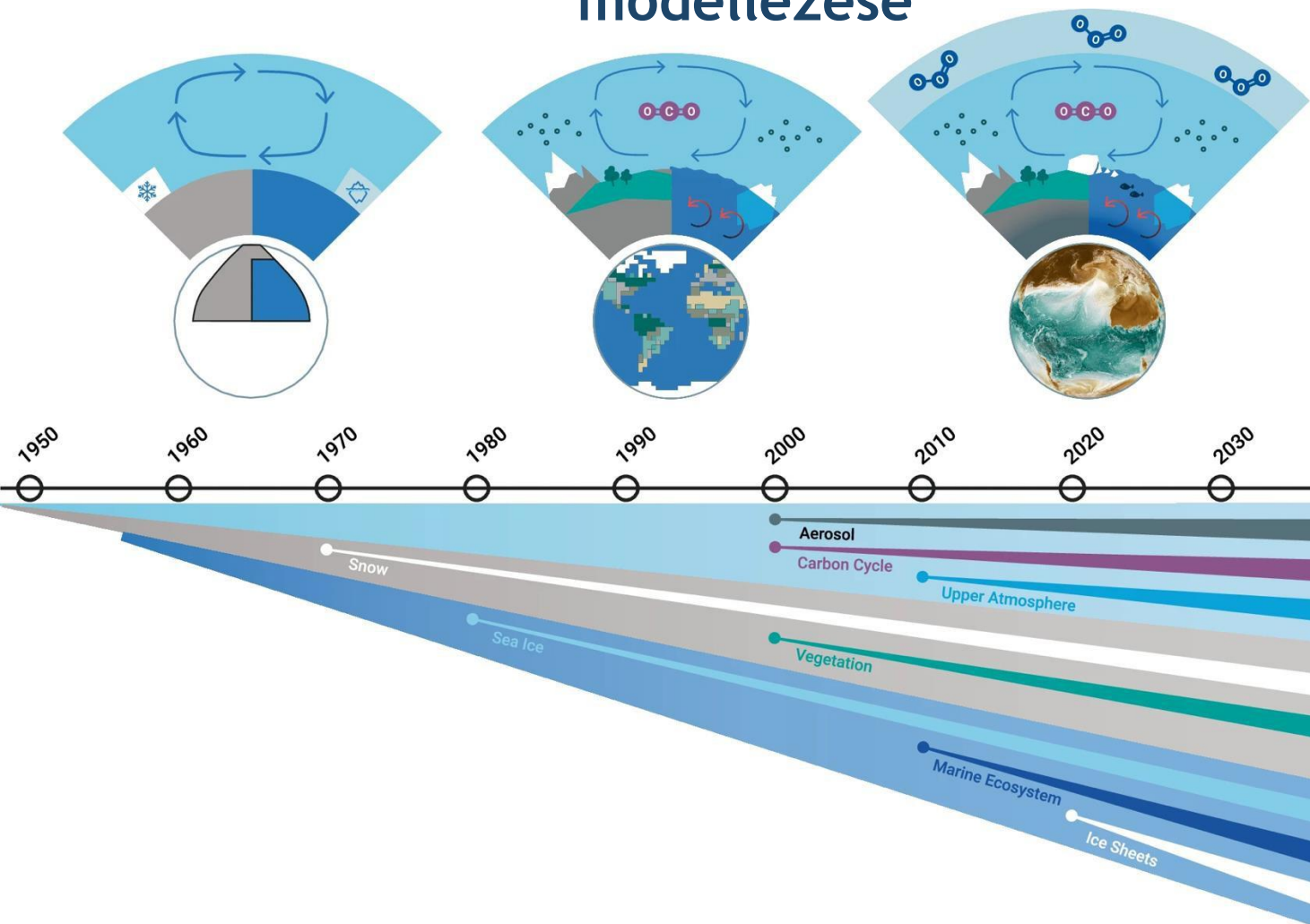
File systems:

- /users_home: 100TB
- /work: 13.6 PB of usable capacity



A
szuperszámítógép
segíti ezen
számítások
elvégzését

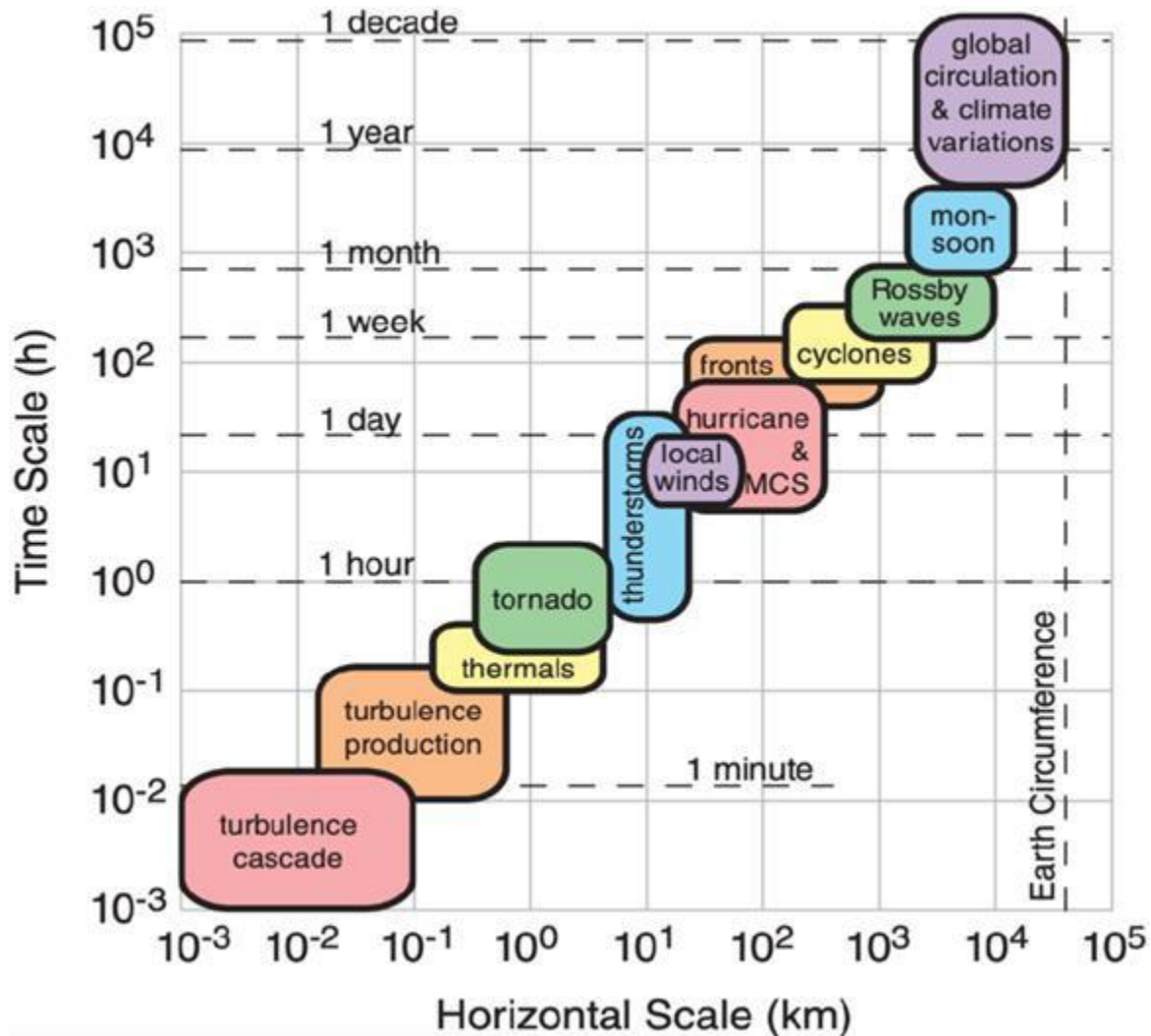
Az éghajlati rendszer modellezése



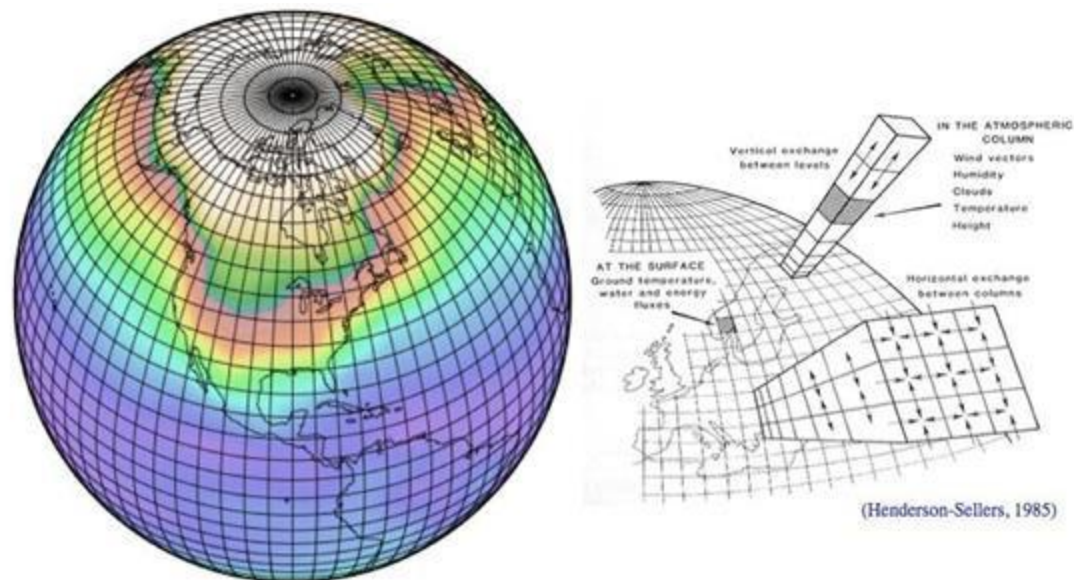
A numerikus modellekben **reprodukált komponensek és folyamatok listája** idővel növekedett, a **technológiai (és tudásbeli) fejlődésnek** köszönhetően.

A modelkomponensek fejlődése a korai éghajlati modellektől a legújabb Földrendszer-modellekig. From Bordoni et al., 2025

Időskálák az éghajlati modellezésben



Stergiou 2023



- A **GCM-ek** magukban foglalják a légkör, az óceán és a tengeri jég komponenseit.
- Ezek összekapcsoltak, így képesek **energiát, lendületet és nedvességet cserélni**. Az újabb verziók **tartalmazzák a dinamikus növényzet**, valamint a **felszíni és óceáni szénkörforgás** modellezésére szolgáló komponenseket is. Ezeket az átfogóbb modelleket **Földrendszer-modelleknek (Earth System Models, ESM-ek)** nevezzük.
- A **szimulált állapotokat** háromdimenziós térbeli rácsokon és **diszkrét időlépésekben** adják meg, és a modell-egyenletek **leírják a rendszer időbeli fejlődését**.
- A GCM-ek légköri komponensének **vízszintes felbontása** az éghajlati alkalmazásokban általában **200–25 km nagyságrendű**, a **függőleges szintek száma** pedig **30 és 100 között** van, a felszíntől kezdődően, **beleértve a troposzférát és különböző mértékben a sztratoszférát** is.

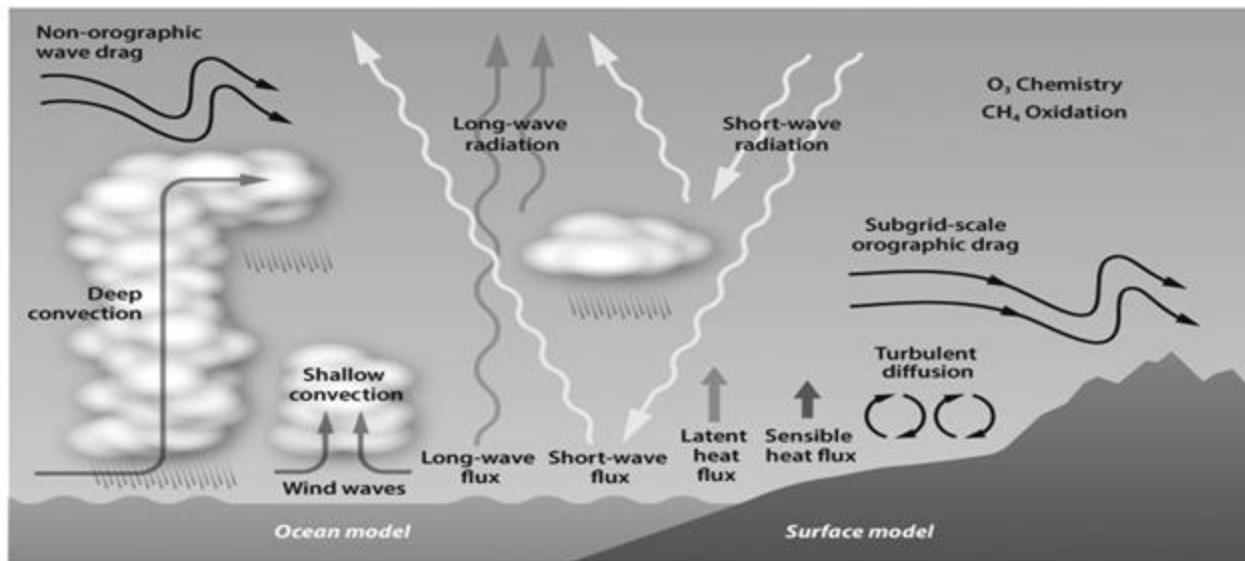
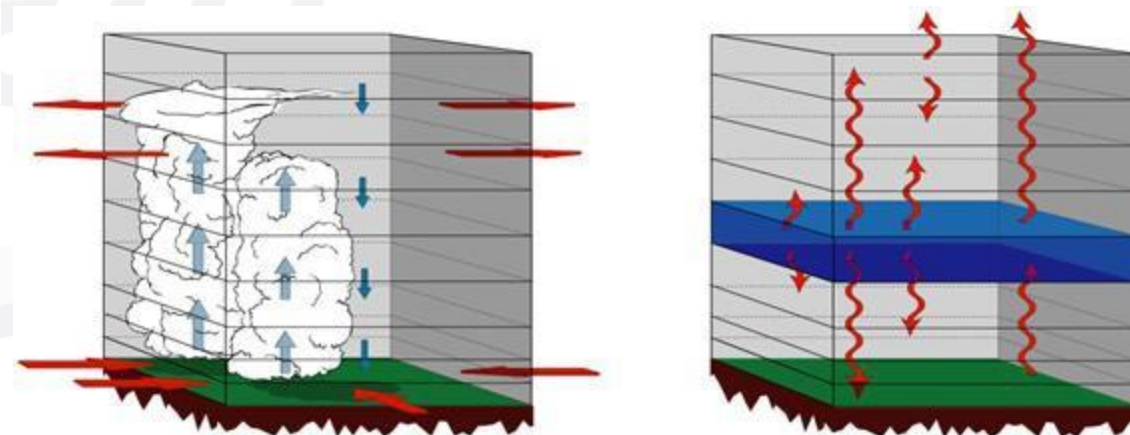


Figure 8.4 Parameterised processes in atmospheric general circulation models. Figure provided by ECMWF <https://www.ecmwf.int/en/research/modelling-and-prediction/atmospheric-physics>. Copyright given through Creative Commons license version 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>).

Cambridge University Press 978-1-107-06605-2 — Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research D. Maraun , M. Widmann 2019

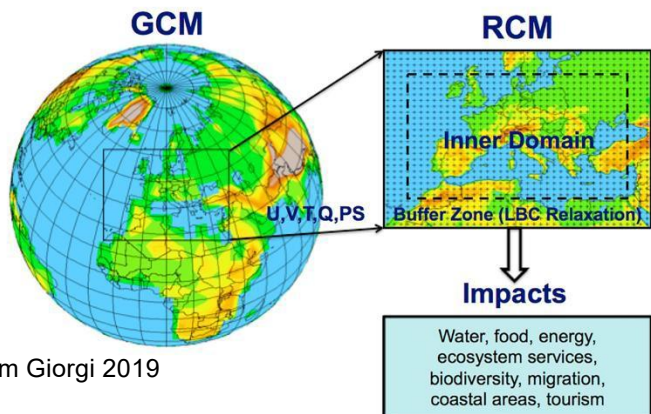
A valós légkörben és óceánban számos olyan folyamat zajlik, amelyek térbeli és időbeli skálája kisebb, mint a modell felbontása.

A légkör esetében ezek közé tartozik a sugárzás elnyelése, szórása és kibocsátása molekulák, aeroszolok és felhőcseppek által, a felhőmikrofizika, a konvekció, a határréteg-folyamatok, a domborzat okozta légellenállás (drag), valamint az atmoszféra-óceán kölcsönhatások stb.



Neelin, 2011. *Klimaváltozás és klímamodellezés*, Cambridge UP

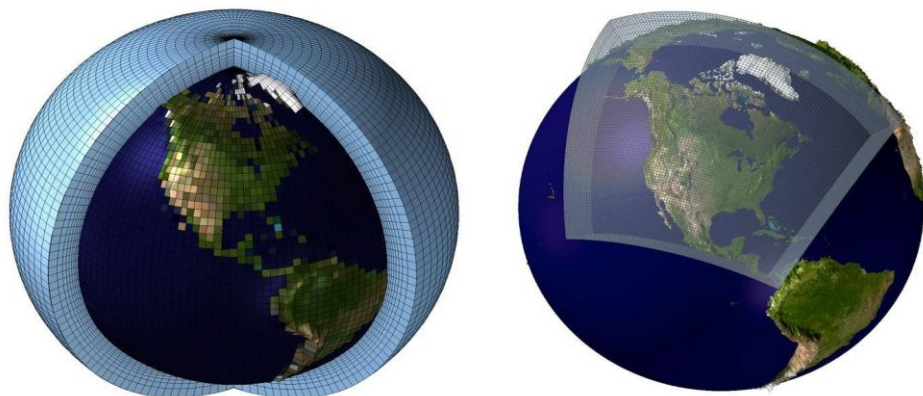
Az RCM-eket úgy idealizálják, hogy feloldják a skálakülönbséget az éghajlatváltozási forgatókönyvek és a hatásvizsgálatokhoz vagy lokálisan megjelenő jelenségekhez szükséges részletesség között.

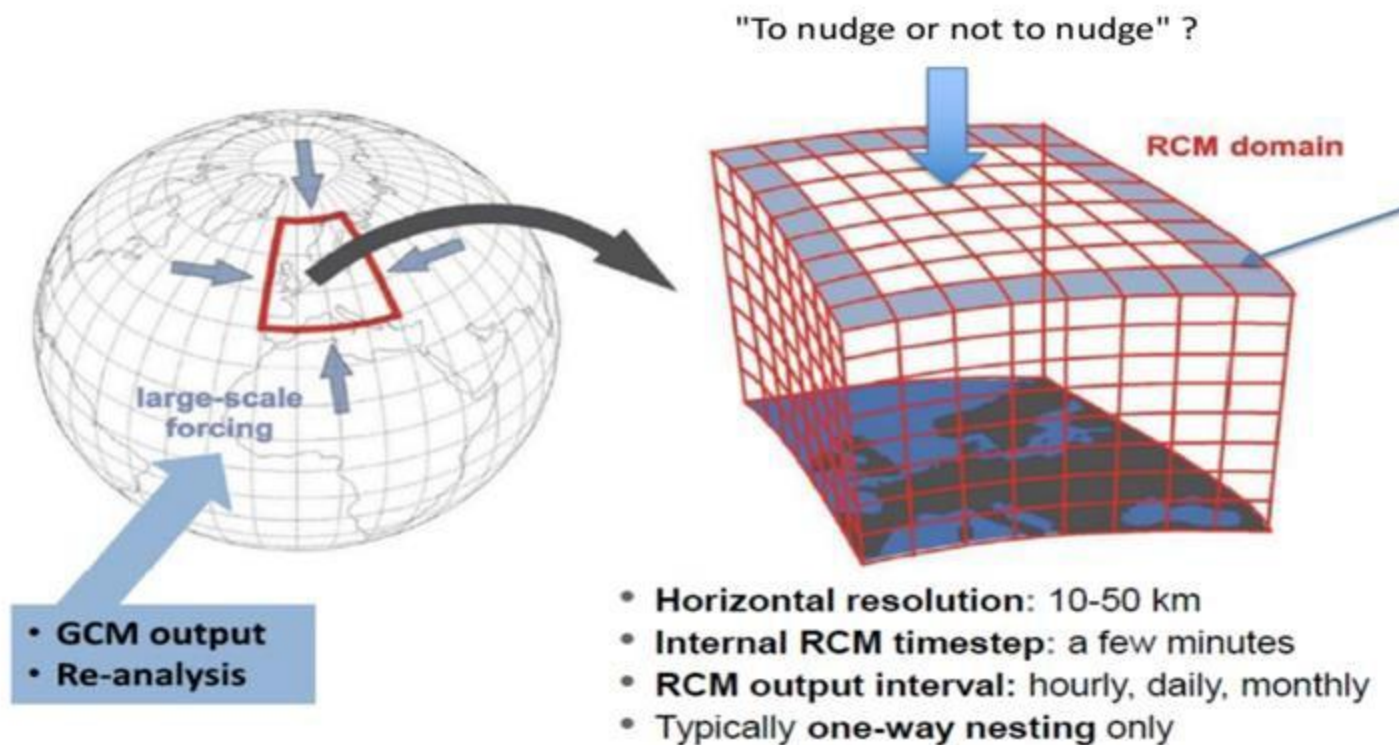


From Giorgi 2019



- Az RCM-eket **dinamikus leskálázásra** használják **korlátozott területen**.
- A **laterális határokon**, valamint **általában a tengerfelszínél** a GCM-ek által szolgáltatott értékekkel **kényszerítik** őket.
- Az RCM beágyazása a hajtó GCM-be **általában egyirányú**.
- A felbontásbeli különbség csökkentésére **többszörös egymásba ágyazott (nested) modellek** is alkalmazhatók.
- A numerikus instabilitások elkerülése érdekében az RCM tartományának szélén **tipikusan 10 rácselem szélességű „szivacs-zónát”** hoznak létre **Ahol a GCM határfeltételeit fokozatosan keverik össze az RCM értékeivel.**



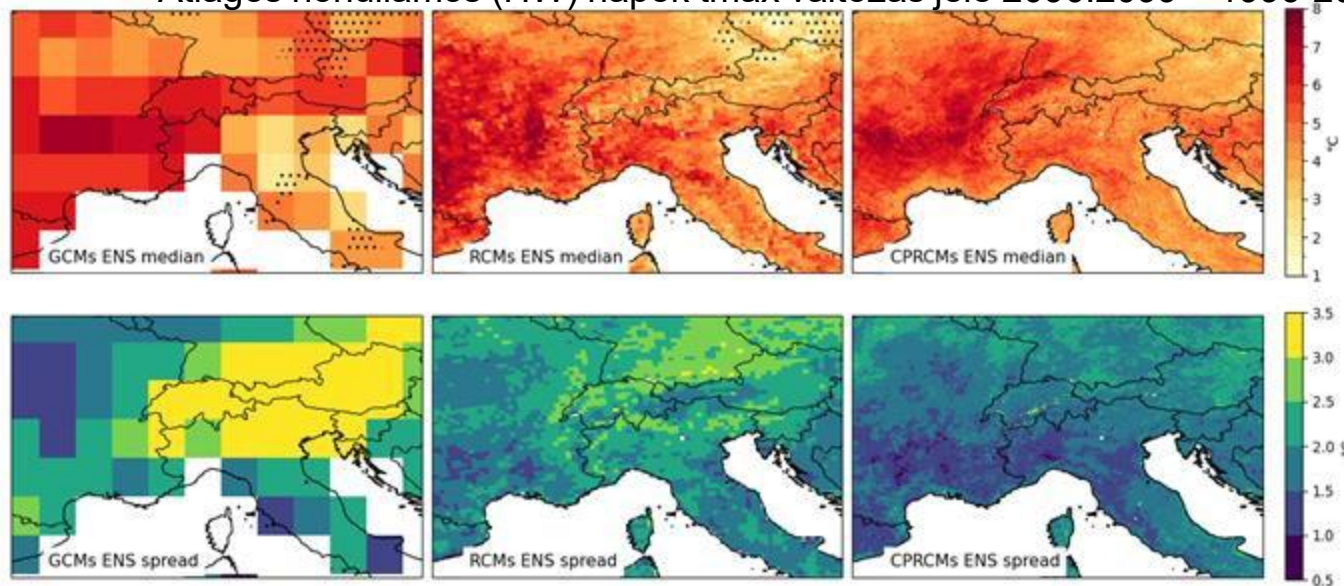


- ◆ **Regionális Éghajlati Modellt (RCM) használ.**
- ◆ **Fizikai alapú:** megoldja az atmoszférikus egyenleteket.
- ◆ Számításigényes
- ◆ **Képes megragadni a helyi visszacsatolásokat, szélsőségeket és domborzati hatásokat.**
- ◆ **Példa:** CORDEX szimulációk.

