

CLIMRISK:

Integrated Assessment
Model for Physical Risks

Dr. Francisco Estrada

Institute for Atmospheric Sciences and Climate Change, UNAM

Institute for Environmental Studies, VU Amsterdam

Institute for Atmospheric Sciences and Climate change, UNAM
Institute for Environmental Studies, VU Amsterdam
Climate Change Research Program, UNAM



INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA
ATMÓSFERA
Y CAMBIO CLIMÁTICO



PINCC
Programa de Investigación
en Cambio Climático



IVM Institute for
Environmental Studies

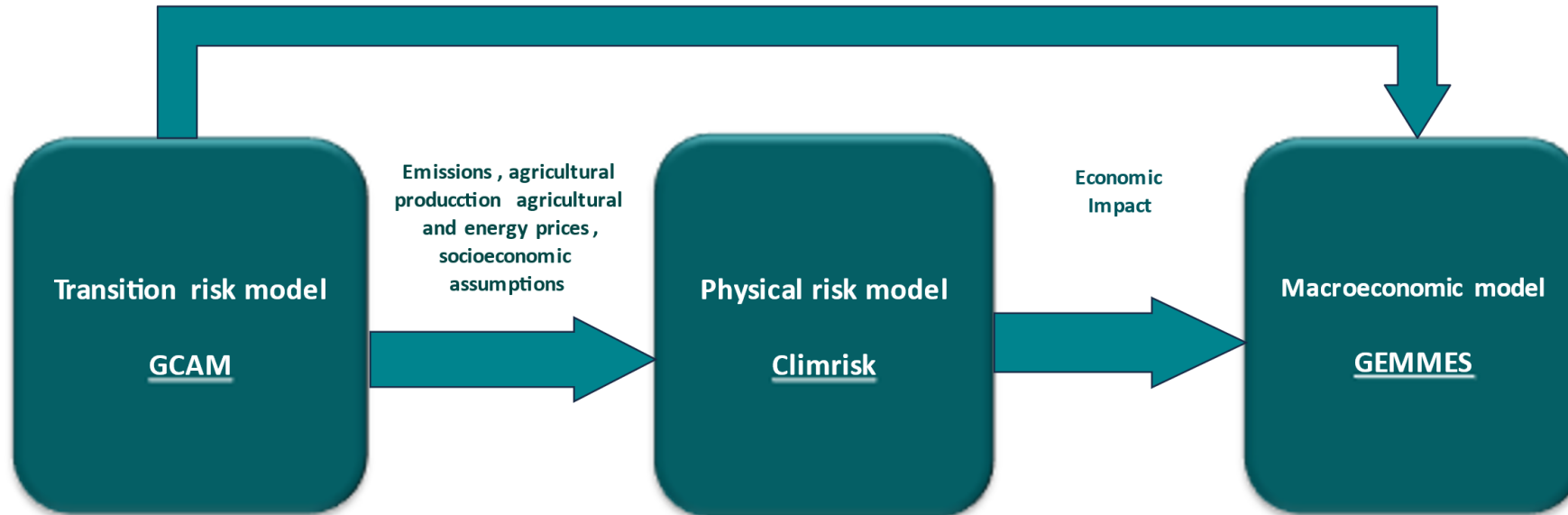


Model suite

Carbon shadow price, energy and agricultural sector

Calibration :

- Sistema de cuentas nacionales
- Balanza de pagos
- Remesas
- Impuestos
- Balances del sector bancario y del banco central



Output: Emisiones GEI por sector económico, precio sombra del carbono, producción y consumo de 9 energías, generación de electricidad por tecnología, costos y precios, servicios de transporte, energía utilizada por tecnología de transporte y combustible utilizado, uso de la tierra (ejem. biomasa, cereales, bosque), extracción y consumo de agua por sector y por cuenca hidrográfica, precios de agua and costos de agua por cuenca, entre otras.

Output: La vulnerabilidad, los impactos y los riesgos con una resolución espacial de unos 50km x 50km para todo el mundo. Combinando escenarios probabilísticos de cambio climático global con el calentamiento local en zonas urbanas producido por la **UHI** para generar estimaciones de los impactos económicos del cambio climático y medidas de riesgo dinámicas uni y multivariadas.