From J. H. Christensen 2018

- A határokon az RCM nagyjából összhangban van a hajtó GCM-mel.
A tartományon belül azonban az RCM a saját domborzatának, dinamikai magjának, felbontásának és paraméterezéseinek megfelelően szimulálja az időjárást, és saját belső változékonyságot fejleszt ki.
- Ez azt jelenti, hogy a modell-tartományon belüli nagyléptékű légköri állapotok eltérhetnek a GCM által leírt állapotoktól ugyanazon a területen.
A kontextustól függően ez a „függetlenség” lehet kívánatos vagy nem kívánatos.

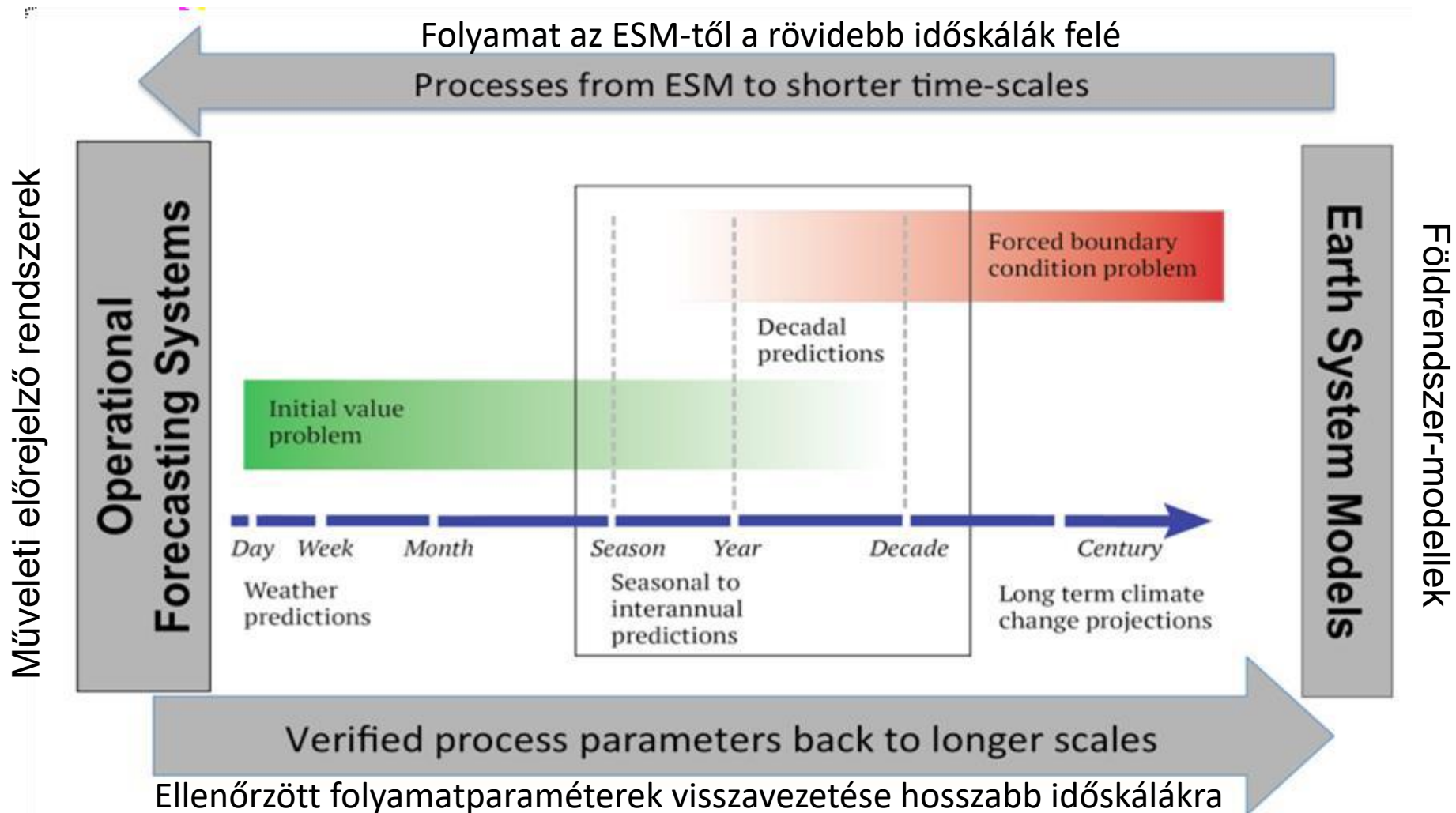
Átlagos hóhullámos (HW) napok tmax változás jele 2090:2099 – 1996-2005



Jövőbeli hóhullámos hőmérsékleti változások
100 km-es és 3 km-es felbontás között.

A jövőbeli változásokhoz kapcsolódó
bizonytalanság különböző felbontások esetén.

From Sangelantoni et al., 2025



A. Alessandri, F. Catalano, M. De Felice, B. Van Den Hurk, F. Doblas Reyes, S. Boussetta, G. Balsamo, and P. Miller, 2017: Multi-scale enhancement of climate prediction over land by increasing the model sensitivity to vegetation variability in EC -Earth, Clim. Dyn., 49(4), 1215-1237. doi:10.1007/s00382-016-3372-4

<https://www.isac.cnr.it/en/temi-di-ricerca/Climate-modelling>

Bizonytalanság: Valószínűségi vs. Determinisztikus megközelítés



- Számos bizonytalansági forrás létezik.
- Az **ensemble-módszerek** (modell-együttesek) ezeket a bizonytalanságokat több szimuláció lefuttatásával ragadják meg.
- Az **együttesek előállítása** a következő tényezők **perturbálásával (megváltoztatásával)** történik:
 - kezdeti feltételek,
 - a modell fizikai paraméterei,
 - külső kényszerek,
 - valamint több különböző modell figyelembevételével.

Soret et al., [2025](#)

Hőhullámok



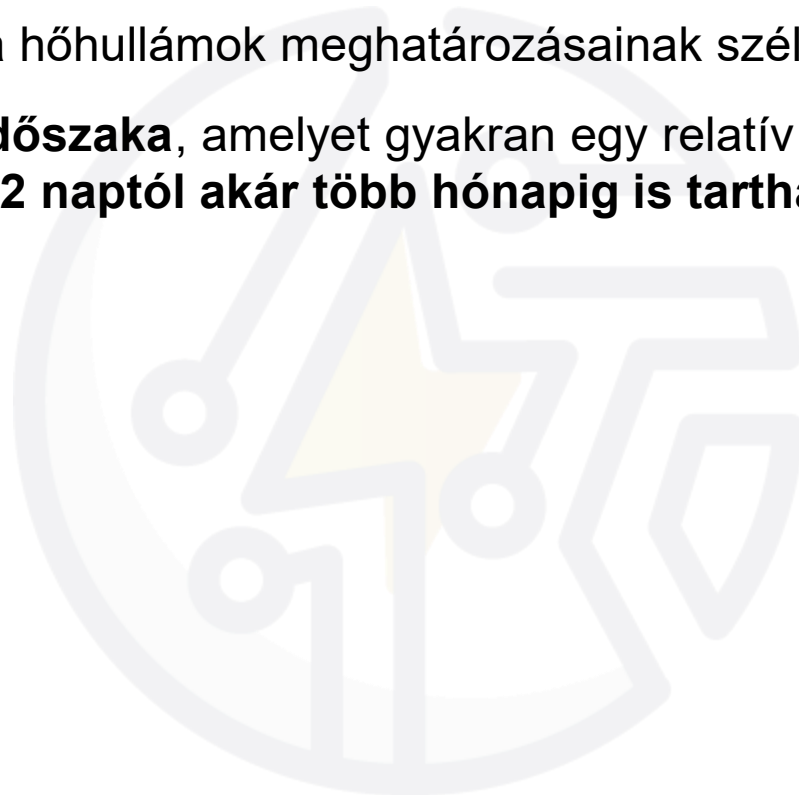
A hőhullámok meghatározása (i)

- A tudományos szakirodalomban a **hőhullámok meghatározásainak széles skálája** található.



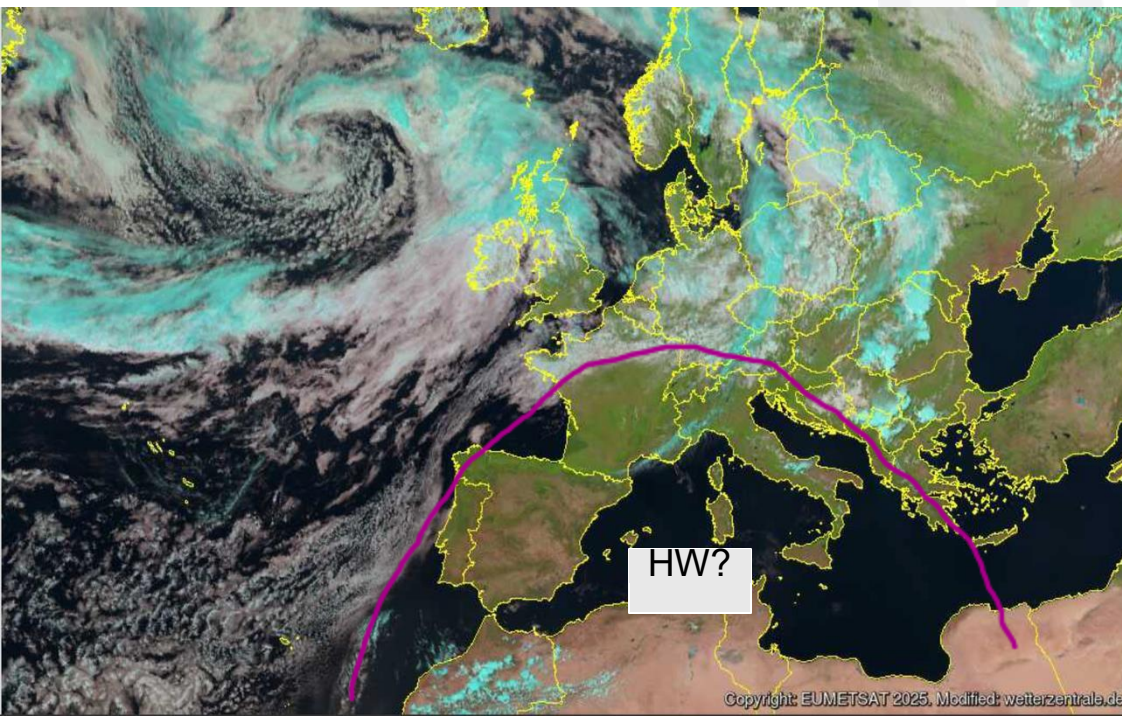
A hőhullámok meghatározása(i)

- ❑ A tudományos szakirodalomban a hőhullámok meghatározásainak széles skálája található.
- ❑ „A **szokatlanul meleg időjárás időszak**, amelyet gyakran egy relatív hőmérsékleti küszöbértékhez viszonyítva definiálnak, és amely **2 naptól akár több hónapig is tarthat.**” (IPCC: Annex VII: Glossary, 2021)



A hőhullámok meghatározása(i)

- ❑ A tudományos szakirodalomban a hőhullámok meghatározásainak széles skálája található.
- ❑ „A **szokatlanul meleg időjárás időszak**, amelyet gyakran egy relatív hőmérsékleti küszöbértékhez viszonyítva definiálnak, és amely **2 naptól akár több hónapig is tarthat.**” (IPCC: Annex VII: Glossary, 2021)



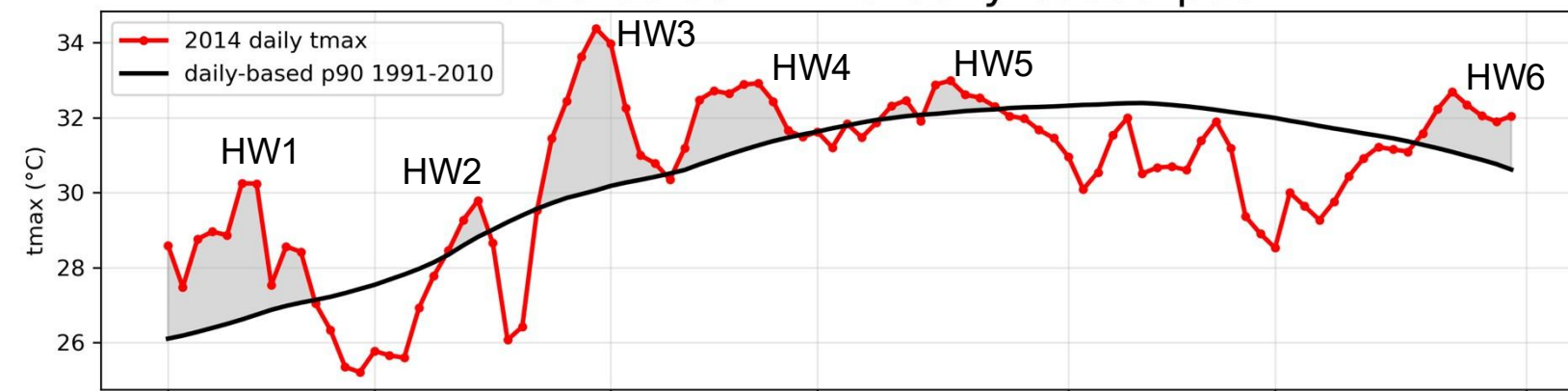
Mi akadályoz meg bennünket abban, hogy egységesen meghatározzuk, mi is valójában egy hőhullám?

A hőhullám-definíció „szabadsági fokai”:

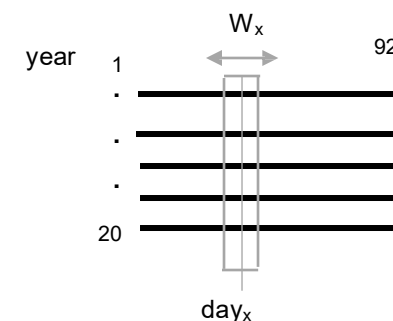
- **Változók:** átlaghőmérséklet (*tmean*) | minimumhőmérséklet (*tmin*) | maximumhőmérséklet (*tmax*)?
 - **Statisztika:** 90. | 95. | 99. percentilis? A valószínűségi sűrűségfüggvény (PDF) az egész évre, vagy csak a nyári hónapokra (JJA napokra) épül?
 - **Referenciaidőszak:** pl. 1961–1990 vagy 1991–2020?
 - **Perzisztencia (tartósság):** 2 | 3 | 5 | 7 egymást követő nap?
- Ez nyilvánvalóan nagyon esettanulmány-függővé teszi a hőhullám meghatározását...**

A hőhullámok detektálása a gyakorlatban

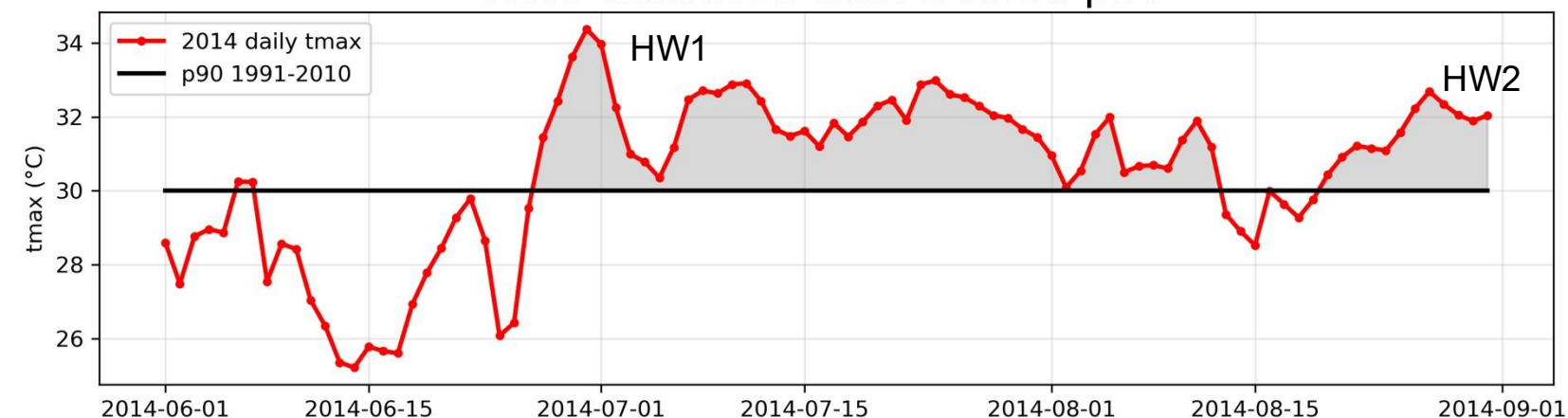
HWs detected with a daily-based p90



- Napi alapú 90. percentilis (p90) - 31 napos időablakon belül számítva



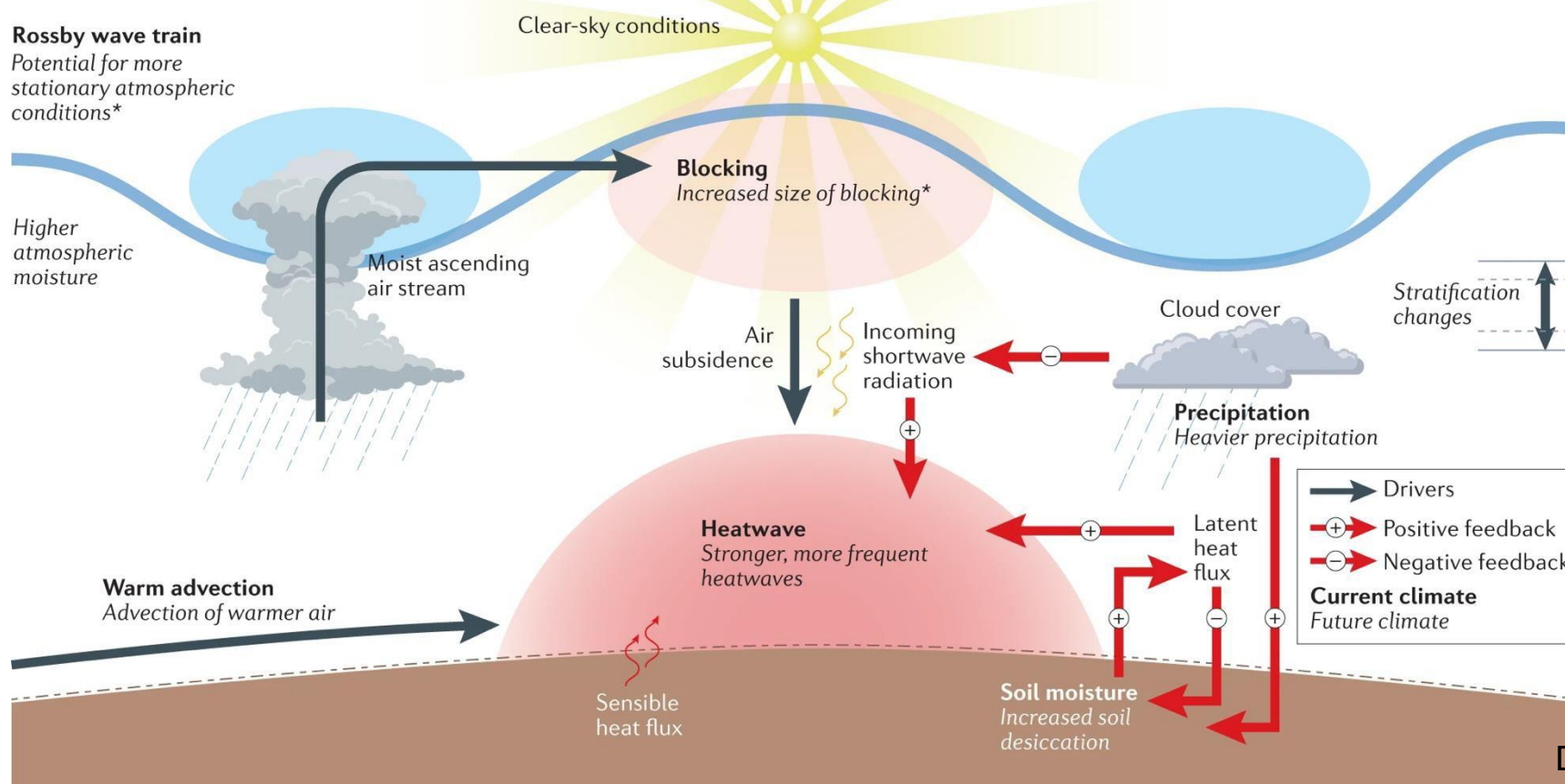
HWs detected with a fixed p90



- Rögzített 90. percentilis maximumhőmérséklet (tmax).

A hőhullámok fizikai hajtó tényezői

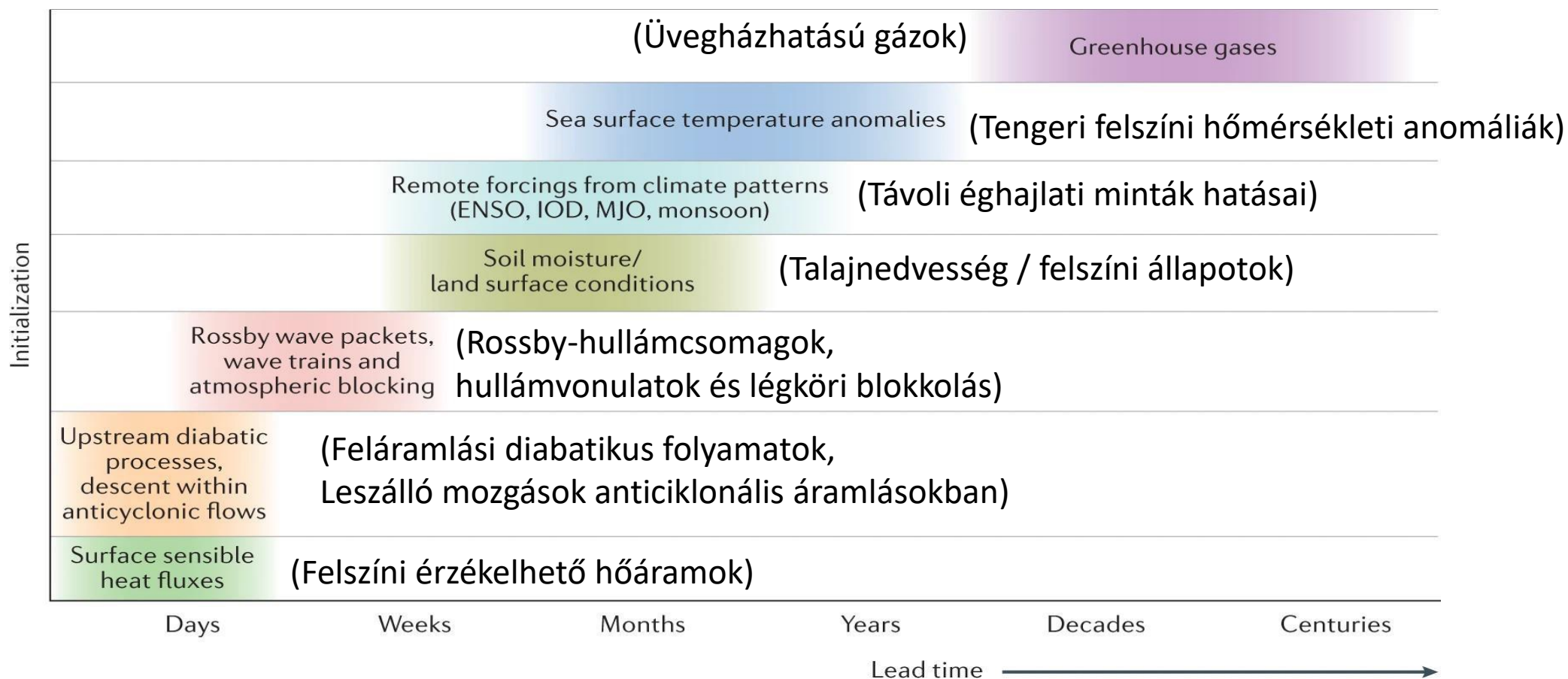
A hőhullámok fizikai hajtó tényezői



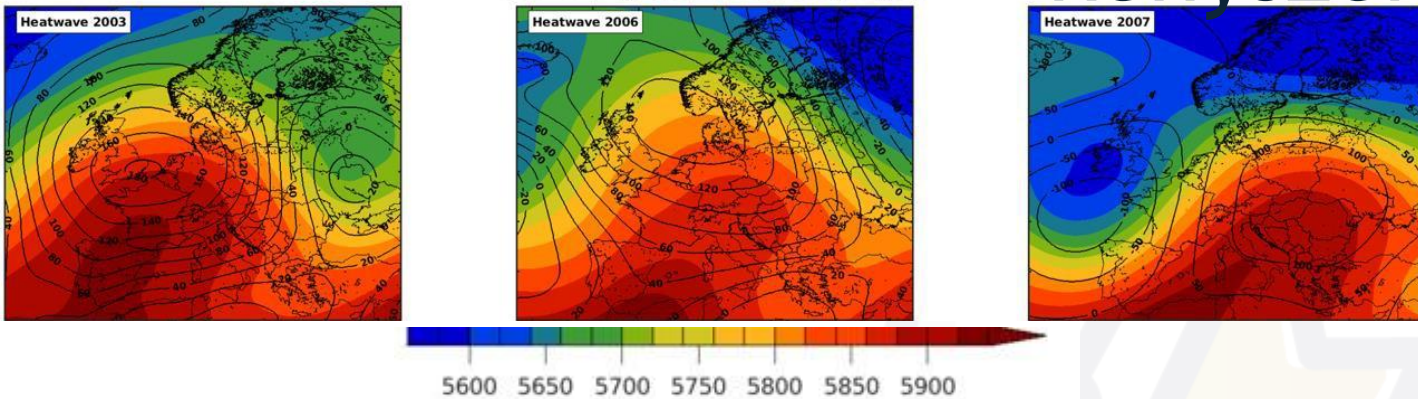
Domeisen et al., 2023

- A hőhullám elsődleges összetevője a nagyléptékű légköri konfigurációk kialakulása, amelyeket Rossby-hullámok urálnak, és nagy amplitúdójú felső-troposzférikus gerinceket hoznak létre.
- A felső szintű gerinc és blokkolás elősegíti a felszíni hőhullámokat a következő mechanizmusok révén: (i) derült égbolt és erős besugárzás, (ii) lesüllyedés (subsidence), azaz a felső légrétegek összenyomódása és felmelegedése, (iii) déli, klimatológiailag melegebb légtömegek advekcója, valamint (iv) termodinamikai folyamatok, amelyek során a talaj fokozatos kiszáradása miatt növekvő érzékelhető hőáram (sensible heat flux) és a csökkenő látens hő következtében diabatikus (hőtermelő) melegedés jön létre.

A hőhullámok fizikai hajtó tényezői



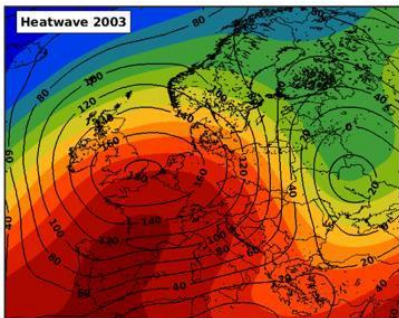
A hőhullámok fizikai hajtó tényezői. Nagyleptékű kényszerek



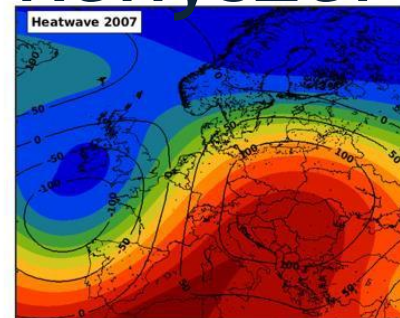
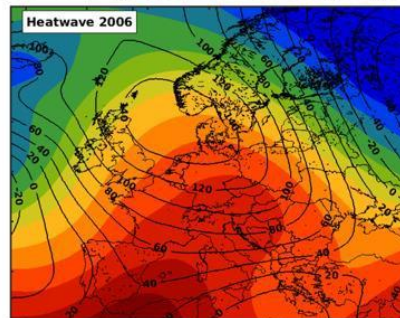
- A légköri cirkuláció az egyik legfontosabb hajtó tényező a hőhullámok esetében, amely képes modulálni a többi tényező hatásának mértékét.

From Sangelantoni et al., 2023

A hőhullámok fizikai hajtó tényezői. Nagyléptékű kényszerek

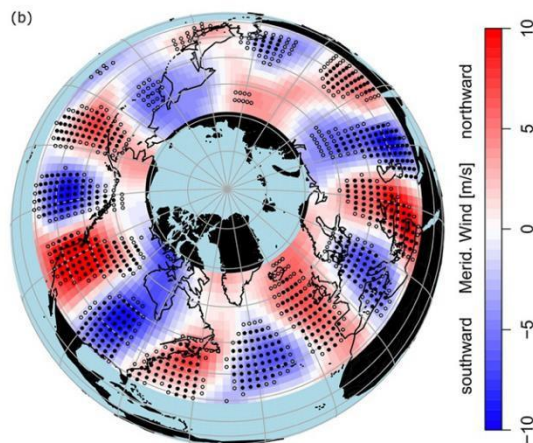
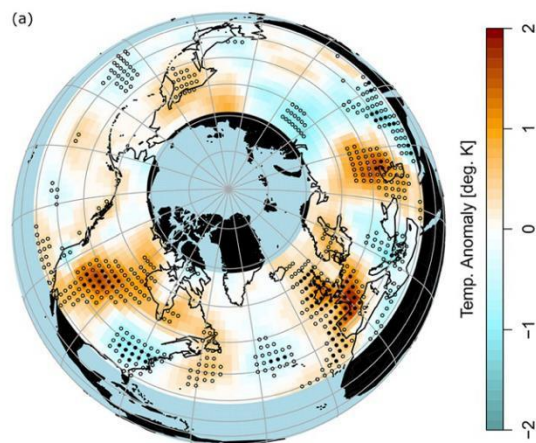


500 hPa geopotential height [m]



5600 5650 5700 5750 5800 5850 5900

From Sangelantoni et al., 2023



- A légköri cirkuláció kulcsszerepet játszik a hőhullámok kialakulásában, és befolyásolja más hajtó tényezők hatását.
- A közepes földrajzi szélességek térségében a hőhullámok általában kvázi-állandó Rossby-hullámmintázatok regionális megnyilvánulásai.
- A félgömbi Rossby-hullámcsomagok lokális amplitúdómaximumokkal és korlátozott zonális kiterjedéssel rendelkeznek, amelyeket a jet stream hullámvezető (waveguide) hatása meridionálisan behatárol.

JJA-hetek kompozitjai, amelyeket 7-es hullámszámú események jellemeznek. Felszíni hőmérsékleti anomália (a) és a hozzá tartozó 300 hPa-os meridionális szélesség (1979–2018).

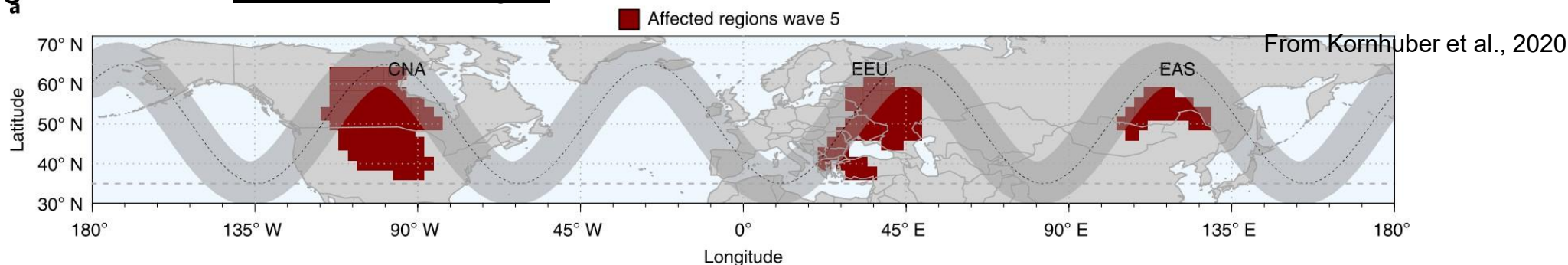
From Kornhuber et al., 2019

A hőhullámok fizikai hajtó tényezői

- Nagyléptékű kényszerek

- A nyári hullámvezetők képesek az egész félgömböt körülérni, és circumglobalis telekapcsolatokat (CGT - *Circumglobal Teleconnections*, Branstator, 2002) hoznak létre. A CGT-k tartósan **fennmaradhatnak**, és az időjárási szélsőségeket a félgömbön belül **szinkronizálhatják**.

Hőhullámok egybeesése olyan régiókban, amelyek a „5-ös hullámmal” telekapcsolatban állnak.

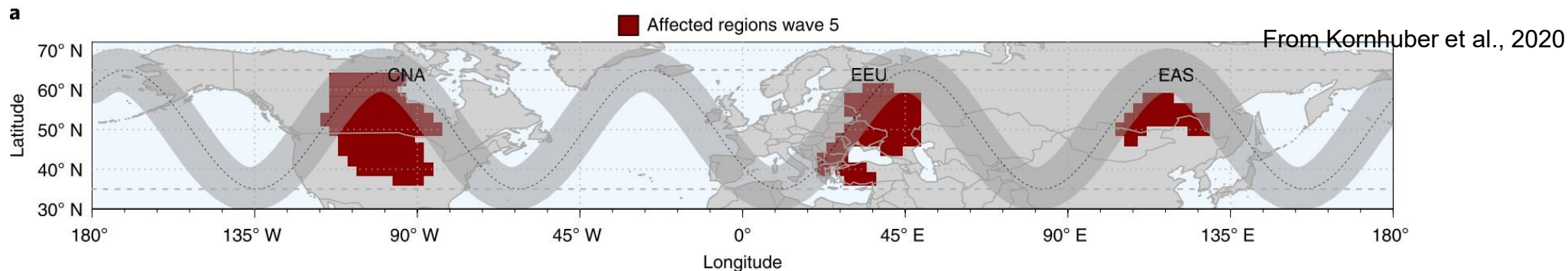


A hőhullámok fizikai hajtó tényezői

- Nagyléptékű kényszerek

- A nyári hullámvezetők képesek az egész félgömböt körülérni, és circumglobalis telekapcsolatokat (CGT - *Circumglobal Teleconnections*, Branstator, 2002) hoznak létre. A CGT-k tartósan **fennmaradhatnak**, és az időjárási szélsőségeket a félgömbön belül **szinkronizálhatják**.

Hőhullámok egybeesése olyan régiókban, amelyek a „5-ös hullámmal” telekapcsolatban állnak.

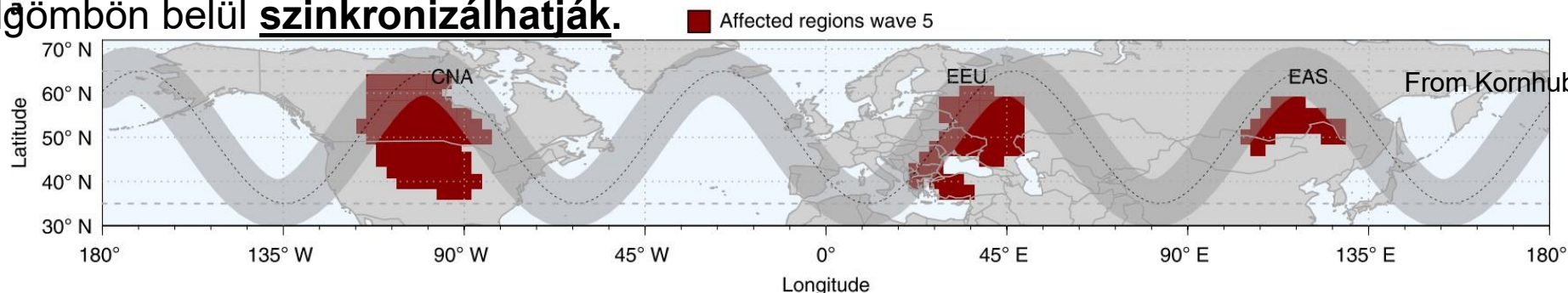


Miért vezet a CGT-k kialakulása fáziszáródáshoz és amplitúdó-erősödéshez?

A hőhullámok fizikai hajtó tényezői

- Nagyléptékű kényszerek

A nyári hullámvezetők képesek az egész félgömböt körülérni, és circumglobalis telekapcsolatokat (CGT - *Circumglobal Teleconnections*, Branstator, 2002) hoznak létre. A CGT-k tartósan **fennmaradhatnak**, és az időjárási szélsőségeket a félgömbön belül **szinkronizálhatják**.



Hőhullámok egybeesése olyan régiókban, amelyek a „5-ös hullámmal” telekapcsolatban állnak.

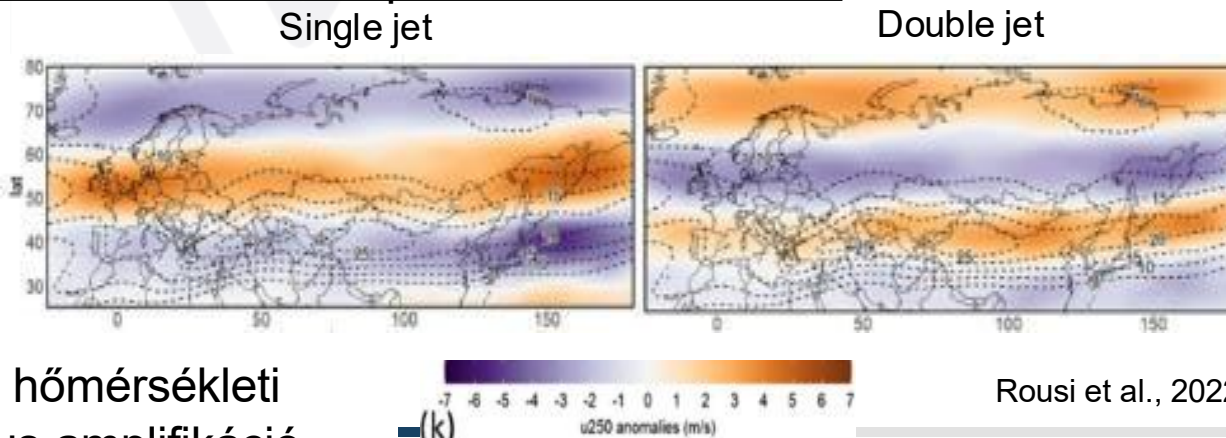
Miért vezet a CGT-k kialakulása fáziszáródáshoz és amplitúdó-erősödéshez?

Két fő mechanizmus:

(i) A zonális átlagos futóáramlások (jetek) **gyengülése**

Kettős jetkonfiguráció, amikor a szabad szinoptikus **Rossby-hullámok** ($k \approx 6-8$) **befogásra kerülnek** a közepes szélességi hullámvezetőkben.

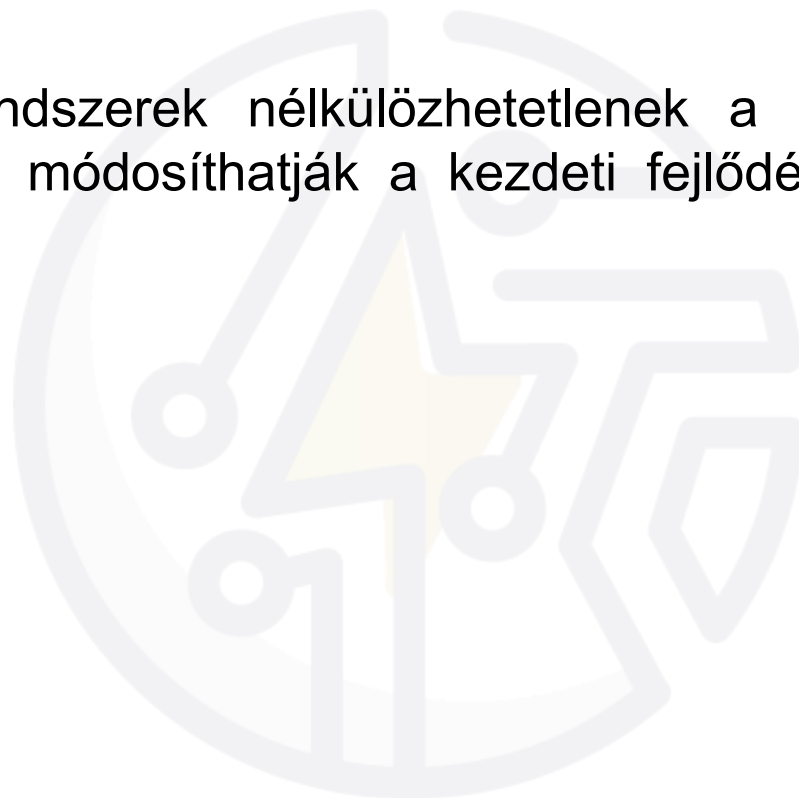
Ezek a dinamikai folyamatok végső soron az egyenlítő–sarki hőmérsékleti gradiens csökkenésére vezethetők vissza, amelyet az Arktikus amplifikáció idéz elő (Petoukhov et al., 2013; Comou et al., 2014).



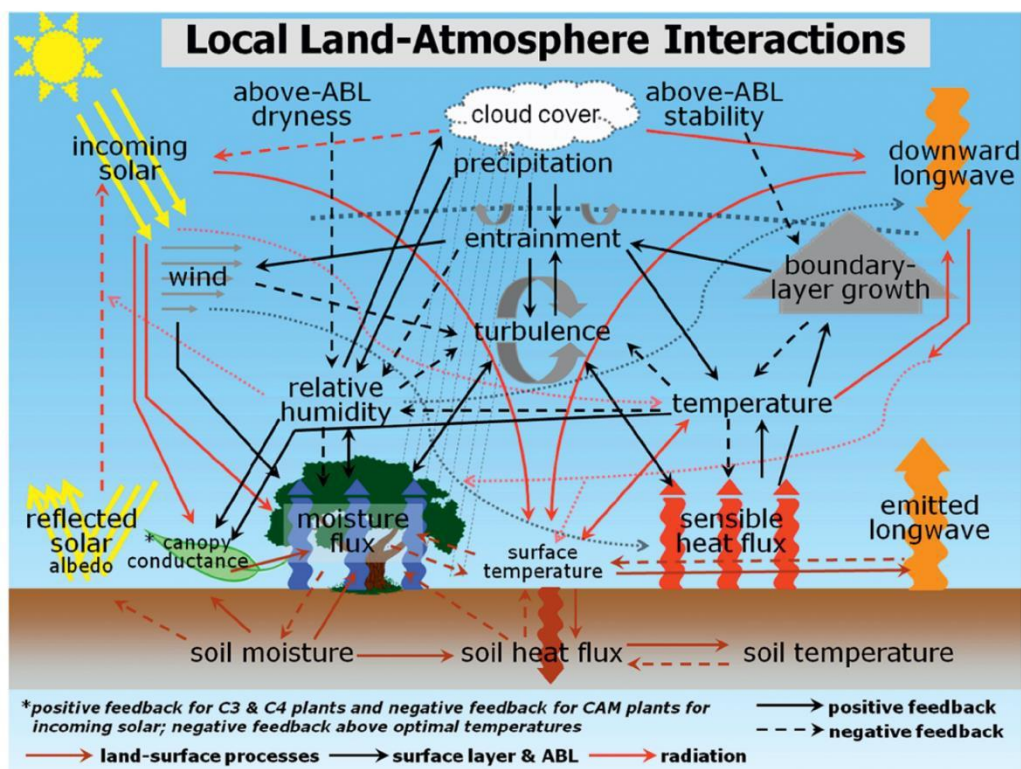
Rousi et al., 2022

Regionális-lokális léptékű kényszerítő hatások

...Bár a magas nyomású rendszerek nélkülözhetetlenek a hőhullámok kialakulásához, a regionális tényezők jelentősen módosíthatják a kezdeti fejlődést és az evolúciót, különböző időskálákon...



Regionális-lokális léptékű kényszerítő hatások



A felszín-légkör kölcsönhatások az energia-, tömeg- és impulzusáramlások cseréjét jelentik a Föld felszínén. Ez a **kapcsolódás (coupling)** befolyásolja a **planetáris határréteg (PBL vagy ABL)** fejlődését, a **konvekciót** és a **felhőzetet**, amelyek viszont hatnak a **csapadékképződésre**, valamint a **hőhullámok intenzitására és tartósságára**.

A **PBL**: a troposzféra azon része, amelyet közvetlenül befolyásolnak a felszíni viszonyok, mélysége néhány száz métertől néhány kilométerig terjedhet.

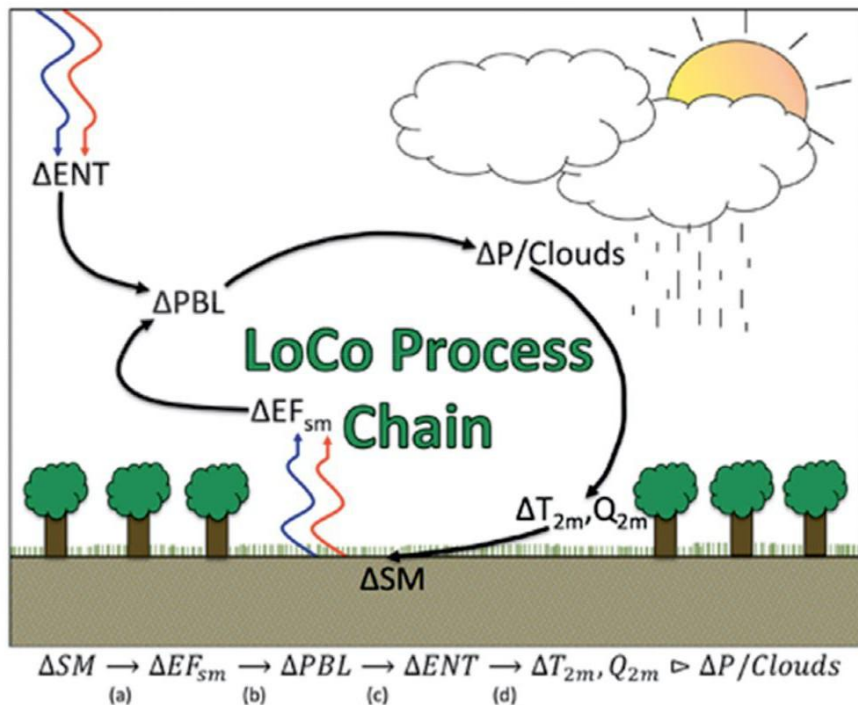
Jellemző rá, hogy a **légáramlás**, a **termodinamikai tulajdonságok** és a **kémiai összetétel** eltér a felette elhelyezkedő **szabad troposzférától**.

Vázlatos ábra: felszín-légkör kölcsönhatások nyugodt szinoptikus helyzetben.

From Santanello et al., 2018

Regionális-lokális léptékű kényszerítő hatások

A felszín állapota miként hat a légkörre



A talajnedvesség-csapadék (SM-P) kapcsolatot meghatározó folyamatok (pathways) sematikus ábrázolása.

$$\Delta SM \xrightarrow{a} \Delta EF_{sm} \xrightarrow{b} \Delta PBL \xrightarrow{c} \Delta ENT \xrightarrow{d} \Delta T_{2m}, Q_{2m} \Rightarrow \Delta P, Cloud. \quad (1)$$

FIG. 2. Schematic of the LoCo process chain describing the components of L-A interactions linking soil moisture to precipitation and ambient weather (T_{2m} , Q_{2m}), where SM represents soil moisture; EF_{sm} is the evaporative fraction sensitivity to soil moisture; PBL is the PBL characteristics (including PBL height); ENT is the entrainment flux at the top of the PBL; T_{2m} and Q_{2m} are the 2-m temperature and humidity, respectively; and P is precipitation.