Output: Variables macroeconómicas, como reservas, tipos de cambio nominales/reales, cotizaciones sociales, prestaciones, deuda de los hogares, déficit y deuda pública, PIB, balanza de cuenta corriente, posición de reserva bruta/neta en divisas, inversión internacional, desempleo, entre otras.

CLIMRISK:

Integrated Assessment Model for Physical Risks



Comprehensive and flexible model

Transform data into actionable information to support decision-making

Equipped to emulate/incorporate process-based models and other climate-economy IAMs



Expands economic IAMs used for climate change assessments

Spatial resolution for better representation of exposure, sensitivity, hazard and risk

Improved, updated and extended damage functions

Local climate change and impacts (UHI in cities)

Uni- and multivariate dynamic risk measures to give a more complete picture of the problem



Uncertainty and risk perspective

Explore uncertainty in socioeconomic scenarios

Probabilistic climate scenarios

Contrasting damage functions

Communicating risk



Tailor-made assessments

User defined risk measures, climate and impact metrics, and emissions scenarios

CLIMRISK

Simplified schematic diagram of model structure

Exposure

Socioeconomic module:

- GDP and population scenarios (0.5°x0.5°)
- SSP, SRES, user-defined scenarios
- Land use: current, RCP

Hazard

Climate module:

- SSP, RCP, NGFS, user-defined emissions scenarios
- Regional climate scenarios (0.5°x0.5°)
- 37 GCMs (AR6), MAGICC6
- Stochastic climate sensitivity based AR6
- Urban heat island effect

Vulnerability and impacts

Economic impacts module:

- Climate change impacts in \$ losses and % of GDP (0.5°x0.5°)
- Sets global, regional and local damage functions, including urban warming, persistence, highly non-linear and conservative specifications

Risks

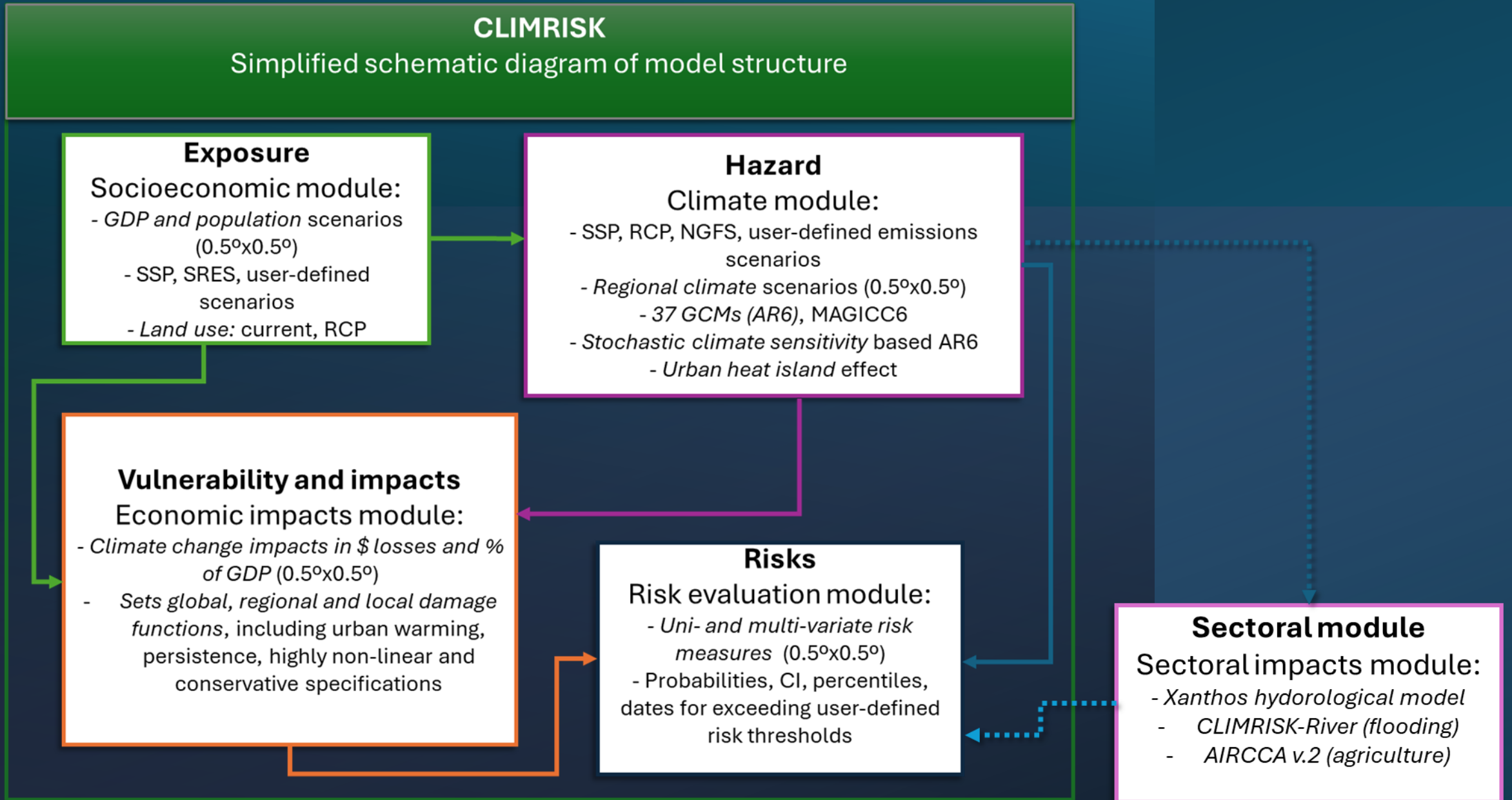
Risk evaluation module:

- Uni- and multi-variate risk measures (0.5°x0.5°)
- Probabilities, CI, percentiles, dates for exceeding user-defined risk thresholds

Sectoral module

Sectoral impacts module:

- Xanthos hydrological model
- CLIMRISK-River (flooding)
- AIRCCA v.2 (agriculture)



Spatially explicit.

- Quantifications of exposure, hazard, vulnerability and impacts, and user-defined risk indices in a global grid of 0.5°x0.5°.

Comprehensive damage functions.

- Variety of damage functions that incorporate aspects such as local climate change in cities, the persistence of economic impacts, and catastrophic climate change. It has a unique upscaling/downscaling approach.

Urban heat island (UHI) effect.

- CLIMRISK is the only IAM that simulates the local warming produced by the UHI and that includes urban-specific damage functions.

Probabilistic global and regional climate projections.

- Emulates 37 Earth System Models included in CMIP6 for producing probabilistic regional changes in climate at annual and monthly frequencies.

Socioeconomic scenarios.

- Spatially explicit population and GDP scenarios for five Shared Socioeconomic Pathways (SSP) and three modeling centers.

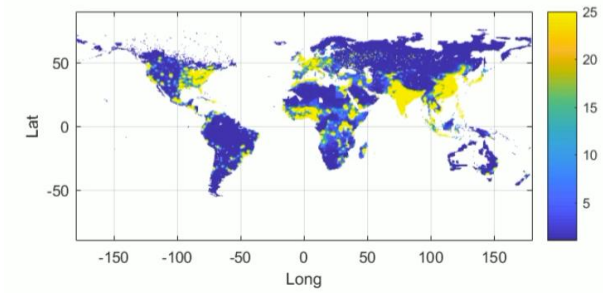
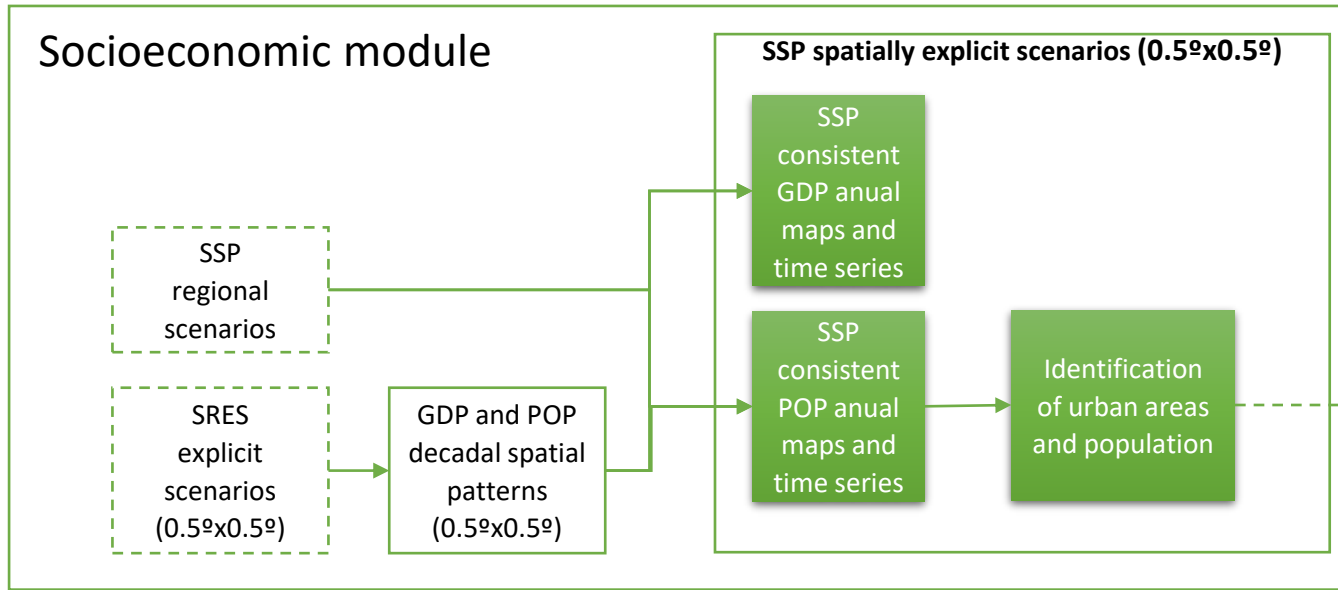
Integration with process-based IAMs

- Integration with GCAM and is possible with other IAMs

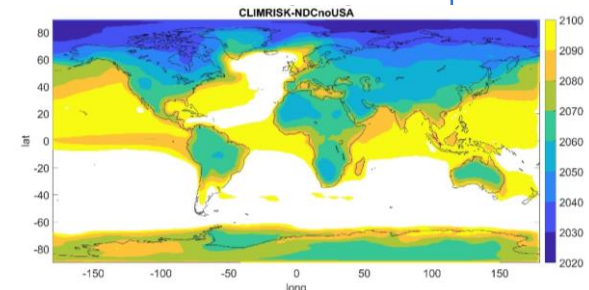
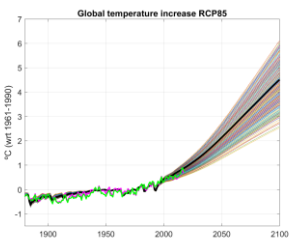
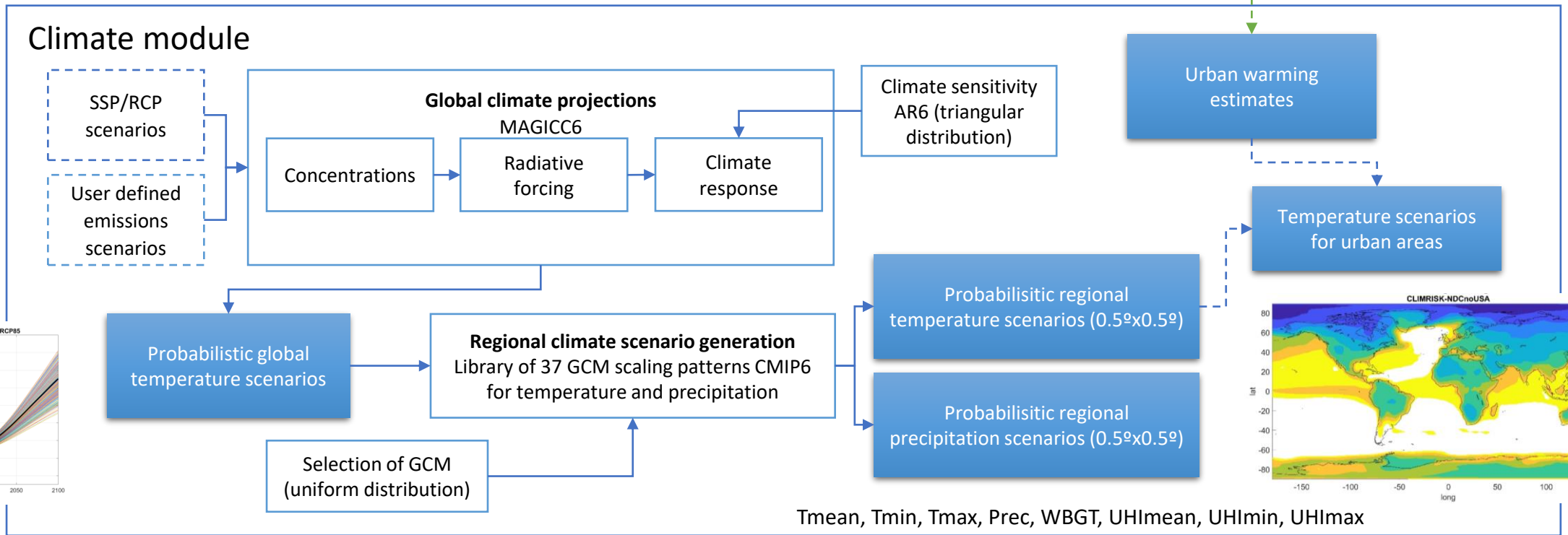
Uni- and multivariate risk indices and identification of hotspots.

- User-specified risk indices based on probabilities and dates for exceedance of climatic and economic thresholds.

Socioeconomic module

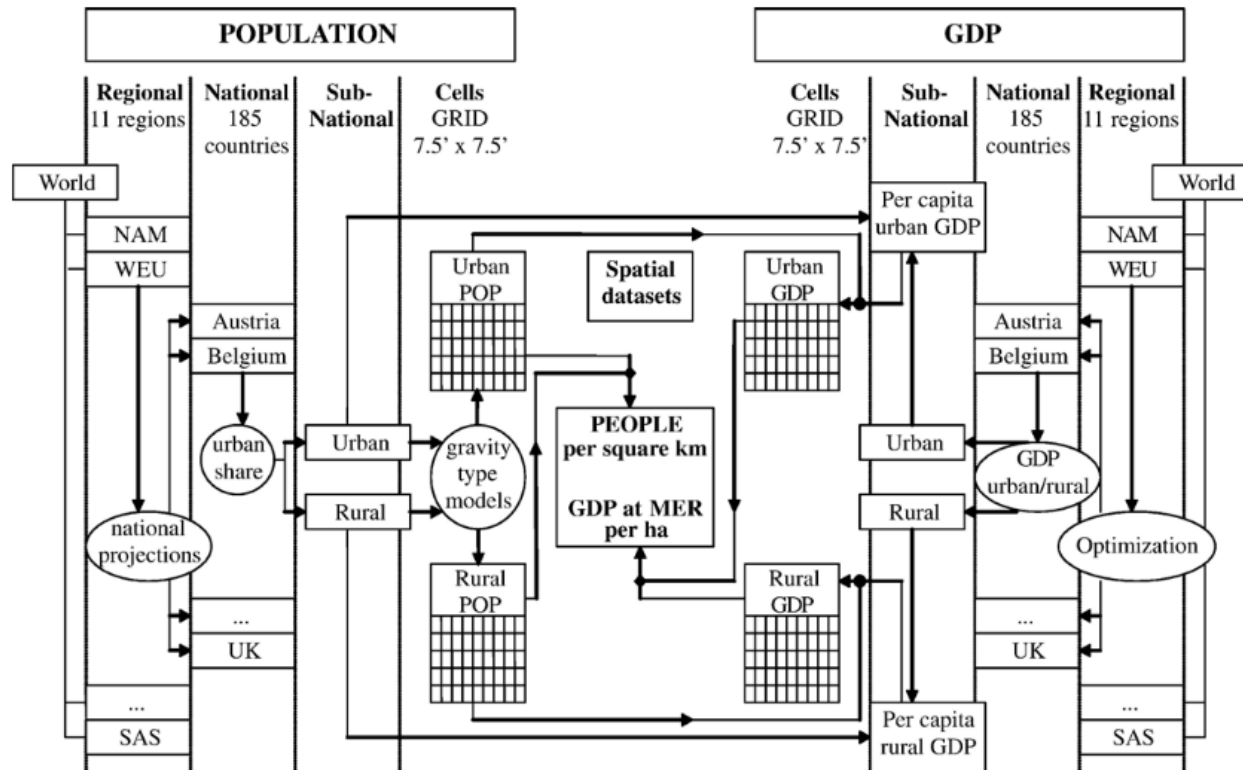


Climate module



Reducción de escala de escenarios socioeconómicos