Regionális-lokális léptékű kényszerítő hatások

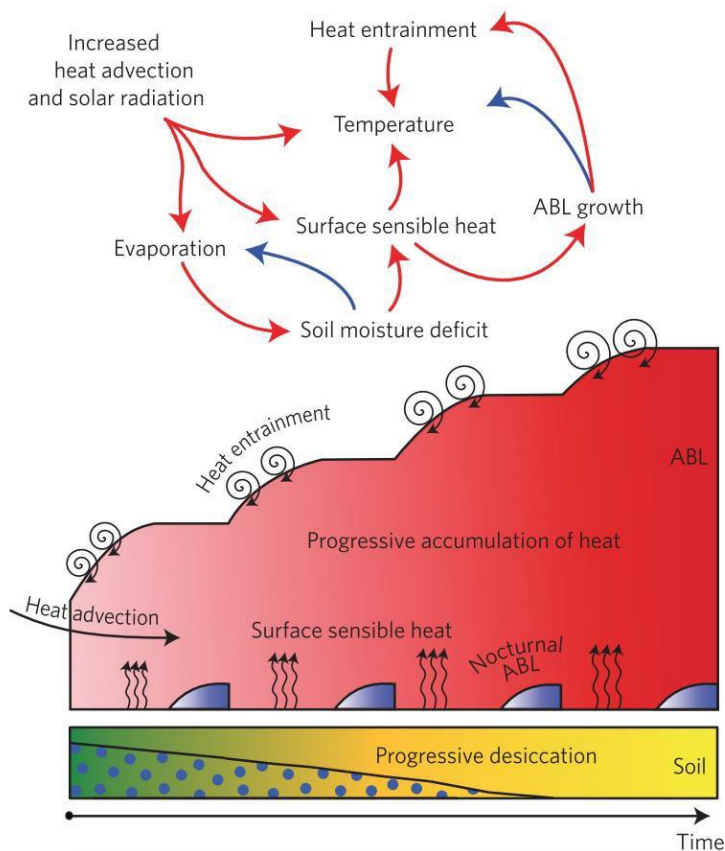


Figure 4 | Land-atmosphere interactions during mega-heatwaves revisited. Representation of the main soil moisture-air temperature interactions in the development of a mega-heatwave. Red and blue arrows represent positive and negative correlations, respectively.

From Miralles et al., 2014

Extrém hőmérsékleti ciklus egy mega-hőhullámban, ahol a föld-légkör visszacsatolások az extrém hőmérsékletek felerősödéséhez vezetnek a felszín és a PBL többnapos memóriáján keresztül.

A talaj-légkör kölcsönhatások újraértelmezése mega-hőhullámok során. A talajnedvesség és levegőhőmérséklet közötti főbb kölcsönhatások ábrázolása a mega-hőhullámok kialakulásában. A piros és kék nyilak pozitív, illetve negatív korrelációt jelentenek.

Regionális-lokális léptékű kényszerítő hatások

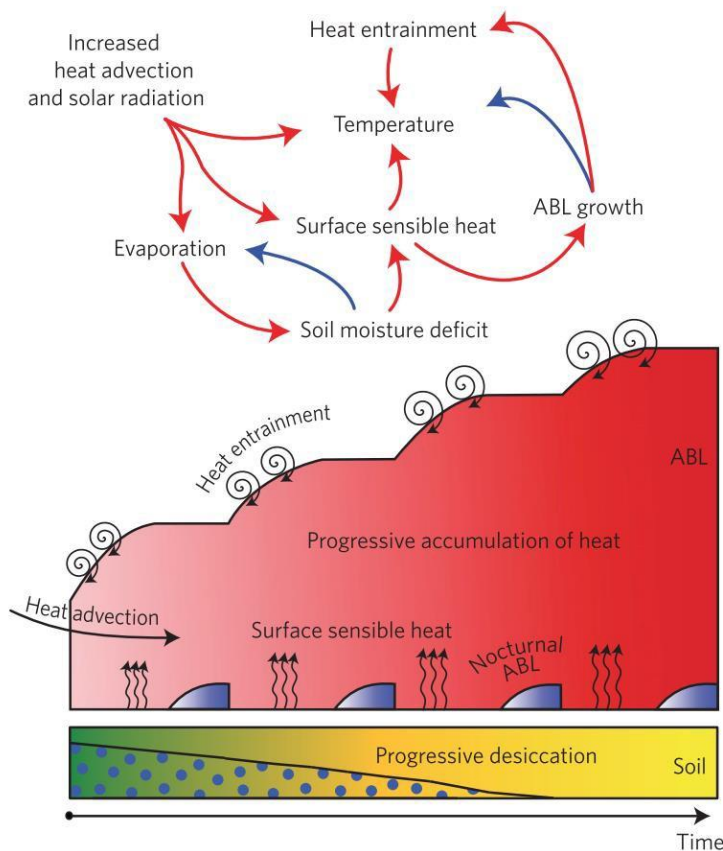


Figure 4 | Land-atmosphere interactions during mega-heatwaves revisited. Representation of the main soil moisture-air temperature interactions in the development of a mega-heatwave. Red and blue arrows represent positive and negative correlations, respectively.

From Miralles et al., 2014

Extrém hőmérsékleti ciklus egy mega-hőhullámban – a föld-légkör visszacsatolások révén az extrém hőmérsékletek tovább fokozódnak, a **felszín és a PBL többnapos memóriájának** kombinált hatásával.

Ez a mechanizmus **pozitív visszacsatolási hurkot** hoz létre (tartós magas nyomású rendszerek esetén): Szárazabb talaj → több érzékelhető hő (sensible heat) → mélyebb PBL → nagyobb mértékű meleg levegő bekeveredés (entrainment) → még magasabb felszíni hőmérsékletek.

A talaj-légkör kölcsönhatások újraértelmezése mega-hőhullámok során. A talajnedvesség és levegőhőmérséklet közötti főbb kölcsönhatások ábrázolása a mega-hőhullámok kialakulásában. A piros és kék nyilak pozitív, illetve negatív korrelációt jelentenek.

Hőhullámok regionális kontextusban: kihívások, adatforrások, hiányosságok

Lorenzo Sangelantoni

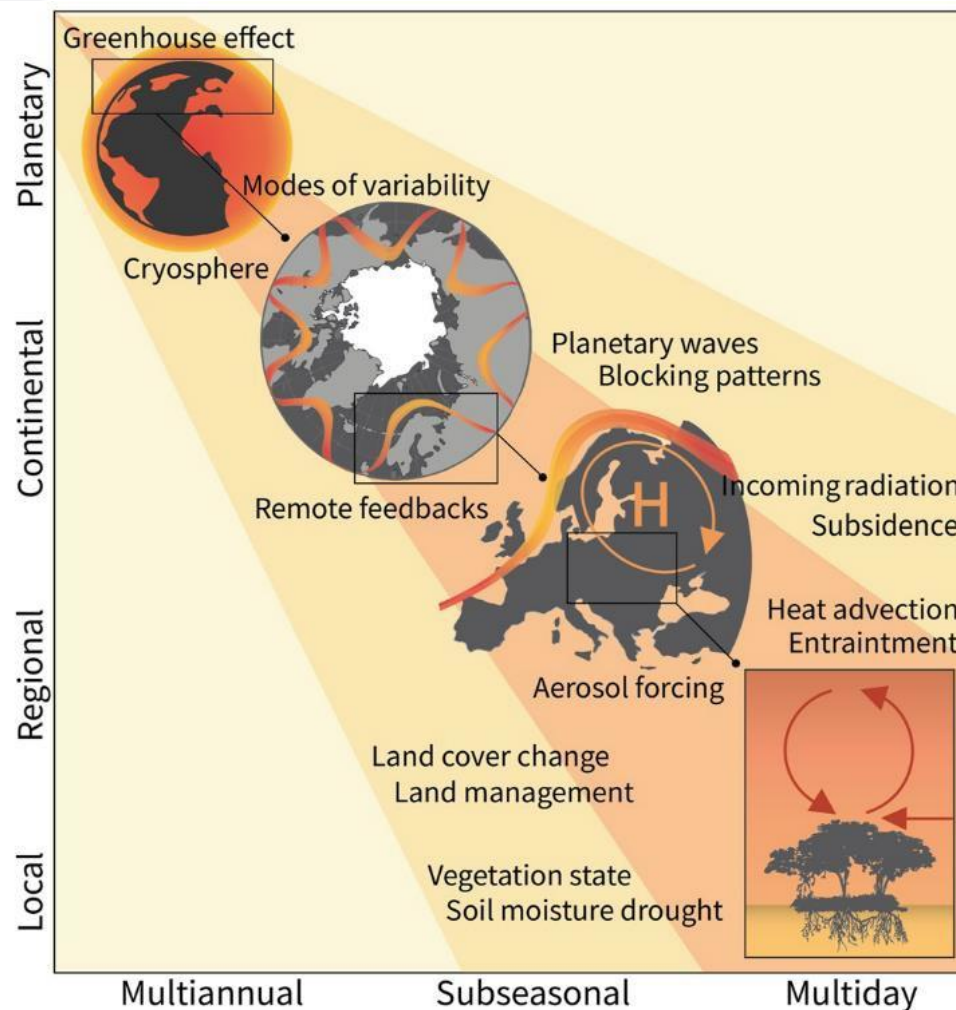
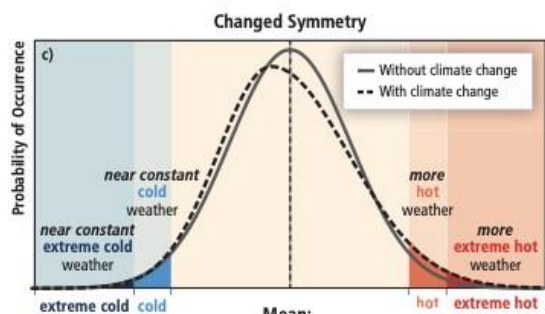
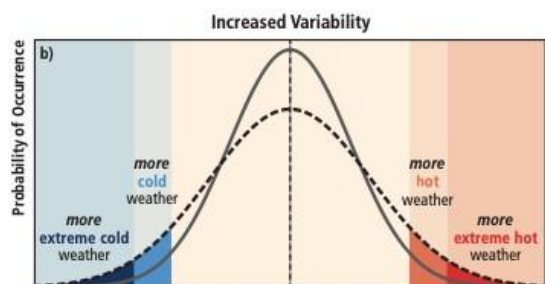
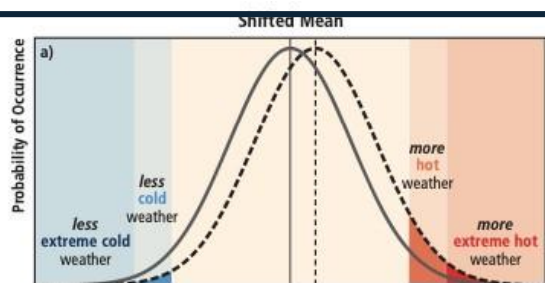
□ Hőhullámok a változó éghajlatban

- Regionális mintázatok a hőhullámok változásában;
- Képesek-e az éghajlati modellek reprodukálni a megfigyelt hőhullám-trendeket?
- Fő korlátok és kihívások.

□ Éghajlati modell-szimulációkhoz való hozzáférés hőhullám-elemzés céljából

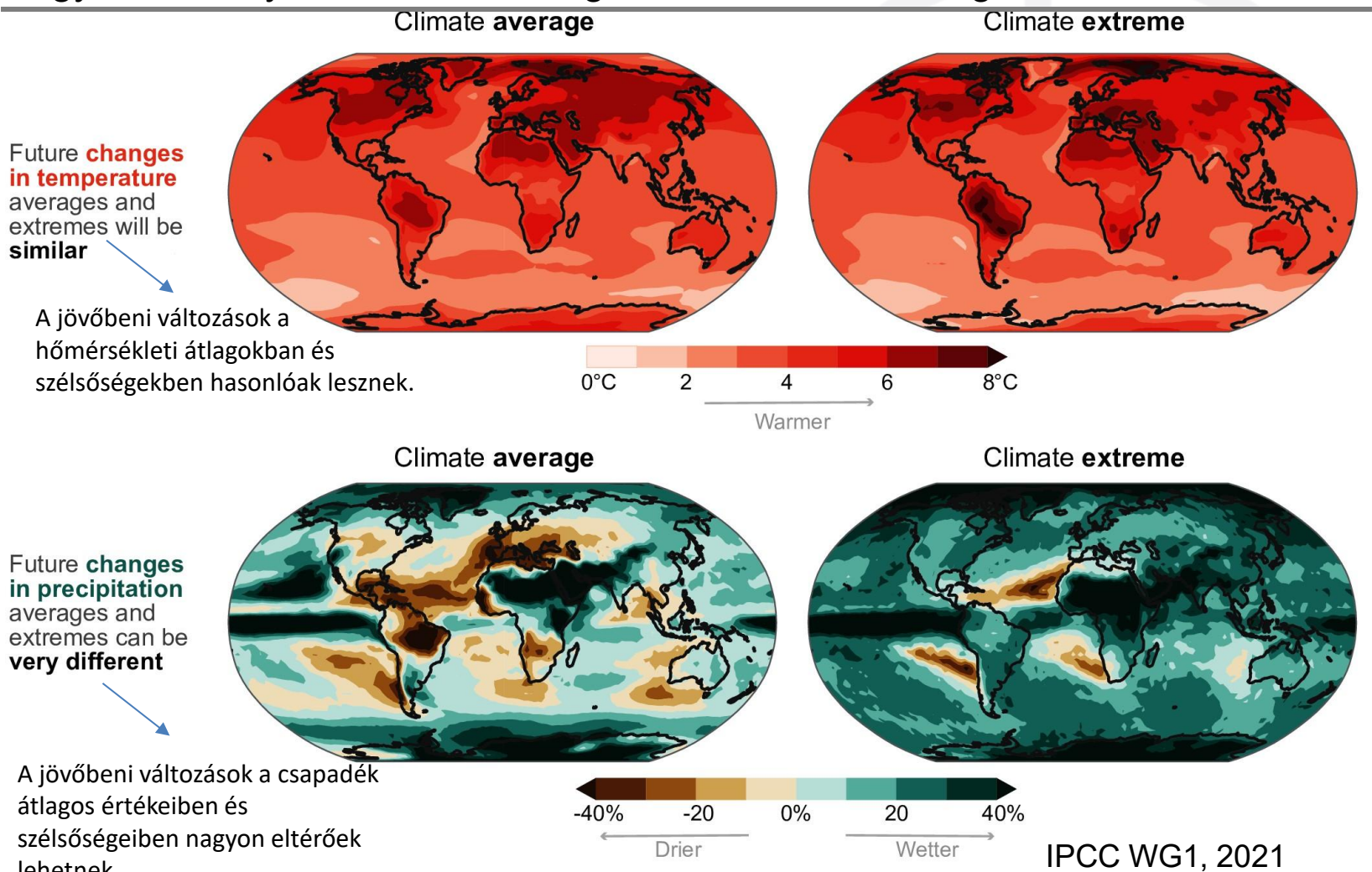
- CMIP6;
- CORDEX;
- ESGF;
- Copernicus CDS.

Hőhullámok a változó éghajlatban - a statisztikától a fizikáig



Hőhullámok a változó éghajlatban

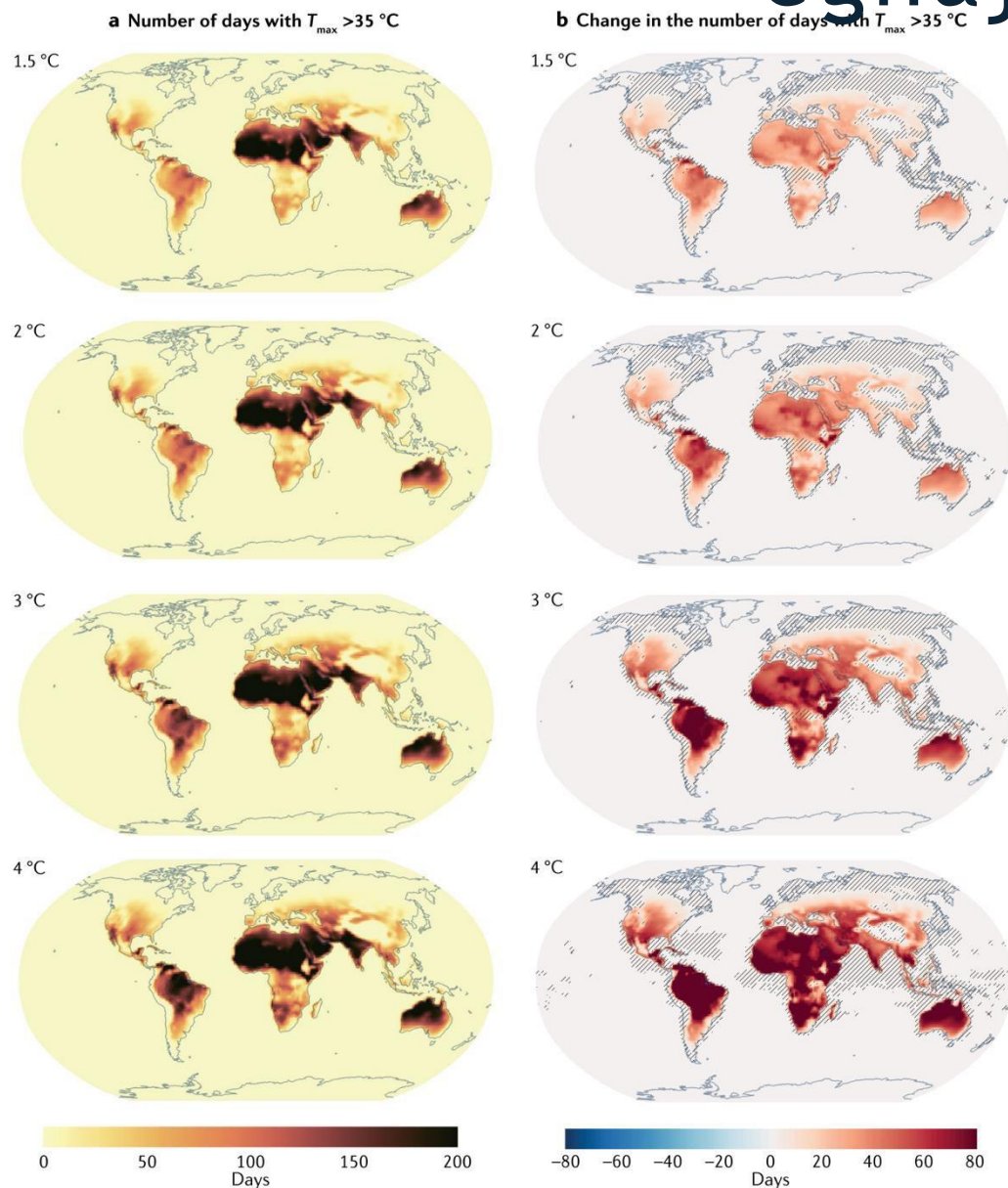
Hogyan viszonyulnak a szélsőségek változásai az átlagos klímaváltozásokhoz?



- A **regionális** változások meghaladhatják a globális átlaghőmérséklet-emelkedést.
- Az **évszakos** változások eltérhetnek az éves átlagtól.
- A változások nem egyformák az **eloszlás** különböző részein.

CMIP6-ensemble medián 4 °C globális felmelegedés mellett (1850–1900-hoz képest). Az extrém T2m a legforróbb napot jelenti az évben; a csapadék a legnagyobb napi mennyiséget.

Hőhullámok a változó éghajlatban

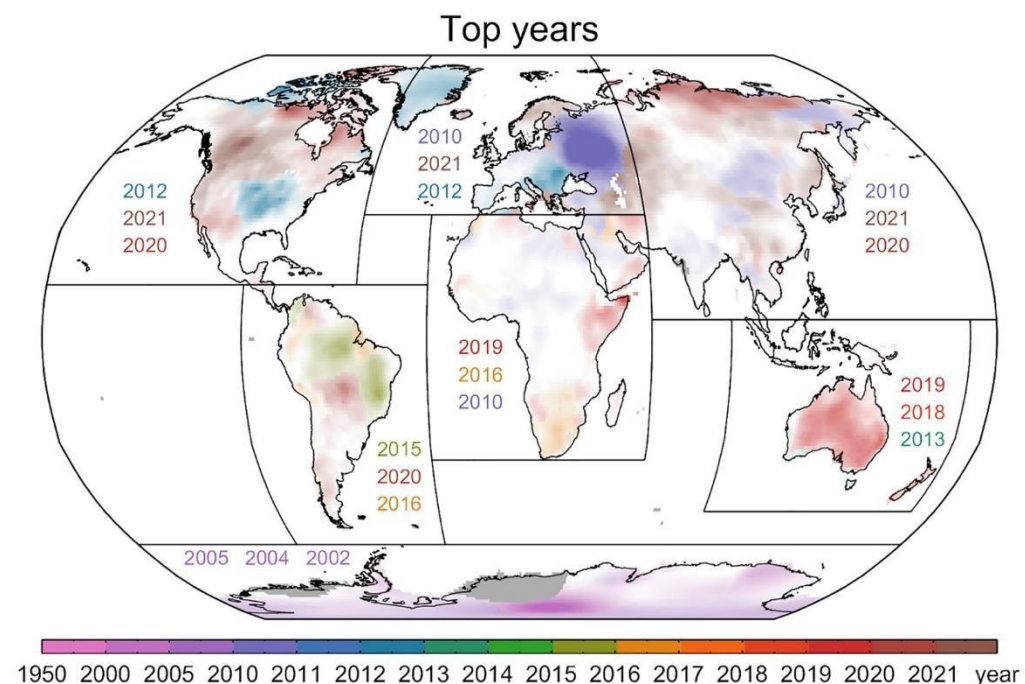
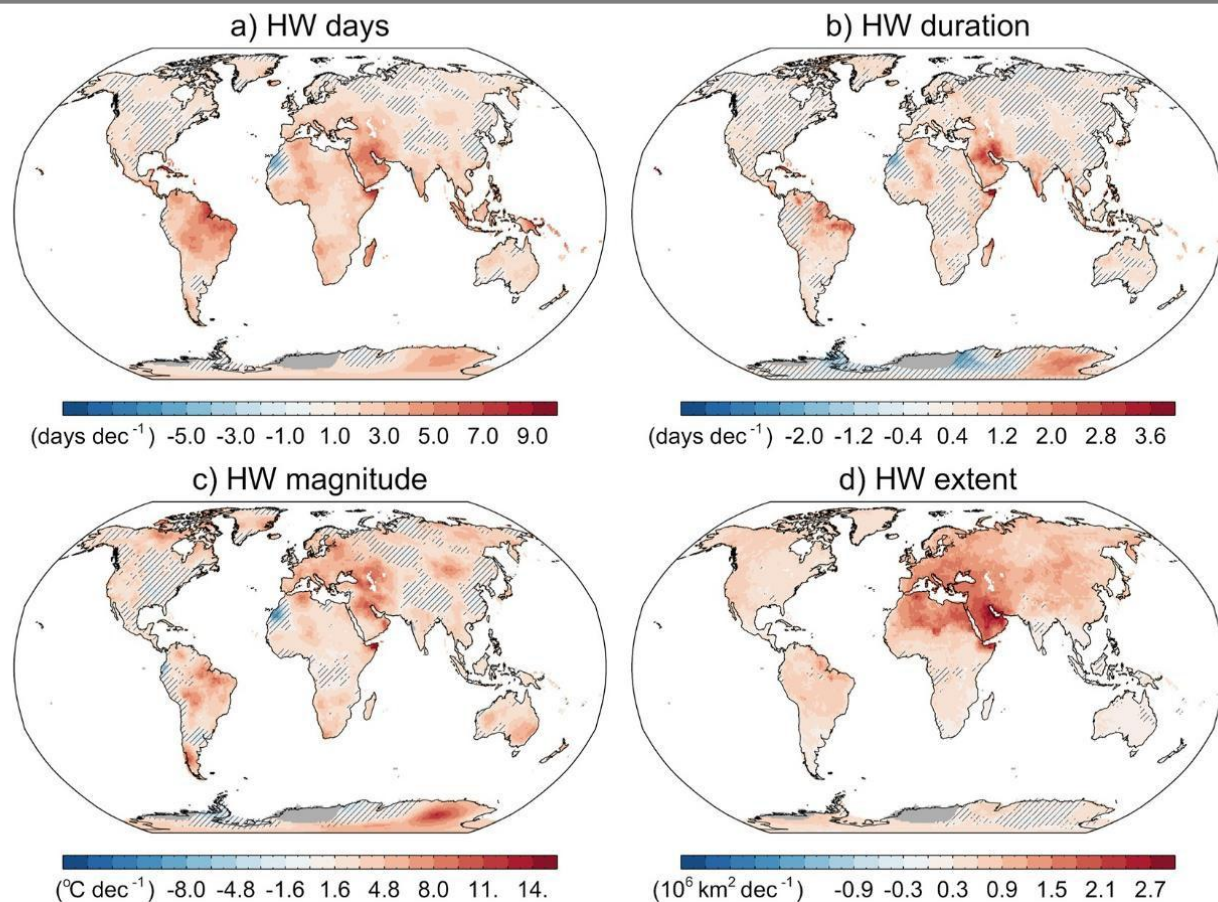


Nagyon meleg napok előfordulása különböző felmelegedési szinteken

- Az évi napok száma, amikor a maximális hőmérséklet meghaladja a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot a szárazföldeken, különböző globális felmelegedési szintek mellett: $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ezek a szintek a CMIP6 modellek SSP5-8.5 szcenáriójából származó, 1850-1900-hoz viszonyított globális átlaghőmérsékletek.
- Az évi napok számának változása, amikor a $T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, az 1850-1900-as referenciaidőszakhoz képest. A vonalkázás (hatching) az alacsony modell-egyeezést jelöli.

Hőhullámok a változó éghajlatban

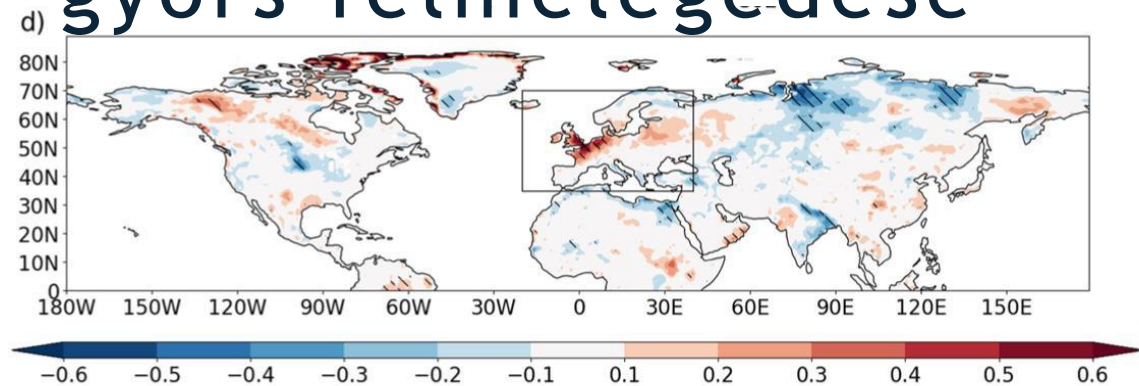
From Barriopedro et al., 2023



Trendek (1950–2021) a meleg évszak hőhullám-jellemzőiben: (a) Hőhullámos napok gyakorisága; (b) A hőhullámok maximális éves időtartama; (c) A hőhullámok mértéke (magnitúdója); (d) Az éves maximális területi kiterjedés.

A 1950–2021 közötti időszak három legszélsőségesebb éve kontinensenként, a hőhullám-magnitúdó alapján rangsorolva. A színek az előfordulás évét jelzik.

Hőhullámok a változó éghajlatban, az európai nyarak gyors felmelegedése



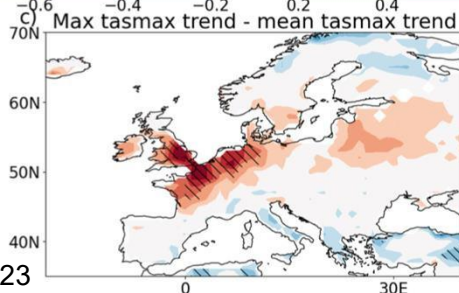
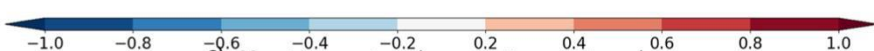
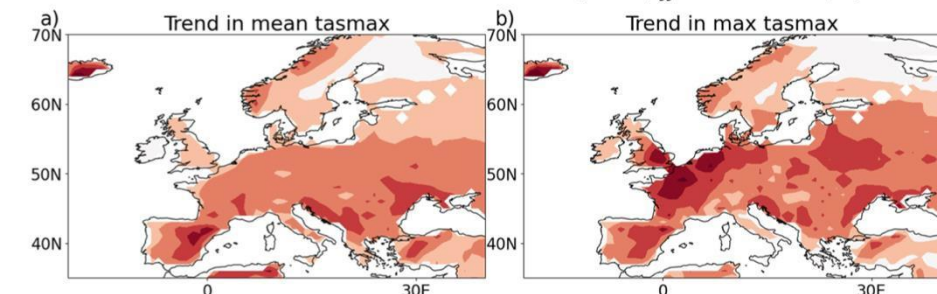
Global emergence of regional heatwave hotspots outpaces climate model simulations

Kai Kornhuber^{a,b,c,1} , Samuel Bartusek^{b,d} , Richard Seager^b , Hans Joachim Schellnhuber^{a,1} , and Mingfang Ting^{b,c} 

North-West Europe Hottest Days Are Warming Twice as Fast as Mean Summer Days

Matthew Patterson¹ 

Trend in max tasmax vs trend in mean tasmax (ERA5, JJA 1960-2021, K/decade)



Acceleration of daily land temperature extremes and correlations with surface energy fluxes

 Check for updates

Chris Huntingford¹ , Peter M. Cox^{2,3} , Paul D. L. Ritchie^{2,3} , Joseph J. Clarke² ,
Isobel M. Parry²  & Mark S. Williamson^{2,3} 

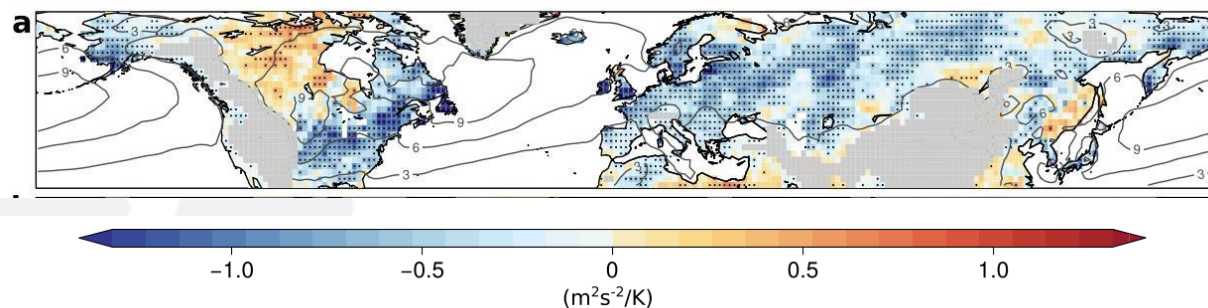
Az északi félteke nyári cirkulációjának gyengülése

The weakening summer circulation in the Northern Hemisphere mid-latitudes

Dim Coumou,^{1*} Jascha Lehmann,^{1,2} Johanna Beckmann^{1,2}

Rapid warming in the Arctic could influence mid-latitude circulation by reducing the poleward temperature gradient. The largest changes are generally expected in autumn or winter, but whether significant changes have occurred is debated. Here we report significant weakening of summer circulation detected in three key dynamical quantities: (i) the zonal-mean zonal wind, (ii) the eddy kinetic energy (EKE), and (iii) the amplitude of fast-moving Rossby waves. Weakening of the zonal wind is explained by a reduction in the poleward temperature gradient. Changes in Rossby waves and EKE are consistent with regression analyses of climate model projections and changes over the seasonal cycle. Monthly heat extremes are associated with low EKE, and thus the observed weakening might have contributed to more persistent heat waves in recent summers.

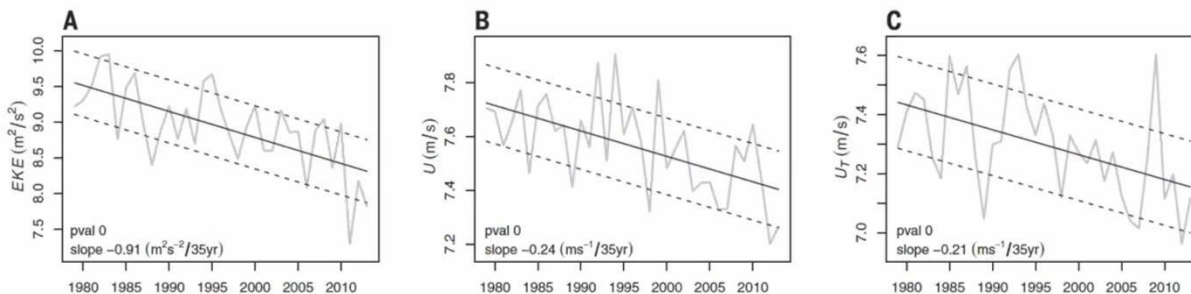
„A kvantilis regresszió meredeksége az EKE (örvénylési mozgási energia) és a nyári hőmérséklet anomáliái között (90. percentilis)



From Lehmann & Coumou 2015

A legforróbb nyári hónapok alacsony EKE-vel (eddy kinetic energy, örvényes mozgási energia) társulnak.

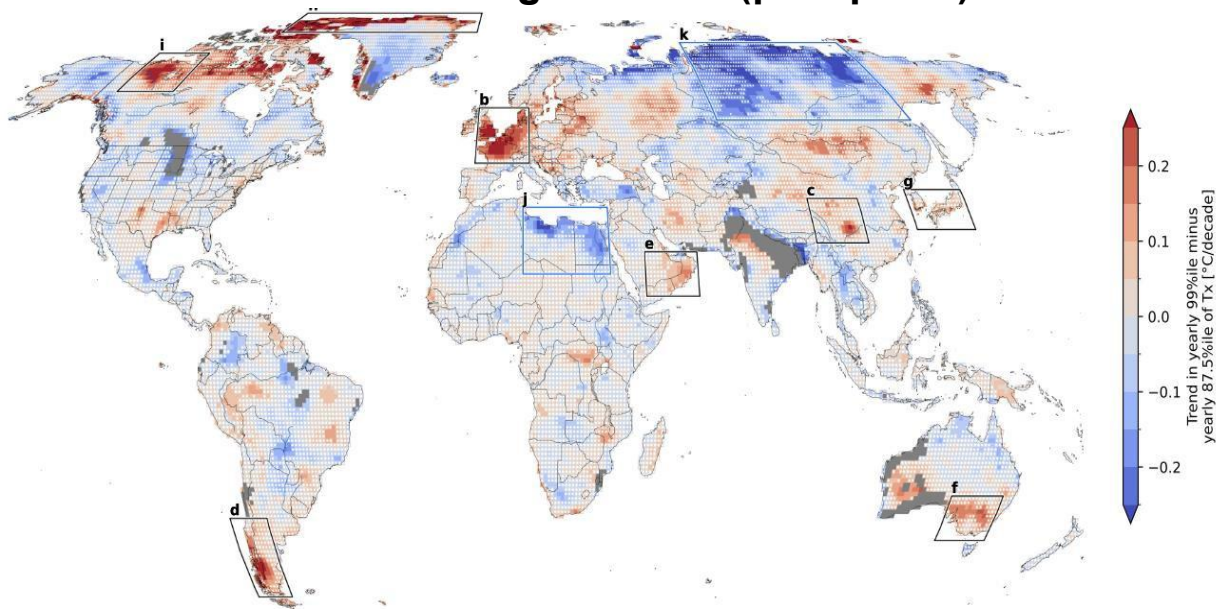
A legforróbb nyári hónapok alacsony EKE-vel (eddy kinetic energy, örvényes mozgási energia) társulnak. Abszolút változások: (A) EKE, (B) zonális szélesség (U), (C) termikus szél (U_T) 1979–2013 között, nyáron. A változók 500 mb nyomási szinten kerültek számításra, átlagolva 35°N – 70°N között és minden hosszúsági körre. A szürke vonalak a megfigyeléseket, a fekete folytonos vonalak a lineáris trendet mutatják.



From Coumou et al.,
2015

Képesek-e az éghajlati modellek reprodukálni a nyári gyors felmelegedés regionális mintázatait?

Trend az extrém hőmérsékleti eloszlás felső szélsőértékeinek tágulásában (p99–p87.5)

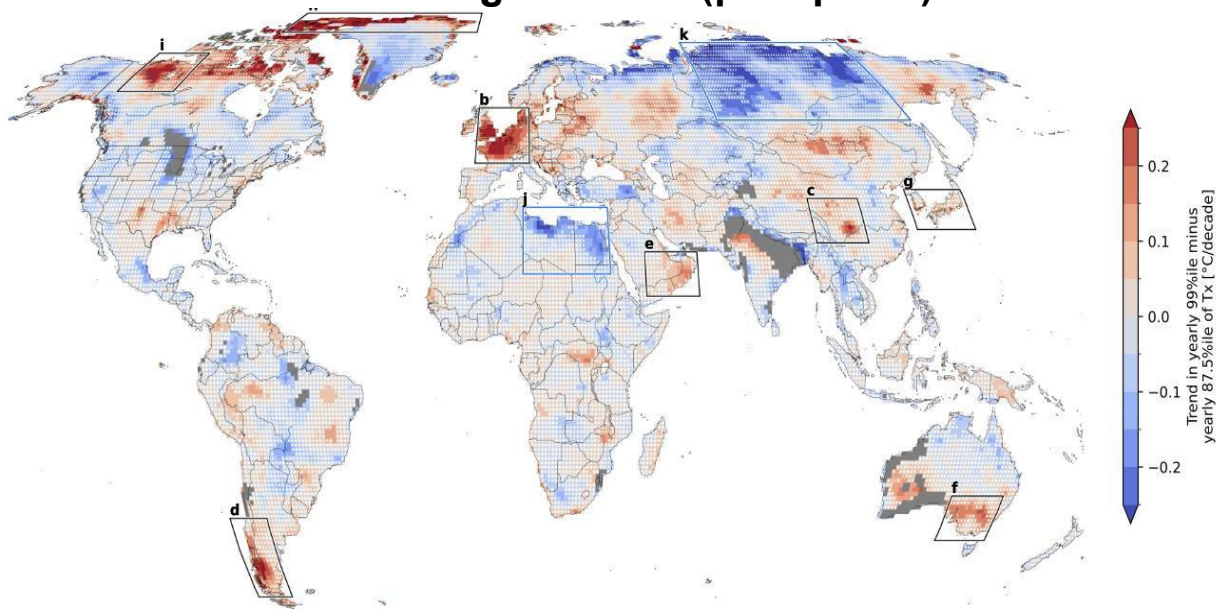


From Kornhuber et al., 2024

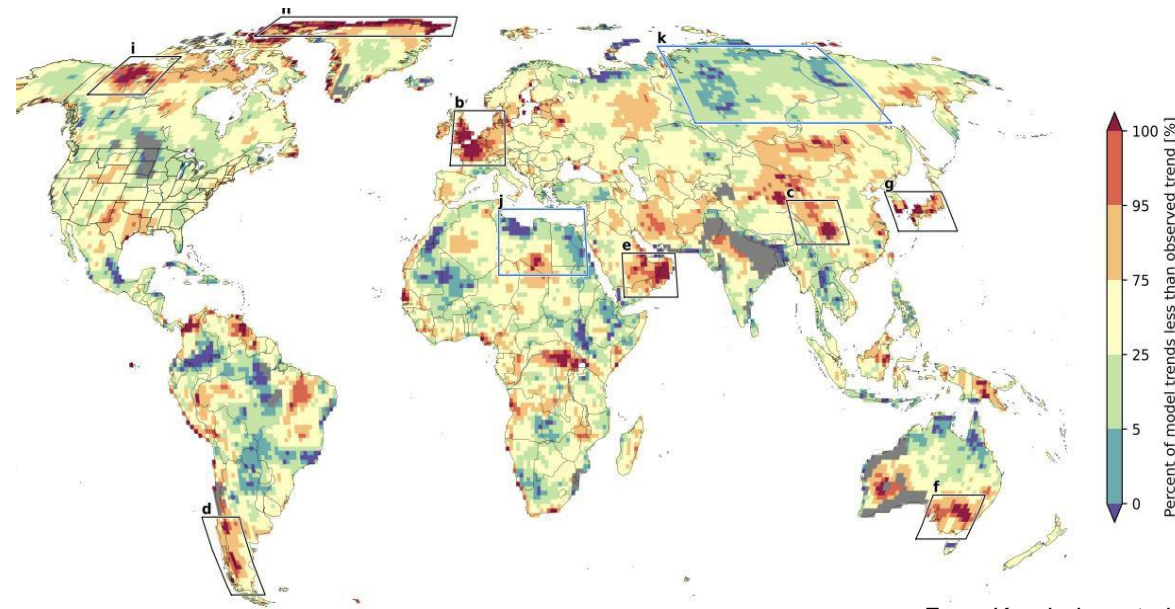
A regionális trendek az **extrém hőmérsékleti eloszlás szélesedését** mutatják, amelyet a napi maximális hőmérséklet (T_x) éves **99.** percentilisének és **87,5.** percentilisének különbsége alapján számítottak, minden rácspontban az 1958–2022 közötti hosszú távú trendekből. **A 87,5.** percentilis a felső kvartilis (75–100%) mediánját képviseli.

Képesek-e az éghajlati modellek reprodukálni a nyári gyors felmelegedés regionális mintázatait?

Trend az extrém hőmérsékleti eloszlás felső szélsőértékeinek tágulásában (p99–p87.5)



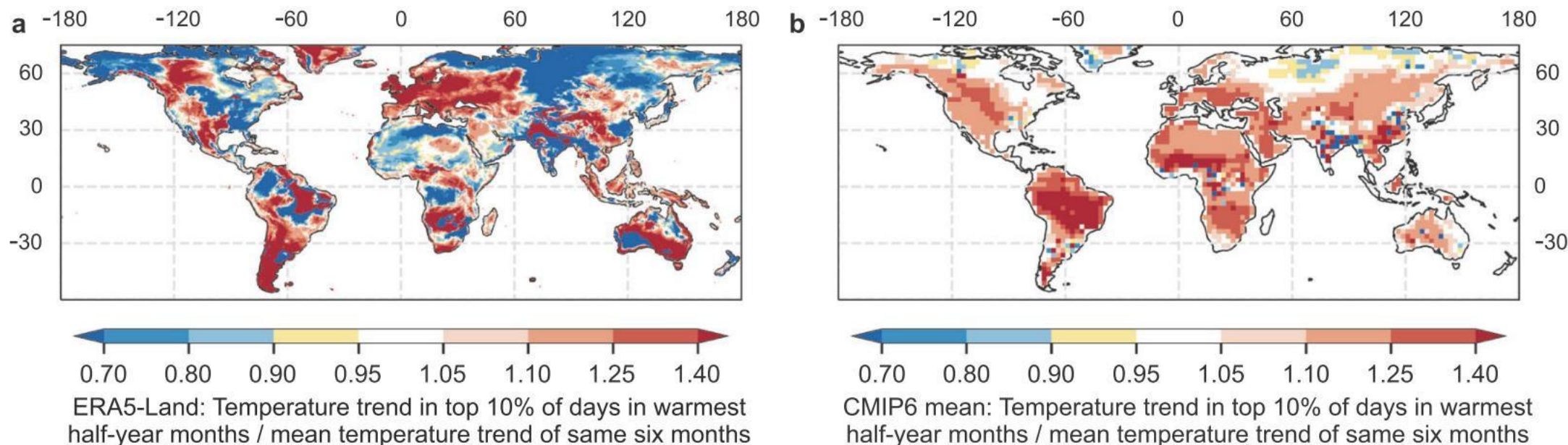
A modellek azon százaléka, amelyek alulbecsülik a szélsőséges hőmérsékleti eloszlás kiterjedését (tail-widening)



From Kornhuber et al., 2024
From Kornhuber et al., 2024

A regionális trendek az **extrém hőmérsékleti eloszlás szélesedését** mutatják, amelyet a napi maximális hőmérséklet (T_x) éves **99.** percentilisének és **87,5.** percentilisének különbsége alapján számítottak, minden rácspontban az 1958–2022 közötti hosszú távú trendekből. **A 87,5.** percentilis a felső kvartilis (75–100%) mediánját képviseli.

Hőhullámok a változó éghajlatban, globálisan megjelenő hőhullám „forrópontok”



Trendek szárazföldi pontokra az ERA5-Land és a CMIP6 részhalmaz-ensemble adataiból az 1950–2021 közötti időszakra. A trendek a legmelegebb félév hónapjaira, valamint az ezen 6 hónapon belüli legmelegebb 10% napra vonatkoznak.

From Huntingford et al., 2024

Mi a probléma a GCM-ekkel (globális éghajlati modellekkel)?

Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends

Vautard et al., 2023

circulation changes shows that there is a large dynamical contribution to this observed trend, which is underestimated in all the 170 climate simulations analyzed, explaining a large part of the discrepancy in trend between models and observations. By contrast, models and observational trends are broadly consistent in terms of the thermodynamic contribution to the trend in mean temperatures. Although it

Summertime Rossby waves in climate models: substantial biases in surface imprint associated with small biases in upper-level circulation

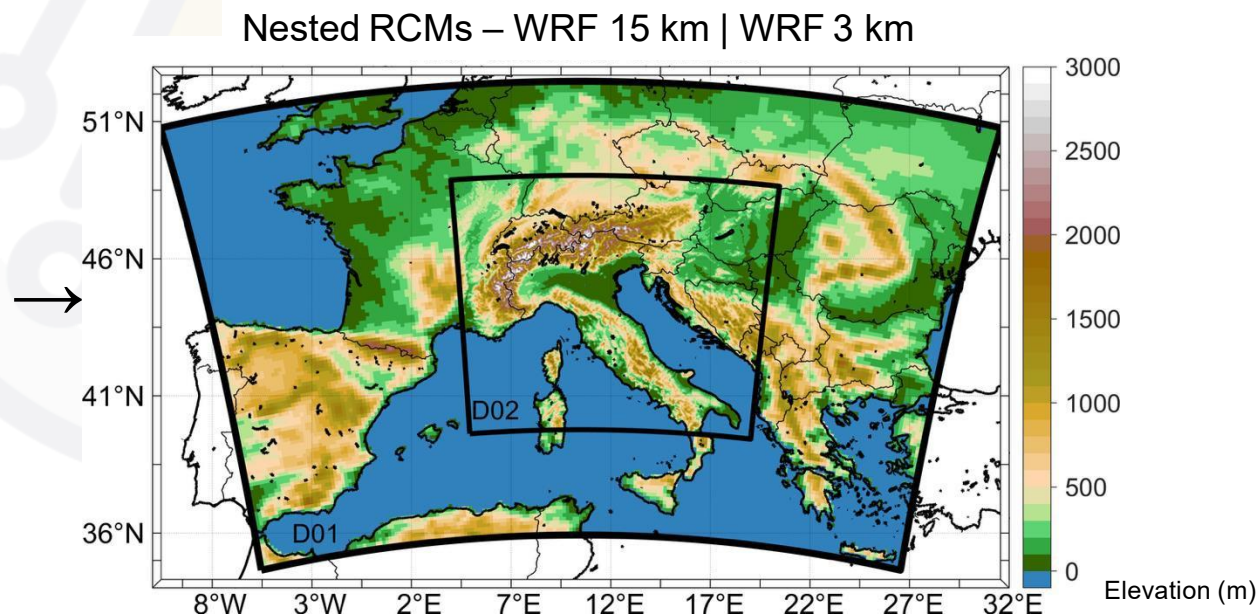
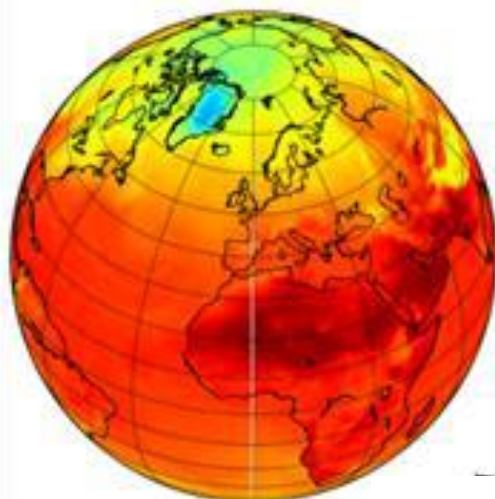
Luo et al., 2022

cesses. Focusing on wave 5 and wave 7, we show that while the wave's position and magnitude are generally well represented during high-amplitude (> 1.5 SD) episodes, the associated surface anomalies are substantially underestimated.

A nyári hőmérséklet és a hőhullámok megjelenítése RCM-ekben (regionális éghajlati modellekben)

Dinamika alapú lefinomítás (Dynamical downscaling)

A globális éghajlati modell (GCM) vagy újraanalízis (reanalysis) szolgáltatja a kezdeti és határfeltételeket a beágyazott regionális éghajlati modell(ek) (RCM) számára.