Para narrativas divergentes (diferentes SSPs)



Para variaciones sobre la misma narrativa (mismo SSP)

$$P_{i,j,t}^R = y_{i,j,t}^{SRES,R} / (\sum_{i,j} y_{i,j,t}^{SRES,R})$$

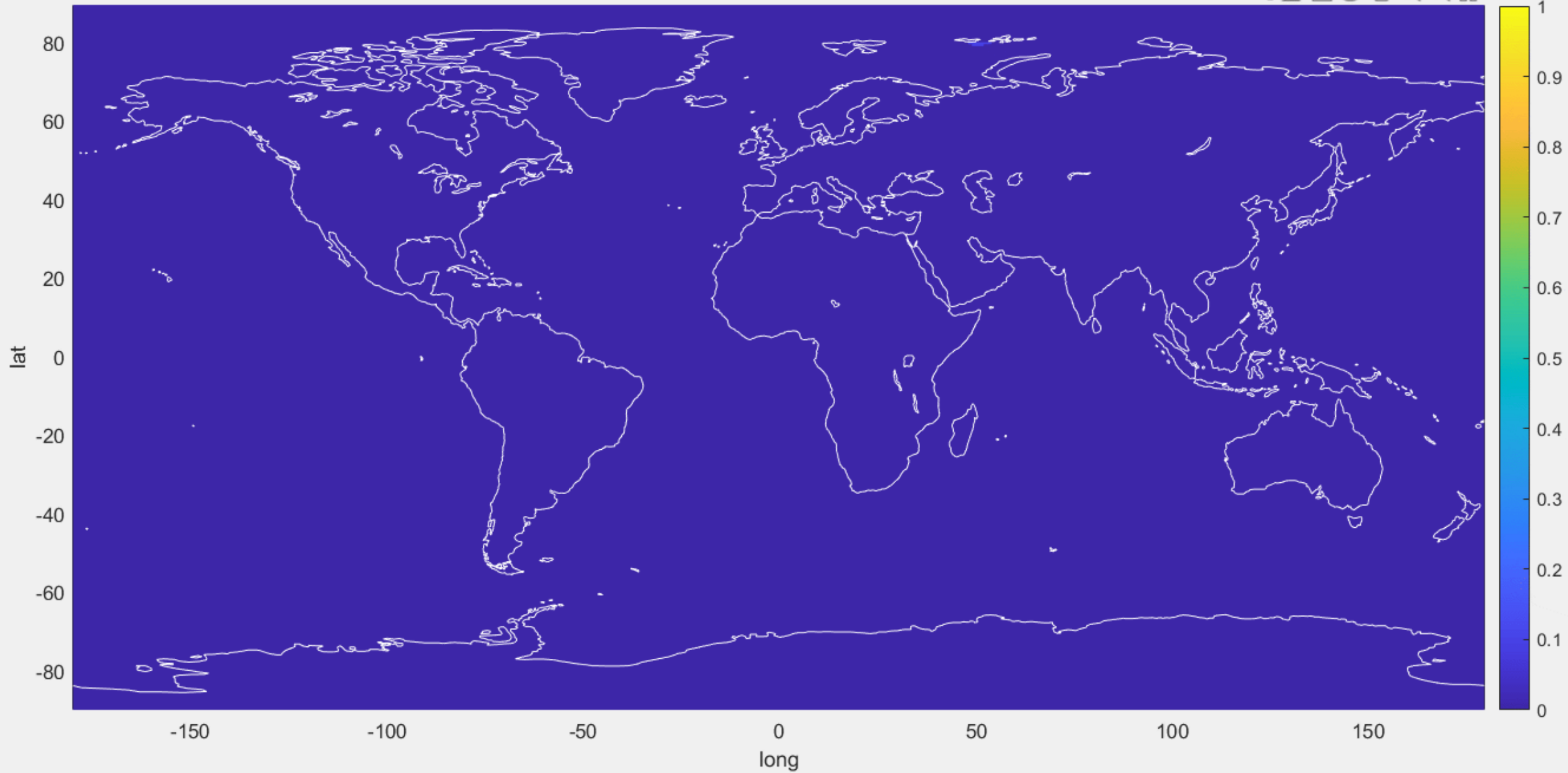
$$y_{i,j,t}^{SSP,R} = P_{i,j,t}^R * y_t^{SSP,R}$$