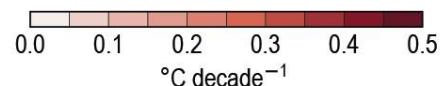
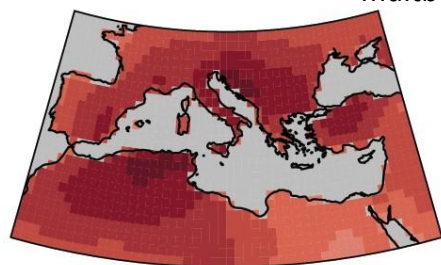
Sangelantoni et al., 2023

A nyári hőmérséklet és hőhullámok megjelenítése RCM-ekben

(d) Observed trend (BerkeleyEarth)

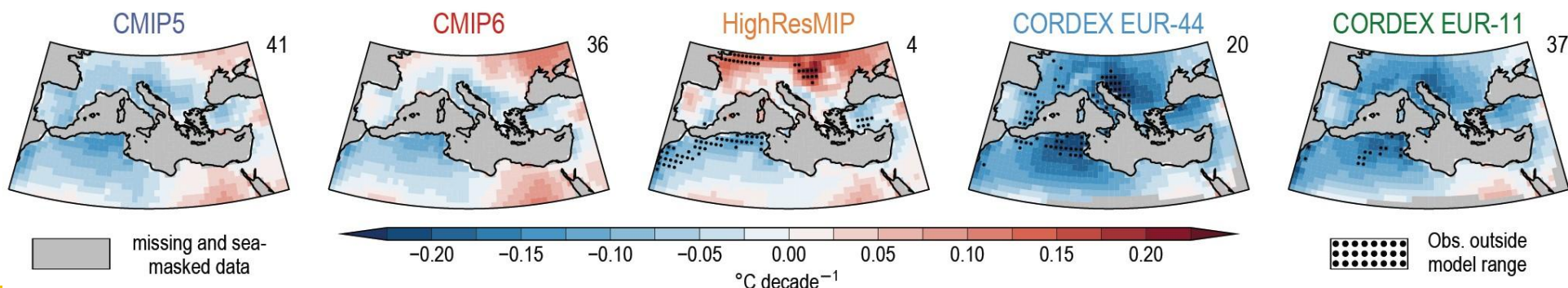
Past period (1960-2014) Megfigyelt trend (BerkeleyEarth), múltbeli időszakra vonatkozóan.

Nyári felszínhőmérsékleti trendek (surface air temperature trends)



Az együttes átlagos trendeltérések a megfigyelt trendhez viszonyítva.

(g) Ensemble mean trend differences with respect to the observed trend ((d), 1960-2014)

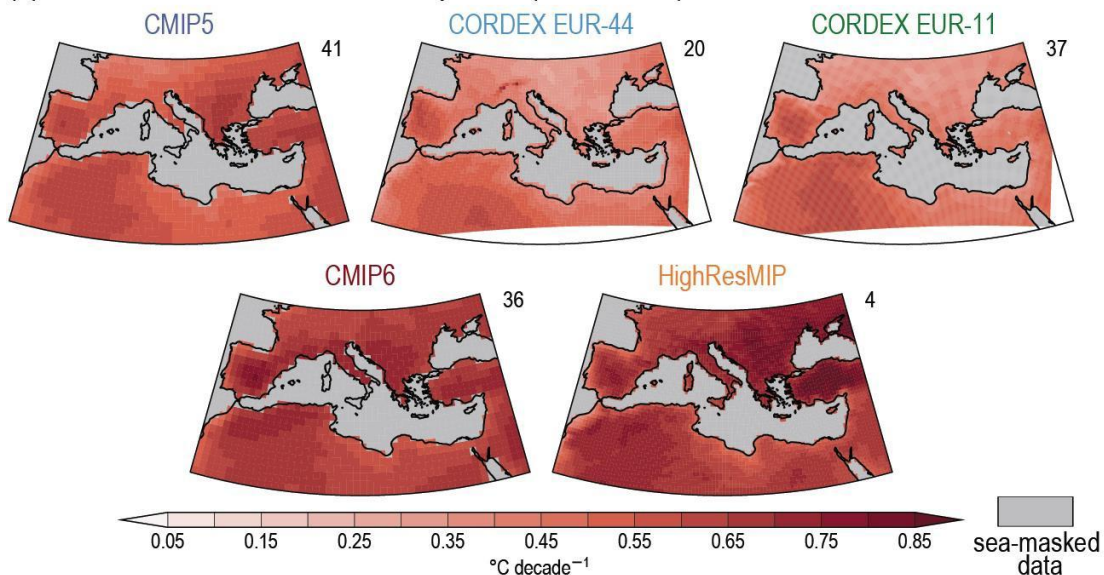


A nyári évszak jövőbeli változási jele RCM-ekben és GCM-ekben

„A nyári évszak jövőbeni változási jele regionális klímamodellekben (RCM-ek) és globális klímamodellekben (GCM-ek).

Az együttes átlagos trendek a jövőbeli időszakra (2015–2050).

(c) Ensemble mean trends future period (2015-2050)



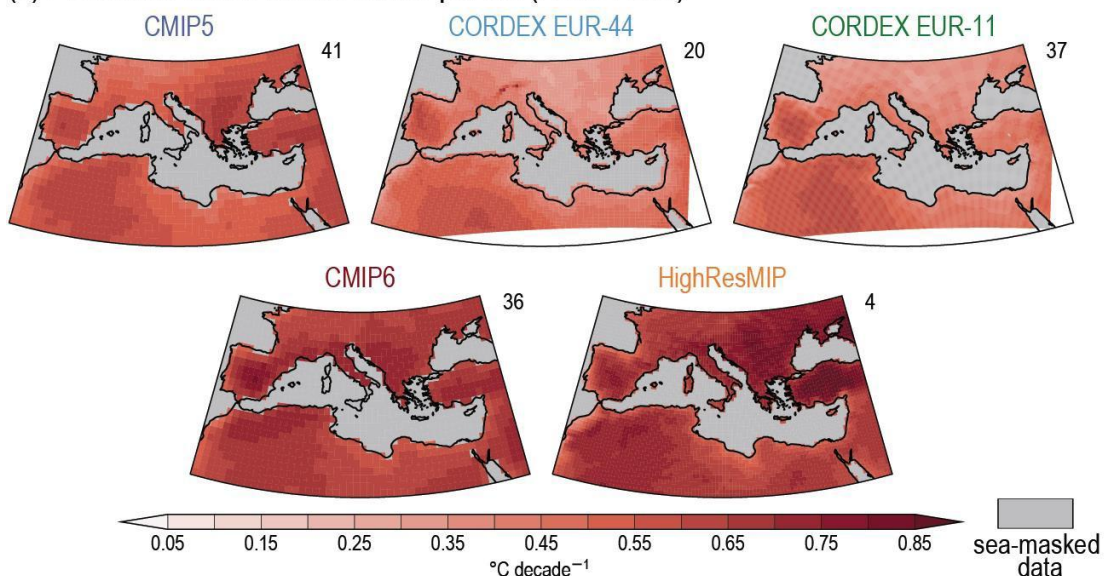
IPCC AR6 2021 chap. 10

A nyári évszak jövőbeli változási jele RCM-ekben és GCM-ekben

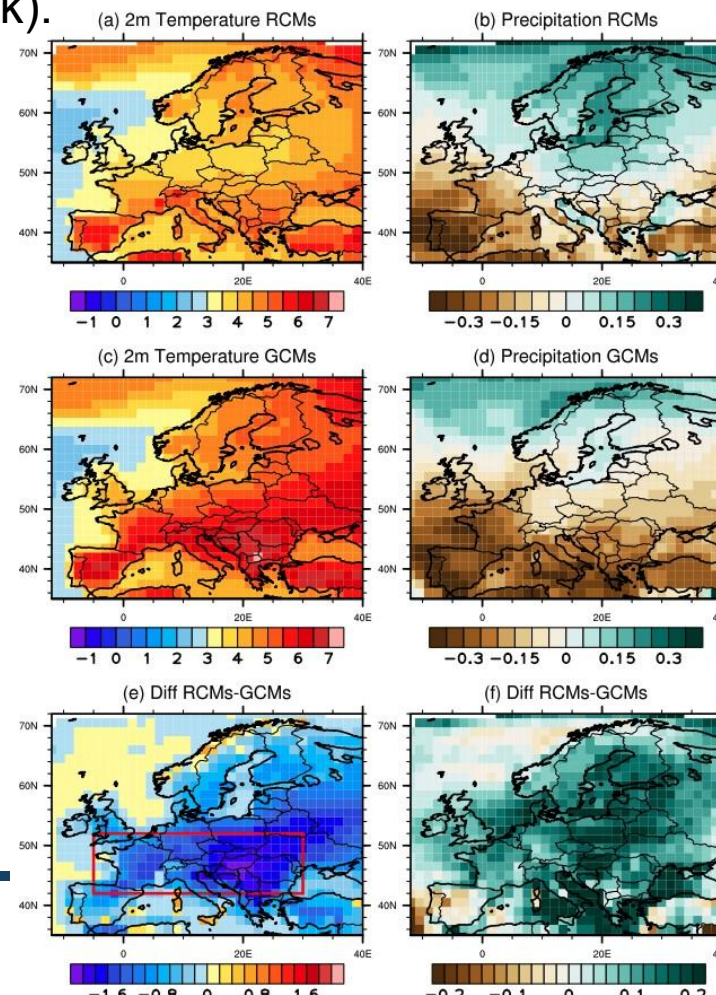
„A nyári évszak jövőbeni változási jele regionális klímamodellekben (RCM-ek) és globális klímamodellekben (GCM-ek).

Az együttes átlagos trendek a jövőbeli időszakra (2015–2050).

(c) Ensemble mean trends future period (2015-2050)



IPCC AR6 2021 chap. 10










Az ensemble átlagos változásai a nyári hőmérsékletben (K) és a relatív csapadékban Európa felett 2070–2099 és 1970–1999 között.

Boé et al., 2020

Mi lehet a probléma az RCM-ekben?

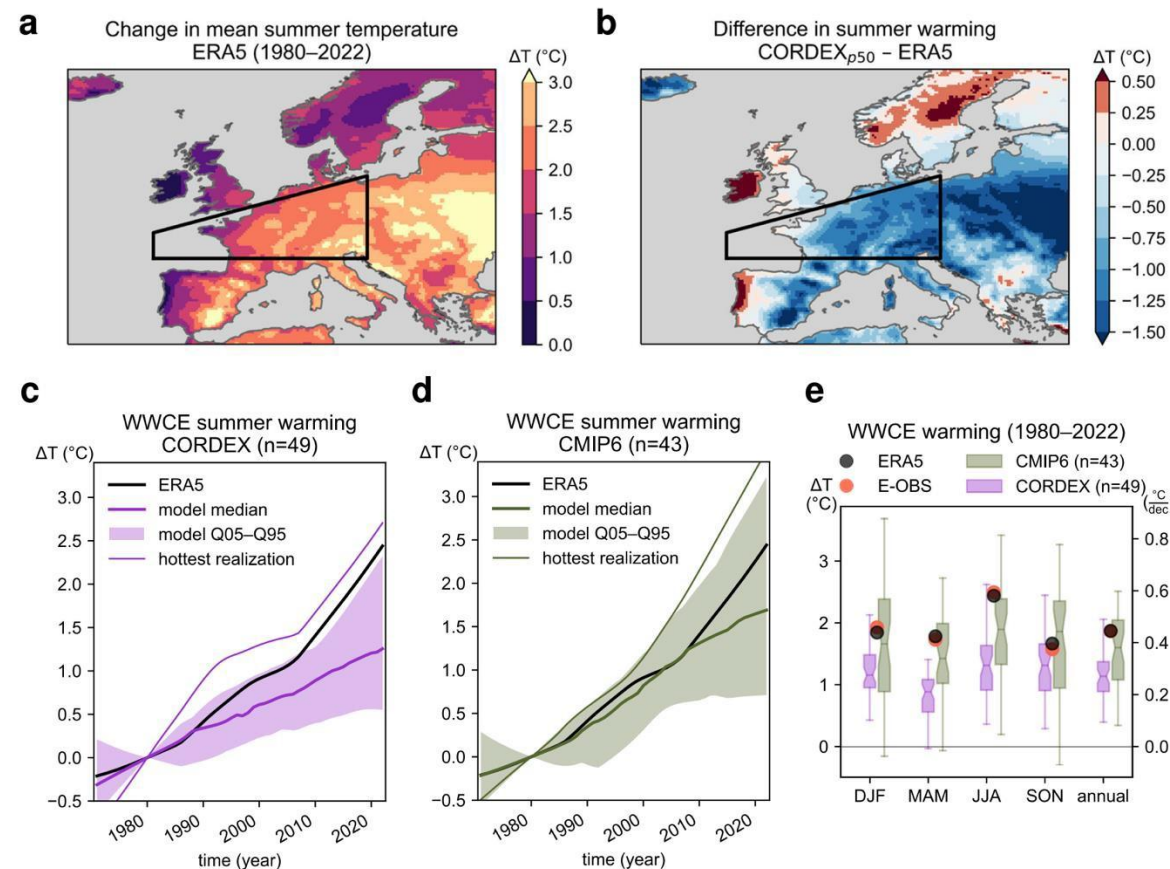
Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes

Check for updates

Dominik L. Schumacher  , Jitendra Singh , Mathias Hauser , Erich M. Fischer , Martin Wild  & Sonia I. Seneviratne 

A CORDEX multimodell-átlagról kimutatták, hogy alulbecsüli a lesugárzott rövidhullámú sugárzás (downward shortwave radiation) megfigyelt növekedését, mivel a legtöbb RCM nem veszi figyelembe az időben változó aeroszolókat.

From Schumacher et al., 2024

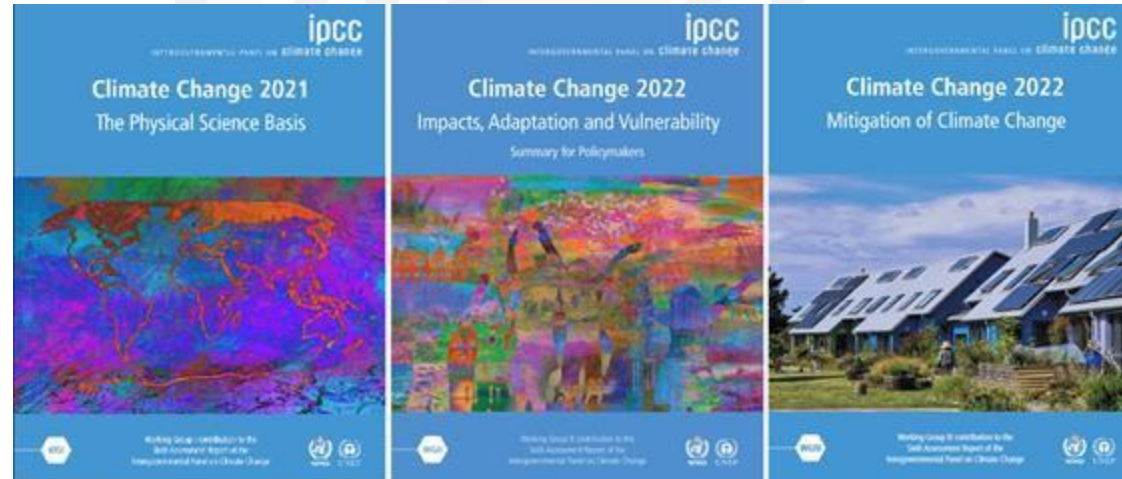


Elérhető adatbázisok hőhullám-analízishez

Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) (Kapcsolt modellek összehasonlító projektje)

A **World Climate Research Programme (WCRP)** keretében a **Working Group on Coupled Modelling (WGCM)** létrehozta a **Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)** kezdeményezést, mint standard kísérleti protokollt a kapcsolt **légtér-óceán általános cirkulációs modellek (AOGCM-ek)** kimeneteinek vizsgálatához.

A modellek eredményeit az éghajlatkutatók a **Kormányközi Éghajlatváltozási Testület (IPCC)** **értékelő jelentéseihez (Assessment Reports, AR)** felhasznált kutatásokhoz alkalmazzák.

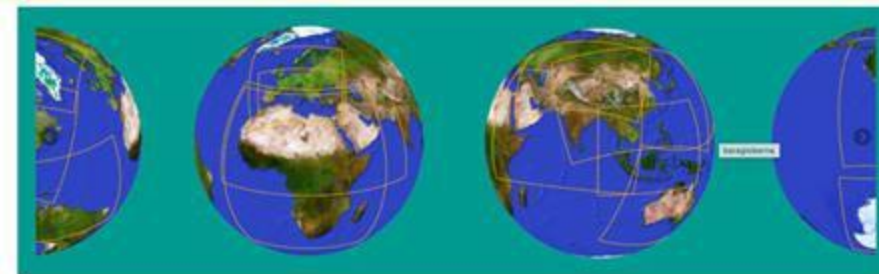


Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

= Koordinált regionális éghajlati lefinomítási kísérlet

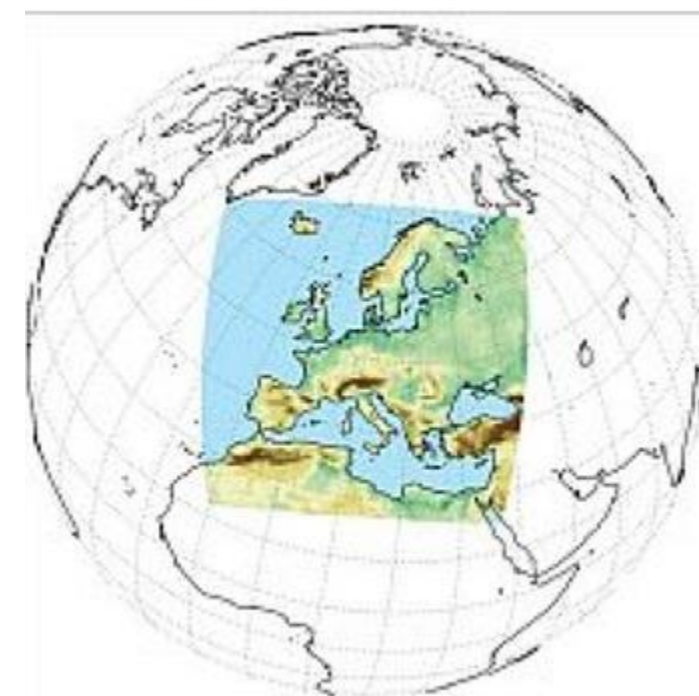
Olyan nagy felbontású (high-resolution), történeti és jövőbeli éghajlati előrejelzésekből álló ensemble-ket biztosít a világ különböző régióira, amelyek a CMIP5 GCM-eket dinamikusan lefinomítják. A CORDEX-ben alkalmazott RCM-ek tipikusan 50–10 km horizontális felbontásúak.

[Guidance for EURO-CORDEX](#)



EURO-CORDEX:

Resolution	Regional Climate Models	Driving Global Coupled Models								
		ERA-INT (ECMWF)	HadGEM2-ES (MOHC)	EC-EARTH (ICHEC)	CNRM-CM5 (CNRM-CERFACS)	NorESM1-M (NCC)	MPI-ESM-LR (MPI)	IPSL-CM5A-MR (IPSL)	CanESM2 (CCCma)	MIROC5 (MIROC)
0.11°	RCA4 (SMHI)									
	CCLM4-8-17 (CLMcom-BTU)									
	CCLM4-8-17 (CLMcom)									
	COSMO-crCLIM-v1-1-1 (CLMcom-ETH)									
	REMO2009 (MPI-CSC)									
	REMO2015 (GERICS)									
	RACMO22E (KNMI)									
	HIRHAM5 (DMI)									
	WRF361H (UHOH)									
	WRF381P (IPSL)									
	ALADIN63 (CNRM)									
	RegCM4-6 (ICTP)									
	HadREM3-GA7-05 (MOHC)									



= *Földrendszer-hálózati szövetség*

Earth System Grid Federation

An [open source](#) effort providing a robust, distributed data and computation platform, enabling world wide access to Peta/Exa-scale scientific data.

→ Egy nyílt forráskódú kezdeményezés, amely robusztus, elosztott adat- és számítási platformot biztosít, lehetővé téve a világméretű hozzáférést peta- és exaszintű tudományos adatokhoz.

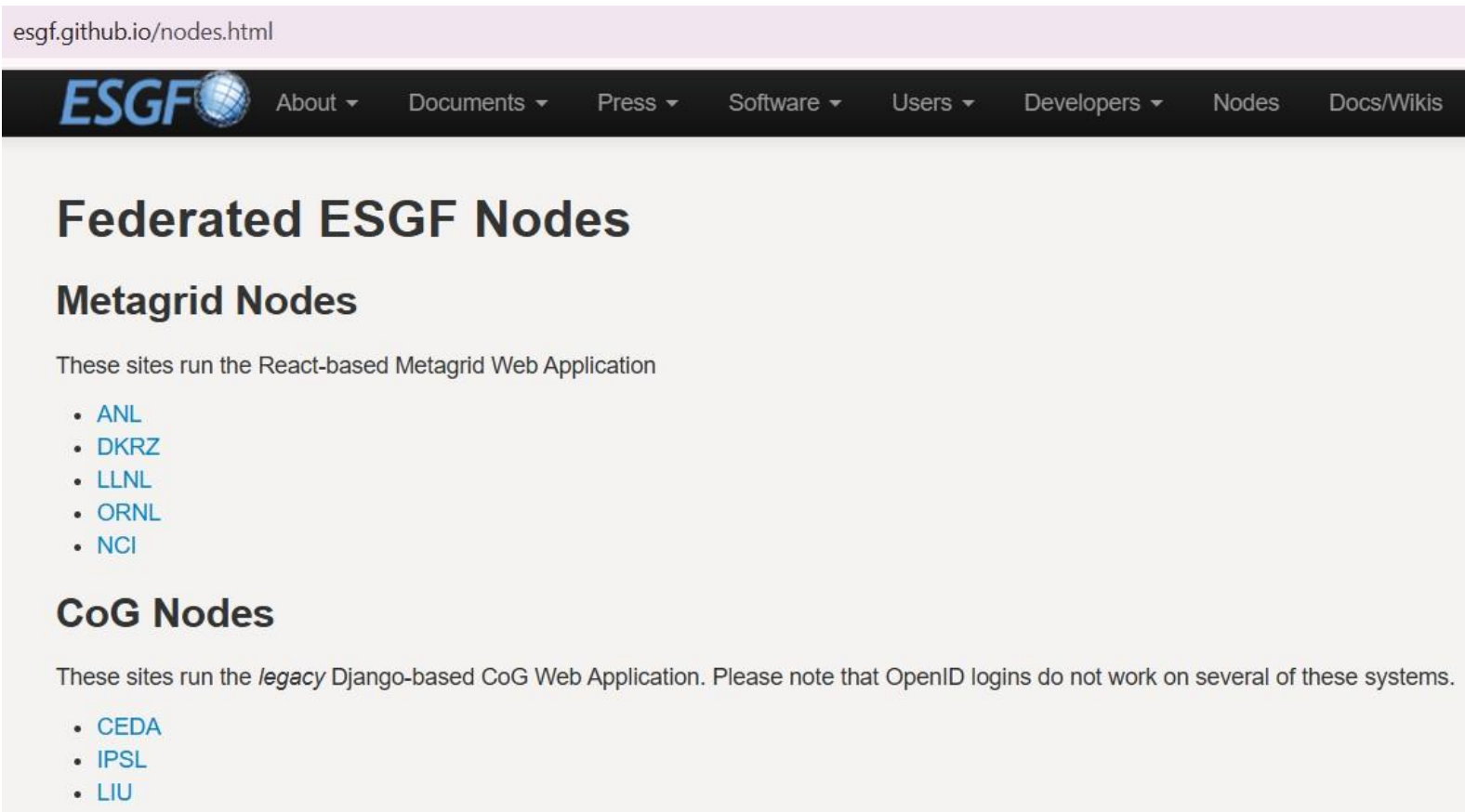
ESGF Mission

The Earth System Grid Federation (ESGF) is an international collaboration for the software that powers most global climate change research, notably assessments by the [Intergovernmental Panel on Climate Change](#) (IPCC).

ESGF manages the first-ever decentralized database for handling climate science data, with multiple petabytes of data at dozens of federated sites worldwide. It is recognized as the leading infrastructure for the management and access of large distributed data volumes for climate change research. It supports the [Coupled Model Intercomparison Project](#) (CMIP), whose protocols enable the periodic assessments carried out by the IPCC.

Using a system of geographically distributed peer nodes—independently administered yet united by common protocols and interfaces—the ESGF community holds the premier collection of simulations and observational and reanalysis data for climate change research. —

esgf.github.io/nodes.html



The screenshot shows the ESGF Nodes website. The header includes the ESGF logo and navigation links: About, Documents, Press, Software, Users, Developers, Nodes, and Docs/Wikis. The main content is titled 'Federated ESGF Nodes' and is divided into two sections: 'Metagrid Nodes' and 'CoG Nodes'. Under 'Metagrid Nodes', it lists ANL, DKRZ, LLNL, ORNL, and NCI. Under 'CoG Nodes', it lists CEDA, IPSL, and LIU. A note mentions that OpenID logins do not work on several of these systems.