Fig. 1. Flow chart of the scenario-downscaling methodology aimed at developing consistent population and GDP scenario interpretations at the global, world regional, national, and subnational level.

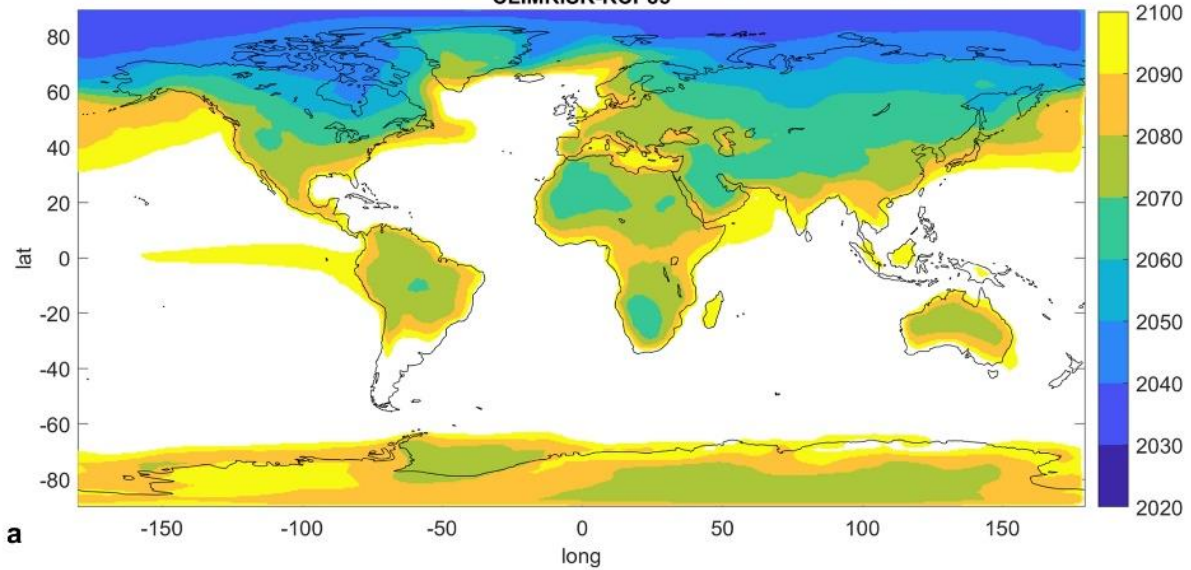