<https://esgf-node.cels.anl.gov/>

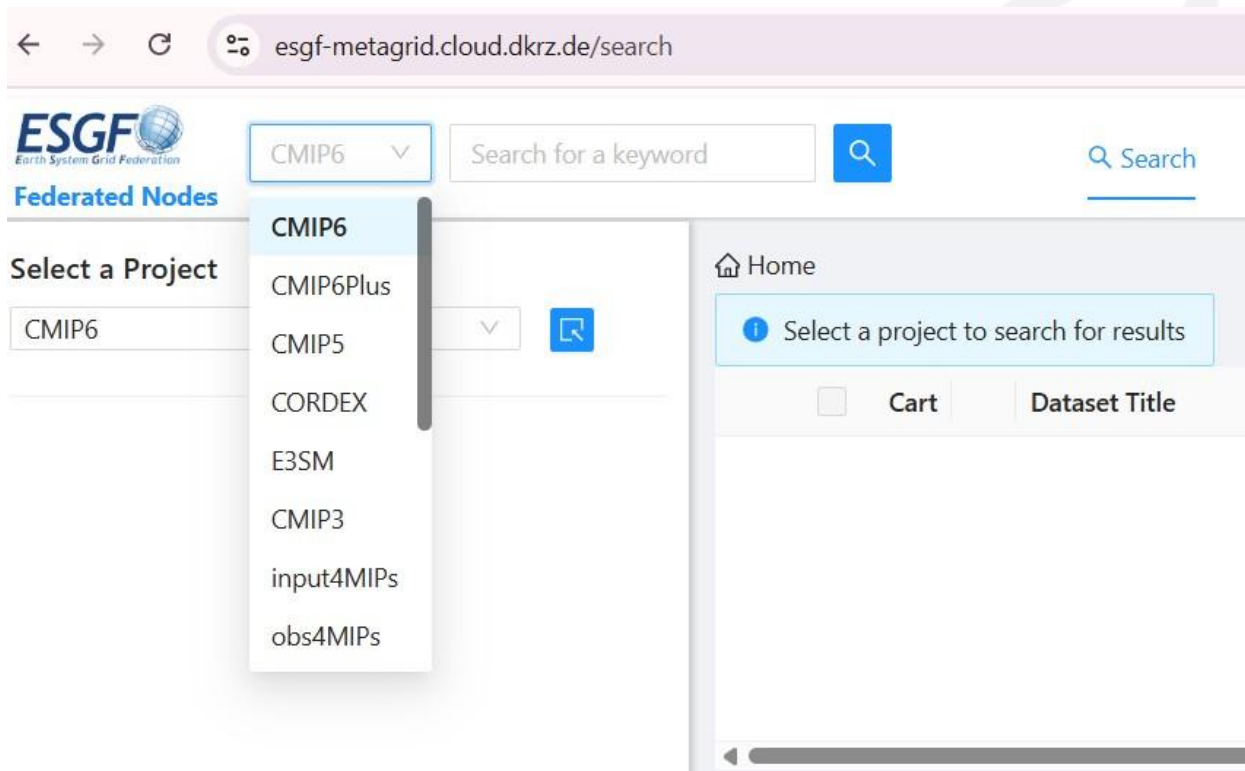
<https://esgf-node.llnl.gov/>

<https://esgf-node.ornl.gov/>

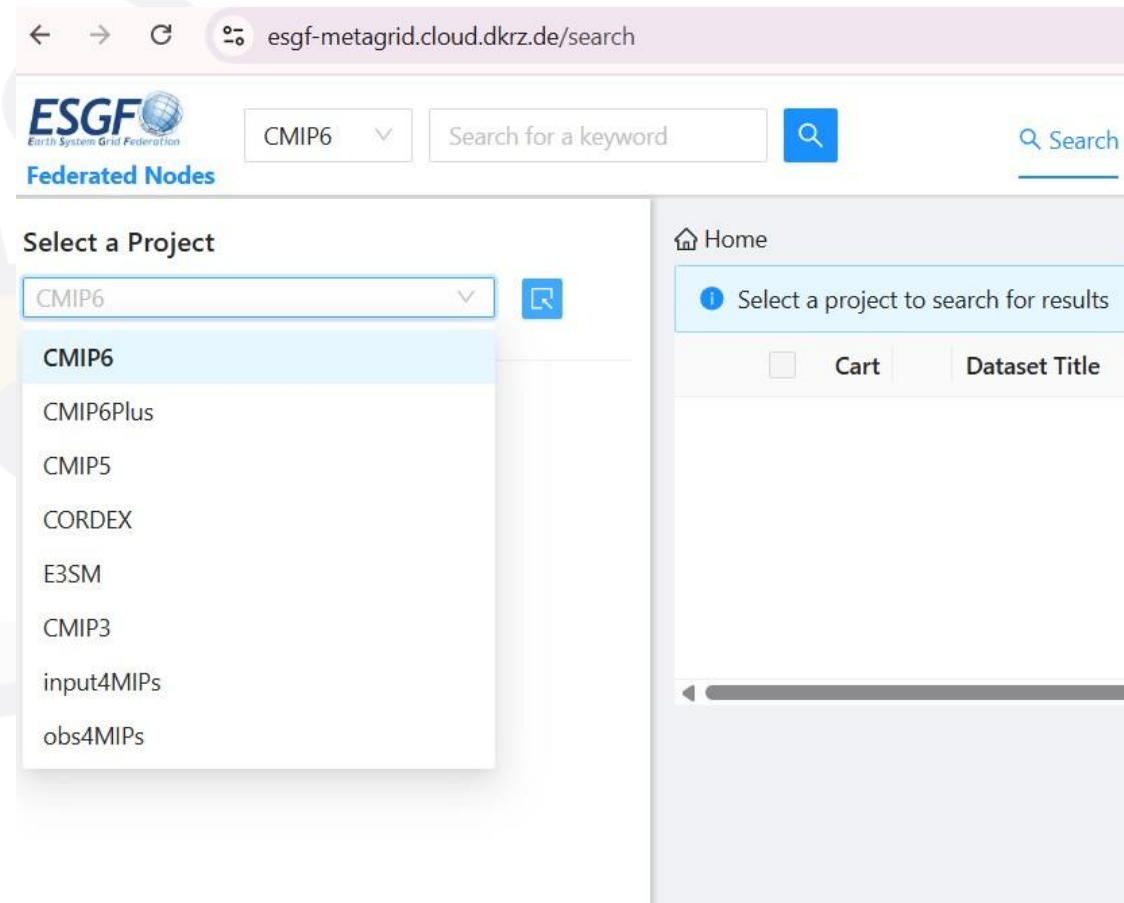
<https://esgf-metagrid.cloud.dkrz.de/>

<https://esgf.nci.org.au/>

Első lépés: válasszuk ki a projektet (pl. CMIP6, CORDEX). Megjegyzés: az interfész kisebb eltéréseket mutathat a node-tól függően. A példában a CMIP6 projektet választottuk.



The screenshot shows the search page at `esgf-metagrid.cloud.dkrz.de/search`. The ESGF logo and 'Federated Nodes' are visible. A search bar contains 'Search for a keyword' and a search icon. A dropdown menu is open under 'Select a Project', listing options: CMIP6, CMIP6Plus, CMIP5, CORDEX, E3SM, CMIP3, input4MIPs, and obs4MIPs. The 'CMIP6' option is highlighted. Below the dropdown, a 'Home' button and a message 'Select a project to search for results' are visible. A 'Cart' button and a 'Dataset Title' label are also present.



The screenshot shows the same search page, but with a different layout for the project selection dropdown. The dropdown menu is open, listing the same project options as the previous screenshot. The 'CMIP6' option is highlighted. The 'Home' button and the message 'Select a project to search for results' are also visible. A 'Cart' button and a 'Dataset Title' label are present.

← → ↻ 🏠 aims2.llnl.gov/search

Filter By Transfer Options

Any Only Globus Transferrable

[Expand All](#)

Filter with Facets

- > General
- > Identifiers
- > Resolutions
- > Labels
- > Classifications
- ▼ Additional Properties
 - Version Type ⓘ: Latest
 - Result Type ⓘ: Originals and Replicas
 - Version Date Range ⓘ: Start da... → End date 📅
- > Filename

▼ General

Data Node ⓘ: Select option(s) ▼

Activity ID ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Identifiers

Sub Experiment ID ⓘ ⓘ: Select option(s) ▼

Experiment ID ⓘ: Select option(s) ▼

Source Type ⓘ: Select option(s) ▼

Institution ID ⓘ: Select option(s) ▼

Source ID ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Resolutions

Nominal Resolution ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Labels

Variant Label ⓘ: Select option(s) ▼

Grid Label ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Classifications

CF Standard Name ⓘ: Select option(s) ▼

Table ID ⓘ: Select option(s) ▼

Frequency ⓘ: Select option(s) ▼

Variable ID ⓘ: Select option(s) ▼

Realm ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Additional Properties

Version Type ⓘ: Latest ▼

Result Type ⓘ: Originals and Replicas ▼

Version Date Range ⓘ: Start da... → End date 📅

← → ↻ aims2.llnl.gov/search

Filter By Transfer Options

Any Only Globus Transferrable

Filter with Facets Expand All

- > General
- > Identifiers
- > Resolutions
- > Labels
- > Classifications
- ▼ Additional Properties

Version Type ⓘ: Latest ▼

Result Type ⓘ: Originals and Replicas ▼

Version Date Range ⓘ: Start da... → End date 📅

> Filename

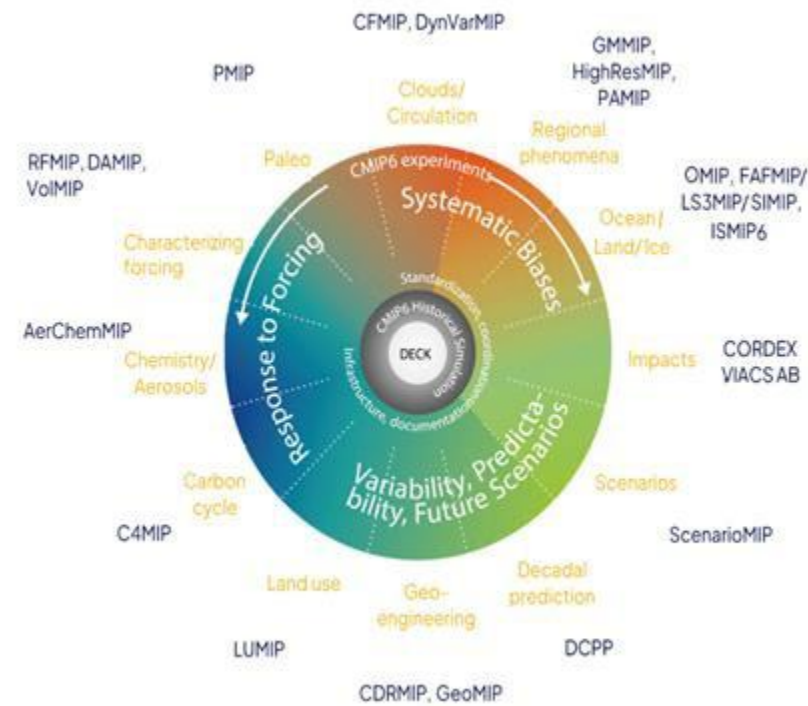
Válasszuk ki az **ACTIVITY ID**-t (pl. *ScenarioMIP*, *HighResMIP*, *DCPP*...). Fontos: nem minden modell érhető el minden ESGF-csomóponton - ez különösen igaz a **CORDEX** esetében. Mindazonáltal az egyes **MetaGrid webfelületek** (pl. <https://esgf-metagrid.cloud.dkrz.de/search>) hozzáférést biztosítanak az **ESGF teljes hálózatához**, így **bármely node-ról böngészhetjük és letölthetjük** az adatokat.

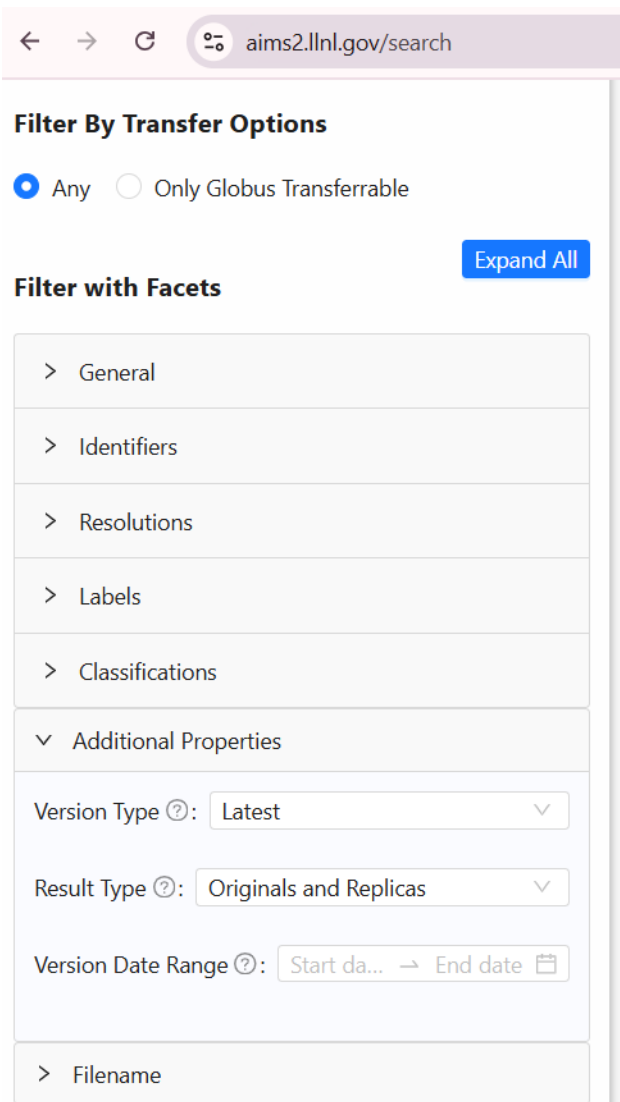
▼ General

Data Node ⓘ: Select option(s) ▼

Activity ID ⓘ: ScenarioMIP (2000501) ×
HighResMIP (95996) ×
DCPP (6945740) × 🔍

DCPP	(6945740) ✓
PAMIP	(6653918)
ScenarioMIP	(2000501) ✓
CMIP	(1459369)
DAMIP	(1253793)
AerChemMIP	(767400)
VolMIP	(291147)
C4MIP	(149961)





← → ↻ aims2.llnl.gov/search

Filter By Transfer Options

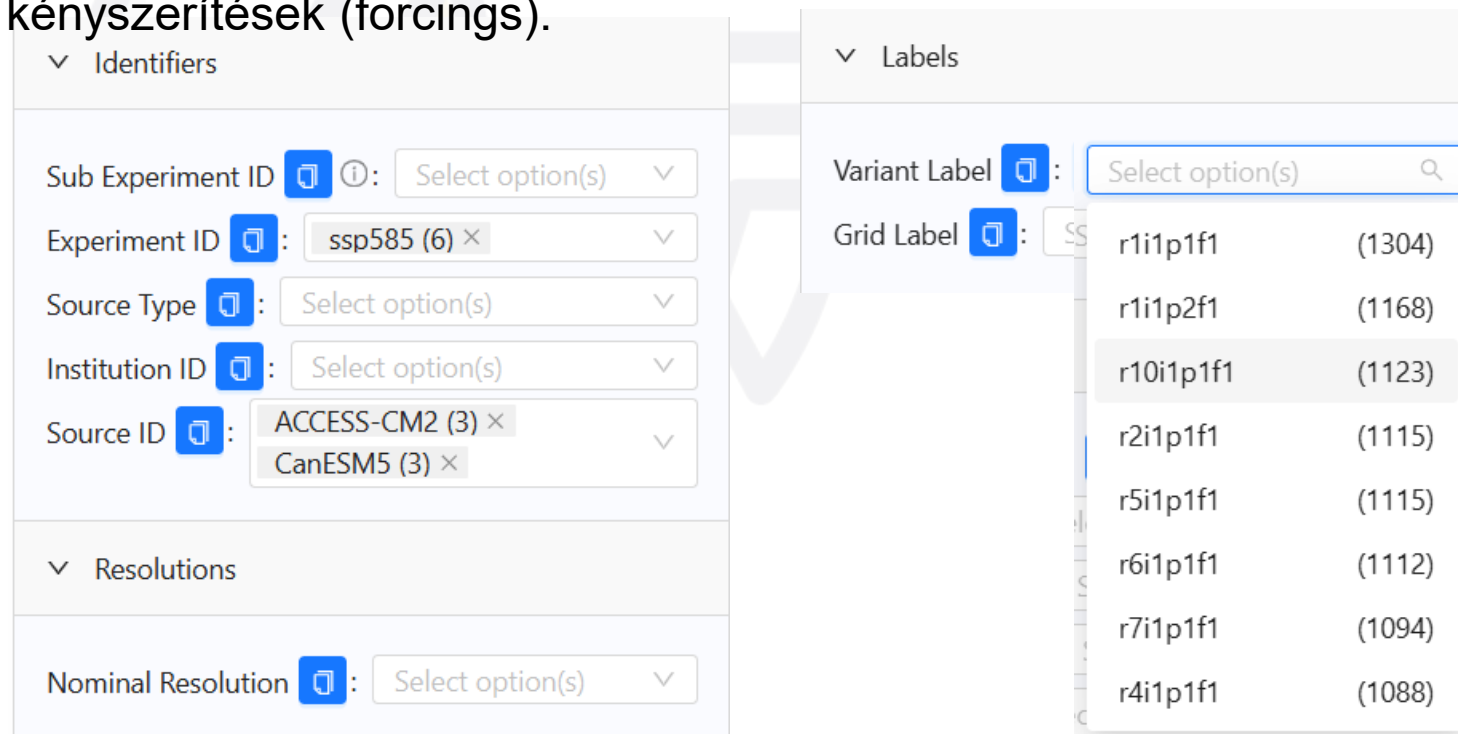
Any Only Globus Transferrable

Filter with Facets Expand All

- > General
- > Identifiers
- > Resolutions
- > Labels
- > Classifications
- ▼ Additional Properties
 - Version Type ⓘ: Latest
 - Result Type ⓘ: Originals and Replicas
 - Version Date Range ⓘ: Start da... → End date
- > Filename

Miután kiválasztottuk az **ACTIVITY ID**-t, például *ScenarioMIP*, a következő lépés az **EXPERIMENT ID** és a **SOURCE ID** kiválasztása.

Ezt követően kiválasztható az **ensemble tag** (némely modell csak egyetlen tagot tartalmaz). Az **r**, **p** és **f** betűk az alábbiakat jelzik: **r** = realizáció (realization), **p** = fizikai konfiguráció (physics), **f** = kényszerítések (forcings).



▼ Identifiers

Sub Experiment ID ⓘ: Select option(s) ▼

Experiment ID ⓘ: ssp585 (6) × ▼

Source Type ⓘ: Select option(s) ▼

Institution ID ⓘ: Select option(s) ▼

Source ID ⓘ: ACCESS-CM2 (3) ×
CanESM5 (3) × ▼

▼ Resolutions

Nominal Resolution ⓘ: Select option(s) ▼

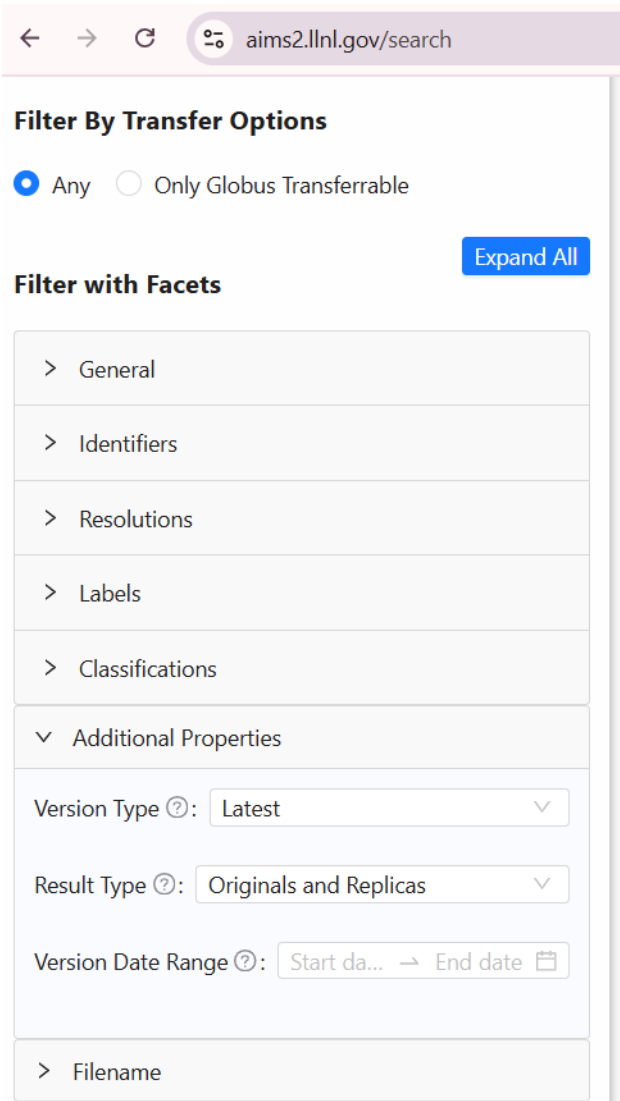
▼ Labels

Variant Label ⓘ: Select option(s) 🔍

Grid Label ⓘ: SS

r1i1p1f1	(1304)
r1i1p2f1	(1168)
r10i1p1f1	(1123)
r2i1p1f1	(1115)
r5i1p1f1	(1115)
r6i1p1f1	(1112)
r7i1p1f1	(1094)
r4i1p1f1	(1088)

Végül szűrhetünk: időbeli felbontás (temporal frequency), változó neve (variable name), valamint arra, hogy csak az eredeti adatokat, vagy a replikákat is megjelenítsük.



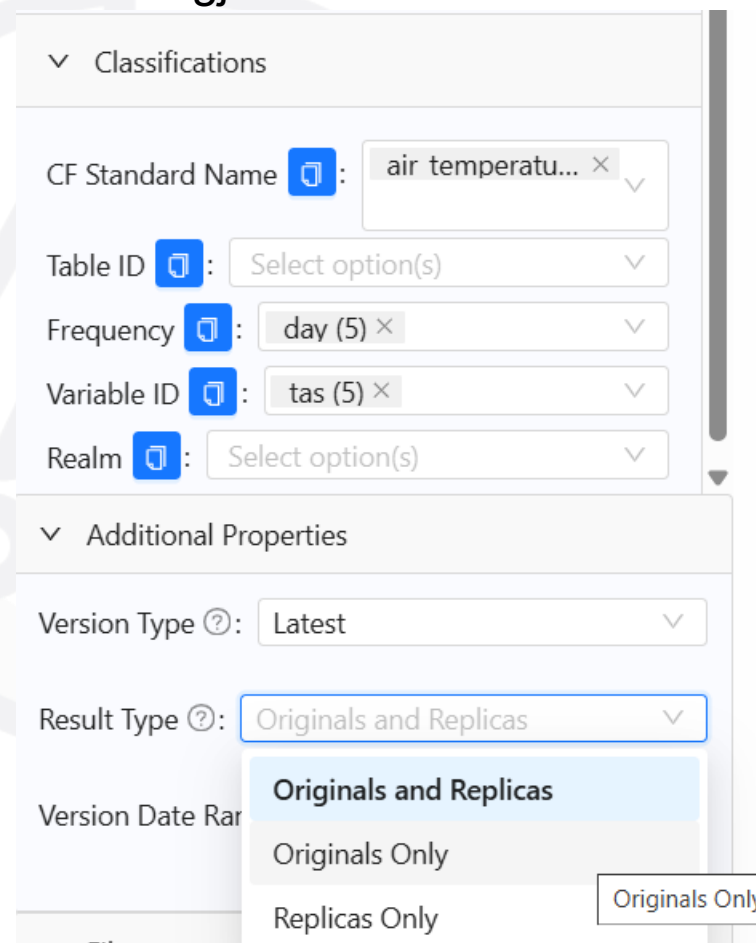
← → ↻ aims2.llnl.gov/search

Filter By Transfer Options

Any Only Globus Transferrable

Filter with Facets [Expand All](#)

- > General
- > Identifiers
- > Resolutions
- > Labels
- > Classifications
- ▼ Additional Properties
 - Version Type ⓘ: Latest
 - Result Type ⓘ: Originals and Replicas
 - Version Date Range ⓘ: Start da... → End date
- > Filename



▼ Classifications

CF Standard Name ⓘ: air temperatu... ×

Table ID ⓘ: Select option(s) ▼

Frequency ⓘ: day (5) ×

Variable ID ⓘ: tas (5) ×

Realm ⓘ: Select option(s) ▼

▼ Additional Properties

Version Type ⓘ: Latest

Result Type ⓘ: Originals and Replicas

Version Date Range ⓘ: Start da... → End date

Originals and Replicas

Originals Only

Replicas Only

Originals Only

Selected Number of Files: 15

Selected Files Size: 16.29 GB

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CMIP6.ScenarioMIP.CCCma.CanESM5.ssp585.r1i1p1f1.day.pr.gn	2	1.67 GB	wget	<input type="button" value="↓"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CMIP6.ScenarioMIP.CCCma.CanESM5.ssp585.r1i1p1f1.day.tasmax.gn	2	1.49 GB	wget	<input type="button" value="↓"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

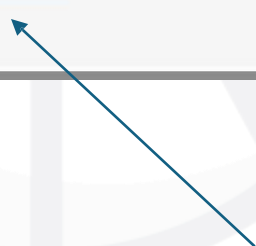
< 1 > 10 / page

Download Your Cart

Select datasets in your cart and confirm your download preference. Speeds will vary based on your bandwidth and distance from the data node serving the files.

wget

Metagrid Version: v1.5.1



Végül a kiválasztott fájlokat letölthetjük GLOBUS-szal, vagy generálhatunk egy wget scriptet

Adatok letöltése wget segítségével bash környezetben

```
bash wget*.sh -s
```

-s skips security -s opció kihagyja a biztonsági (security) ellenőrzést

```
/downloads/historical_download/CMCC-CM2-VHR4]> bash wget_script_2025-1-30_0-22-33.sh -s
```

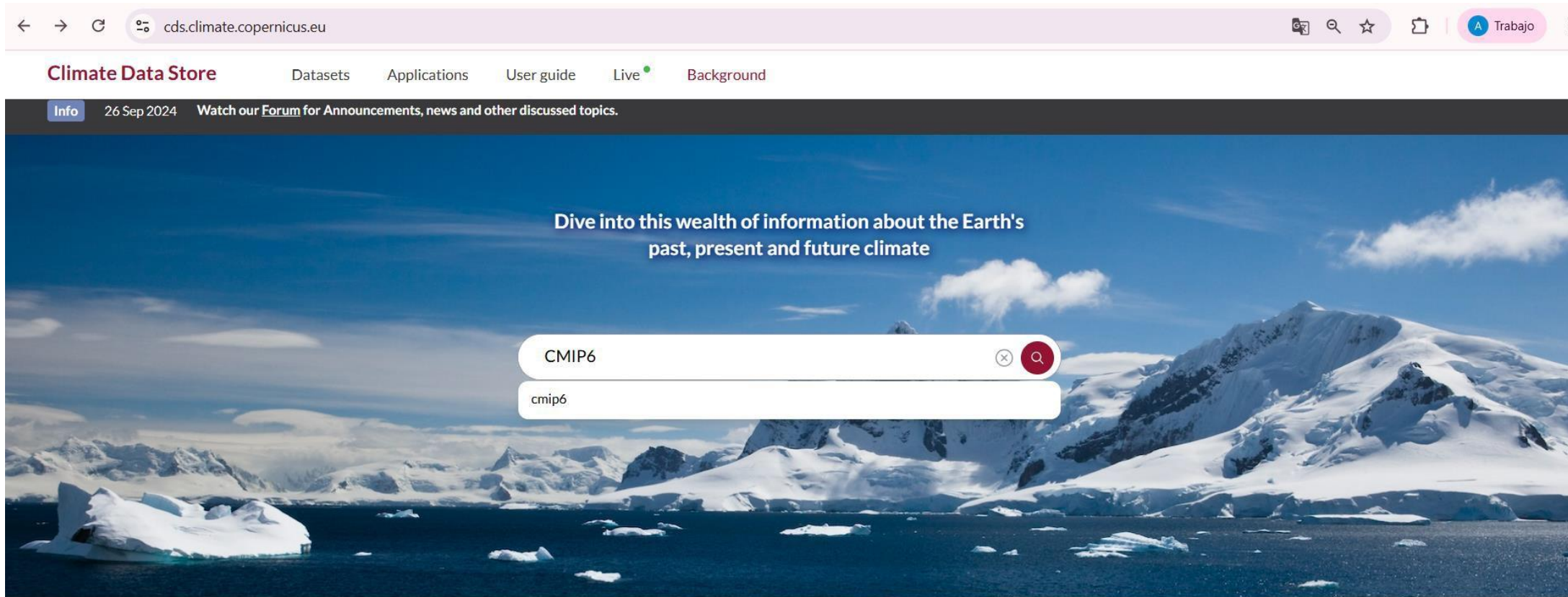
```
*****
*
* Note that new functionality to allow authentication without the need for
* certificates is available with this version of the wget script. To enable,
* use the "-H" option and enter your OpenID and password when prompted:
*
* $ wget_script_2025-1-30_0-22-33.sh -H [options...]
*
* For a full description of the available options use the help option:
*
* $ wget_script_2025-1-30_0-22-33.sh -h
*
*****
Running wget_script_2025-1-30_0-22-33.sh version: 1.3.2
Use wget_script_2025-1-30_0-22-33.sh -h for help.

Script created for 65 file(s)
(The count won't match if you manually edit this file!)

pr_day_CMCC-CM2-VHR4_hist-1950_r1i1p1f1_gn_19500101-19501231.nc ..Downloading
--2025-07-06 19:08:03-- https://esgf.ceda.ac.uk/thredds/fileServer/esg_cmip6/CMIP6/HighResMIP/CMCC/CMCC-CM2-VHR4/hist-1950/r1i1p1f1/day/pr/gn/v20210308/pr_day_CMCC-CM2-VHR4_hist-1950_r1i1p1f1_gn_19500101-19501231.nc
Resolving esgf.ceda.ac.uk (esgf.ceda.ac.uk)... 130.246.128.97
Connecting to esgf.ceda.ac.uk (esgf.ceda.ac.uk)|130.246.128.97|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 206 Partial Content
Length: 1012955932 (966M), 1003302808 (957M) remaining [application/octet-stream]
Saving to: 'pr_day_CMCC-CM2-VHR4_hist-1950_r1i1p1f1_gn_19500101-19501231.nc'

01-19501231.nc          5%[+===>] 49.12M  2.46MB/s  eta 6m 20s
```

Climate Data Store - CDS (Copernicus éghajlati adatbázis)



The screenshot shows the Climate Data Store website interface. The browser address bar displays 'cds.climate.copernicus.eu'. The navigation menu includes 'Climate Data Store', 'Datasets', 'Applications', 'User guide', 'Live', and 'Background'. A dark banner at the top contains an 'Info' button, the date '26 Sep 2024', and the text 'Watch our Forum for Announcements, news and other discussed topics.' The main content area features a large background image of a snowy mountain range over a body of water with icebergs. Centered text reads 'Dive into this wealth of information about the Earth's past, present and future climate'. A search bar is active, showing the input 'CMIP6' and a dropdown suggestion 'cmip6'.

<https://cds.climate.copernicus.eu/>

← → ↻ 📄 cds.climate.copernicus.eu/datasets?q=CMIP6

Climate Data Store Datasets Applications User guide Live ● Background

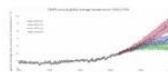
We found 13 results 📶 0 on ADS 🔥 0 on EWDS

Filter by

- Product type ▾
- Provider ▾
- Sector ▾
- Spatial coverage ▾
- Temporal coverage ▾
- Variable domain ▾

CMIP6 climate projections

Updated on 10 January 2025

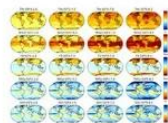


This catalogue entry provides daily and monthly global climate projections data from a large number of experiments, models and tim the sixth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6). CMIP6 data underpins the Intergovernmental Panel on Clin

✓ Quality Assurance |
 Climate projections Global Future Past Present Atmosphere (surface) Atmosphere (

Climate extreme indices and heat stress indicators derived from CMIP6 global climate projections

Updated on 31 January 2025

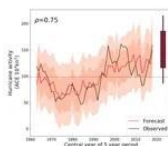


The dataset provides climate extreme indices related to temperature and precipitation as defined by the Expert Team on Climate Ch well as selected heat stress indicators (HSI). The indices are provided for historical and future climate projections (SSP1-2.6, SS...

Climate indices Climate projections Global Future Past Land (biosphere)

CMIP6 predictions underpinning the C3S decadal prediction prototypes

Published on 23 March 2021



This catalogue entry provides daily and monthly global climate model data from Decadal Climate Predictions Project (DCPP) experir Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6). The decadal data in the Climate Data Store (CDS) are a quality-controlled subset

Climate projections Global Future Past Present Atmosphere (surface) Atmosphere (upper air)

CMIP6 modelele elérhetősége a Copernicus Climate Data Store-ban

CMIP6 climate projections

Overview

Download

Quality

Documentation

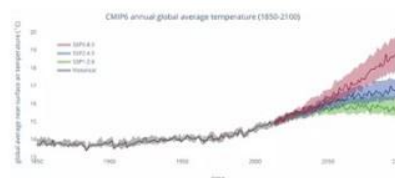
This catalogue entry provides daily and monthly global climate projections data from a large number of experiments, models and time periods computed in the framework of the sixth phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6).

CMIP6 data underpins the Intergovernmental Panel on Climate Change 6th Assessment Report. The use of these data is mostly aimed at:

- addressing outstanding scientific questions that arose as part of the IPCC reporting process;
- improving the understanding of the climate system;
- providing estimates of future climate change and related uncertainties;
- providing input data for the adaptation to the climate change;
- examining climate predictability and exploring the ability of models to predict climate on decadal time scales;
- evaluating how realistic the different models are in simulating the recent past.

The term "experiments" refers to the three main categories of CMIP6 simulations:

- Historical experiments which cover the period where modern climate observations exist. These experiments show how the GCMs performs for the past climate and can be used as a reference period for comparison with scenario runs for the future. The period covered is typically 1950-2014.



Quality Assurance

Data Management

Data records

Metadata

Documentation

References

[Citation and attribution](#)

DOI: [10.24381/cds.c866074c](https://doi.org/10.24381/cds.c866074c)

Licence

[CMIP6 - Data Access - Terms of Use](#)

Publication date

2021-03-23

<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=overview>

CMIP6 climate projections

[Overview](#)[Download](#)[Quality](#)[Documentation](#)

The Quality information is work in progress, and the content for this release was prepared based on the previous operational version of the CDS. The CDS datasets are assessed by the Evaluation and Quality Control (EQC) function of C3S independently of the data supplier.

Fitness for purpose

Evaluated on 20/03/2025

The CMIP6 initiative brings together state-of-the-art Global Climate Models (GCMs) to enhance our understanding of past, present, and future climate dynamics driven by natural variability and changes in anthropogenic radiative forcing. GCMs are fully coupled, namely, they are idealised for reproducing the complex interactions among the different components of the climate system (atmosphere, sea, land, ice, sea-ice).

Key strengths

- **Global coverage:** GCMs produce self-consistent climate simulations over the entire Globe for a wide spectrum of variables belonging to the different climate system components (atmosphere, sea, land, ice). For the atmospheric variables, different pressure levels can be selected.
- **Temporal coverage:** CMIP6 provide climate integrations over long periods. This is essential to a proper evaluation of internal climate variability and the inherent statistical robustness of trends.
- **Multiple scenarios:** Future projections uncertainty can be covered by considering different hypotheses of future radiative forcing (SSPs). This informs about the dependency of future change trajectories on future societal paths (scenario uncertainty).
- **Multi-model ensemble:** The large number of GCMs present in CMIP6 allows to cover the uncertainty due to the model response to a given level of radiative forcing (model uncertainty).

Key limitations

- **Relatively coarse resolution:** GCMs are idealised to study the response of the large-scale circulation and teleconnections to changes in radiative forcing. Still, relatively coarse resolution (from 80 km to 250 km) hinders the possibility of directly connecting their outputs to regional/local scale impact studies like hydrology, agriculture, tourism and energy sectors. For instance, if the user question is whether an alpine valley can be favourable for wind power installation under future climate conditions, GCMs may be a sub-optimal tool for this type of analysis.

Quality Assurance

[Data Management](#)[Data records](#)[Metadata](#)[Documentation](#)

References

[Citation and attribution](#)DOI: [10.24381/cds.c866074c](https://doi.org/10.24381/cds.c866074c)

Licence

[CMIP6 - Data Access - Terms of Use](#)

Publication date

2021-03-23

Update date

2025-01-10

Standard metadata

[STAC](#)

CMIP6 climate projections

Overview

Download

Quality

Documentation

Complete all required fields before submitting the request.

Temporal resolution

At least one selection must be made

 Monthly Daily Fixed (no temporal resolution)

Experiment

At least one selection must be made

 Historical SSP1-1.9 SSP1-2.6 SSP4-3.4 SSP5-3.4OS SSP2-4.5 SSP4-6.0 SSP3-7.0 SSP5-8.5

Variable

At least one selection must be made

 Air temperature Daily maximum near-surface air temperature Eastward near-surface wind Evaporation including sublimation and transpiration Grid-cell area for atmospheric grid variables Capacity of soil to store water Daily minimum near-surface air temperature Eastward wind Geopotential height Grid-cell area for ocean variables

Quality Assurance

[Data Management](#)[Data records](#)[Metadata](#)[Documentation](#)

References

[Citation and attribution](#)DOI: [10.24381/cds.c866074c](https://doi.org/10.24381/cds.c866074c)

Licence

[CMIP6 - Data Access - Terms of Use](#)

Publication date

2021-03-23

Update date

Model [Clear all](#)

- ACCESS-CM2 (Australia)
- AWI-CM-1-1-MR (Germany)
- BCC-CSM2-MR (China)
- CAMS-CSM1-0 (China)
- CanESM5-CanOE (Canada)
- CESM2-FV2 (USA)
- CESM2-WACCM-FV2 (USA)
- CMCC-CM2-HR4 (Italy)
- ACCESS-ESM1-5 (Australia)
- AWI-ESM-1-1-LR (Germany)
- BCC-ESM1 (China)
- CanESM5 (Canada)
- CESM2 (USA)
- CESM2-WACCM (USA)
- CIESM (China)
- CMCC-CM2-SR5 (Italy)

Year [Select all](#) [Clear all](#)

1850-1899

1900-1949

1950-1999

2000-2049

[Clear all](#)

<input type="checkbox"/> 2000	<input type="checkbox"/> 2001	<input type="checkbox"/> 2002	<input type="checkbox"/> 2003	<input type="checkbox"/> 2004
<input type="checkbox"/> 2005	<input type="checkbox"/> 2006	<input type="checkbox"/> 2007	<input type="checkbox"/> 2008	<input type="checkbox"/> 2009
<input type="checkbox"/> 2010	<input type="checkbox"/> 2011	<input type="checkbox"/> 2012	<input type="checkbox"/> 2013	<input type="checkbox"/> 2014
<input checked="" type="checkbox"/> 2015	<input checked="" type="checkbox"/> 2016	<input checked="" type="checkbox"/> 2017	<input checked="" type="checkbox"/> 2018	<input checked="" type="checkbox"/> 2019
<input checked="" type="checkbox"/> 2020	<input checked="" type="checkbox"/> 2021	<input checked="" type="checkbox"/> 2022	<input checked="" type="checkbox"/> 2023	<input checked="" type="checkbox"/> 2024
<input checked="" type="checkbox"/> 2025	<input checked="" type="checkbox"/> 2026	<input checked="" type="checkbox"/> 2027	<input checked="" type="checkbox"/> 2028	<input checked="" type="checkbox"/> 2029

API request

Please go to the [documentation page](#) for information as to how to use the CDS API.

</> Hide API request code ^

```
import cdsapi

dataset = "projections-cmip6"
request = {
    "temporal_resolution": "daily",
    "experiment": "ssp5_8_5",
    "variable": "daily_maximum_near_surface_air_temperature",
    "model": "access_cm2",
    "year": [
        "2015", "2016", "2017",
        "2018", "2019", "2020",
        "2021", "2022", "2023",
        "2024", "2025", "2026",
        "2027", "2028", "2029",
        "2030", "2031", "2032",
        "2033", "2034", "2035",
        "2036", "2037", "2038",
        "2039", "2040", "2041",
        "2042", "2043", "2044",
        "2045", "2046", "2047",
        "2048", "2049"
    ],
    "month": [
        "01", "02", "03",
        "04", "05", "06",
        "07", "08", "09",
        "10", "11", "12"
    ],
    "day": [
        "01", "02", "03",
        "04", "05", "06",
        "07", "08", "09",
        "10", "11", "12",
        "13", "14", "15",
        "16", "17", "18",
        "19", "20", "21",
```

- A **CDS**-ben bizonyos adatkészletek **kevesebb változót és ensemble-tagot** tartalmaznak, mint az **ESGF**-ben; a **napi adatok** nem minden változóra elérhetők (pl. **talajnedvesség**).
- A **CDS**-ben a felhasználók **specifikus régiót és időszakot** választhatnak letöltés előtt.
- A **CDS** jelenleg **kevesebb CMIP-tevékenységet** tartalmaz, mint az ESGF.
- A **CDS** továbbá **speciális, közösségi használatra fejlesztett termékeket is biztosít** (pl. [éghajlati szélsőségek indexei, hőstressz indikátorok, melyeket CMIP6 globális modellekből származtatnak](#)).
- Egyes **CDS-adatkészletek** tartalmaznak „**Quality**” fület, amely információt ad az **alkalmasságról, minőségbiztosításról és értékelésről**.

Éghajlati modellek kimeneteinek vizsgálata

Interaktív rész - programozási háttér megosztása

- Milyen programozási nyelvekben vagy jártas? (pl. Python, R, Fortran, MATLAB...)
- Dolgozol NetCDF fájlokkal?
- Használtál már ncview-t gyors adatvizualizálásra?
- Ismered az olyan platformokat, mint az ESGF vagy a Copernicus Climate Data Store (CDS)?
- Használod a CDO-t (Climate Data Operators) adatok feldolgozására?
- Dolgozol JupyterLab-ban vagy hasonló notebook-környezetben?
- Ismered a bash parancssort? Használod szkriptelésre vagy munkafolyamatok futtatására?

- Barriopedro D, García-Herrera R, Ordóñez C, et al (2023) Heat Waves: Physical Understanding and Scientific Challenges. *Rev Geophys* 61:.
<https://doi.org/10.1029/2022rg000780>
- Boé J, Somot S, Corre L, Nabat P (2020) Large discrepancies in summer climate change over Europe as projected by global and regional climate models: causes and consequences. *Clim Dyn* 54:2981–3002. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05153-1>
- Bordoni S, Kang SM, Shaw TA, et al (2025) The futures of climate modeling. *npj Clim Atmos Sci* 8:6–11. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00955-8>
- Branstator G (2002) Circumglobal Teleconnections, the Jet Stream Waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *J Clim*
- Cohen J, Screen J a., Furtado JC, et al (2014) Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nat Geosci* 7:627–637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>
- Coumou D, Lehmann J, Beckmann J (2015) The weakening summer circulation in the Northern Hemisphere mid-latitudes
- Coumou D, Petoukhov V, Rahmstorf S, et al (2014) Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer. *Proc Natl Acad Sci*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1412797111>
- Domeisen DIV, Eltahir EAB, Fischer EM, et al (2023) Prediction and projection of heatwaves. *Nat. Rev. Earth Environ.* 4:36–50
- Ghil M, Lucarini V (2020) The Physics of Climate Variability and Climate Change. *Rev Mod Phys* 92:
- Graf M, Arnault J, Fersch B, Kunstmann H (2021) Is the soil moisture precipitation feedback enhanced by heterogeneity and dry soils? A comparative study. *Hydrol Process* 35:.
<https://doi.org/10.1002/hyp.14332>
- Hohenegger C, Brockhaus P, Bretherton CS, Schär C (2009) The soil moisture-precipitation feedback in simulations with explicit and parameterized convection. *J Clim* 22:5003–5020. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2604.1>
- Huntingford C, Cox PM, Ritchie PDL, et al (2024) Acceleration of daily land temperature extremes and correlations with surface energy fluxes. *npj Clim Atmos Sci* 7:.
<https://doi.org/10.1038/s41612-024-00626-0>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023) Linking Global to Regional Climate Change. In: *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, pp 1363–1512

- Kornhuber K, Bartusek S, Seager R, et al (2024) Global emergence of regional heatwave hotspots outpaces climate model simulations. *Proc Natl Acad Sci* 121:.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2411258121>
- Kornhuber K, Osprey S, Coumou D, et al (2019) Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. *Environ Res Lett* 14:.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab13bf>
- Lafon T, Dadson S, Buys G, Prudhomme C (2013) Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: A comparison of methods. *Int J Climatol* 33:1367–1381. <https://doi.org/10.1002/joc.3518>
- Lhotka O, Kyselý J, Plavcová E (2018) Evaluation of major heat waves' mechanisms in EURO-CORDEX RCMs over Central Europe. *Clim Dyn* 50:4249–4262.
<https://doi.org/10.1007/s00382-017-3873-9>
- Luo F, Selten F, Wehrli K, et al (2022) Summertime Rossby waves in climate models: Substantial biases in surface imprint associated with small biases in upper-level circulation. *Weather Clim Dyn* 3:905–935. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-905-2022>
- Miralles DG, Gentine P, Seneviratne SI, Teuling AJ (2019) Land–atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Ann N Y Acad Sci* 1436:19–35. <https://doi.org/10.1111/nyas.13912>
- Miralles DG, Teuling AJ, Van Heerwaarden CC, De Arellano JVG (2014) Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation. *Nat Geosci* 7:345–349. <https://doi.org/10.1038/ngeo2141>
- Neelin, 2011. *Climate Change and Climate Modeling*, Cambridge UP
- Patterson M (2023) North-West Europe Hottest Days Are Warming Twice as Fast as Mean Summer Days. *Geophys Res Lett* 50:.
<https://doi.org/10.1029/2023GL102757>
- Perkins SE, Alexander L V. (2013) On the measurement of heat waves. *J Clim* 26:4500–4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- Petoukhov V, Rahmstorf S, Petri S, Joachim H (2013) Quasiresonant amplification of planetary waves and recent Northern Hemisphere weather extremes.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1222000110/-/DCSupplemental>. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222000110

Sangelantoni L, Sobolowski S, Lorenz T, et al (2023) Investigating the representation of heatwaves from an ensemble of km-scale regional climate simulations within CORDEX-FPS convection. *Clim Dyn*. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06769-9>

Sangelantoni L, Sobolowski SP, Soares PMM, et al (2025) Heatwave Future Changes From an Ensemble of Km-Scale Regional Climate Simulations Within CORDEX-FPS Convection. *Geophys Res Lett* 52:.. <https://doi.org/10.1029/2024GL111147>

Santanello JA, Dirmeyer PA, Ferguson CR, et al (2018) Land-atmosphere interactions the LoCo perspective. *Bull Am Meteorol Soc* 99:1253–1272. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0001.1>

Schär C, Vidale PL, Lüthi D, et al (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427:332–336. <https://doi.org/10.1038/nature02300>

Schumacher DL, Seneviratne SI, Singh J, et al (2024) Exacerbated summer European warming not captured by climate models neglecting long-term aerosol changes. *Commun Earth Environ*. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01332-8>

Seneviratne SI, Zhang X, Adnan M, et al (2021) Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Clim Chang 2021 Phys Sci Basis Contrib Work Gr I to Sixth Assess Rep Intergov Panel Clim Chang* 366

Shaw TA, Voigt A (2015) Tug of war on summertime circulation between radiative forcing and sea surface warming. *Nat Geosci* 8:560–566. <https://doi.org/10.1038/ngeo2449>

Soret A, Martínez-Botí A, Marcos-Matamoros R, et al 2025. Sub-seasonal and seasonal climate predictions for a sporting goods retailer company: Co-development of a climate service from scratch. *Climate Services*, 39, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2025.100583>

Taylor CM, De Jeu RAM, Guichard F, et al (2012) Afternoon rain more likely over drier soils. *Nature* 489:423–426. <https://doi.org/10.1038/nature11377>

Vautard R, Cattiaux J, Hap   T, et al (2023) Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. *Nat Commun* 14:.. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3>