Probability of warming exceeding: 4°C

CLIMRISK-RCP85

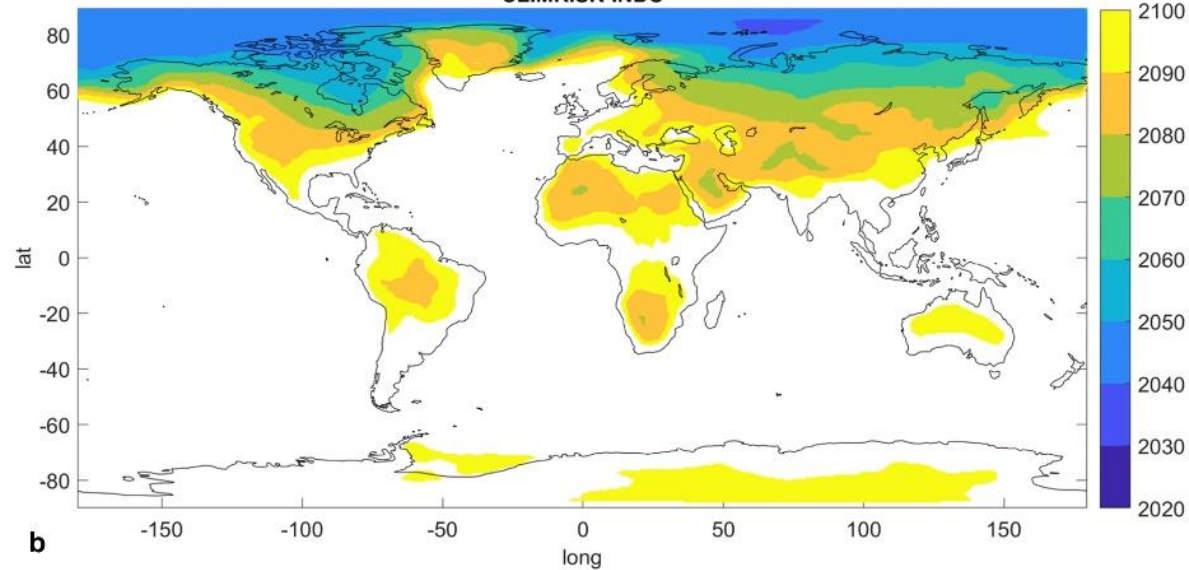
Year: 2010



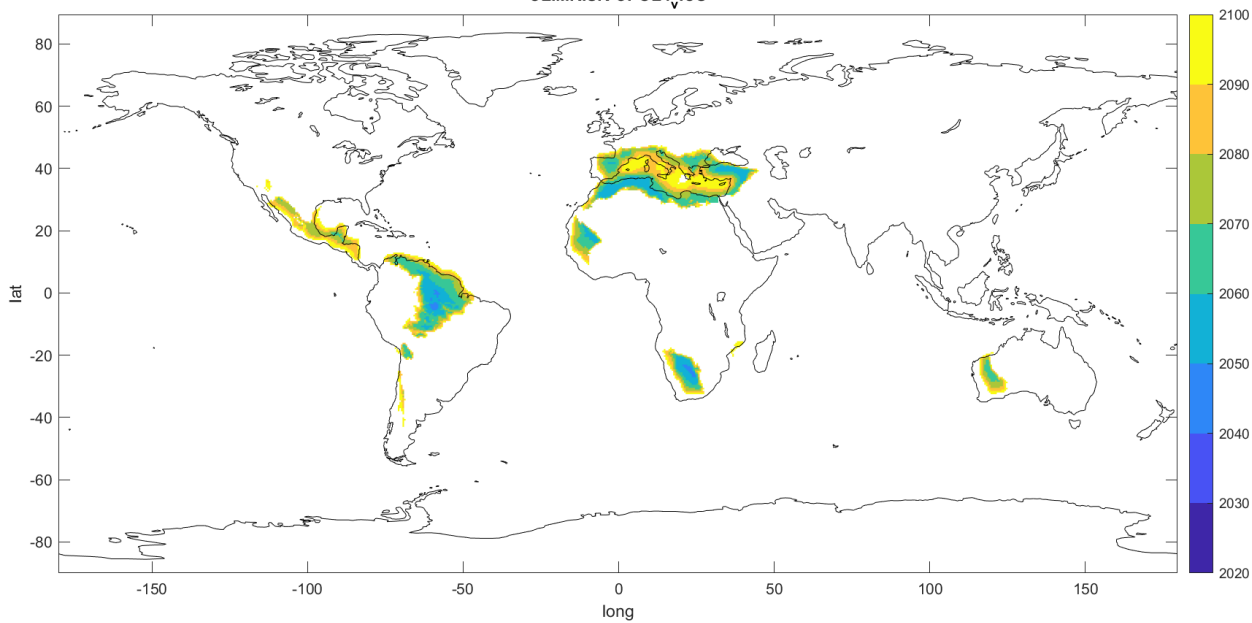
Date for warming exceeding: 3.5°C
CLIMRISK-RCP85



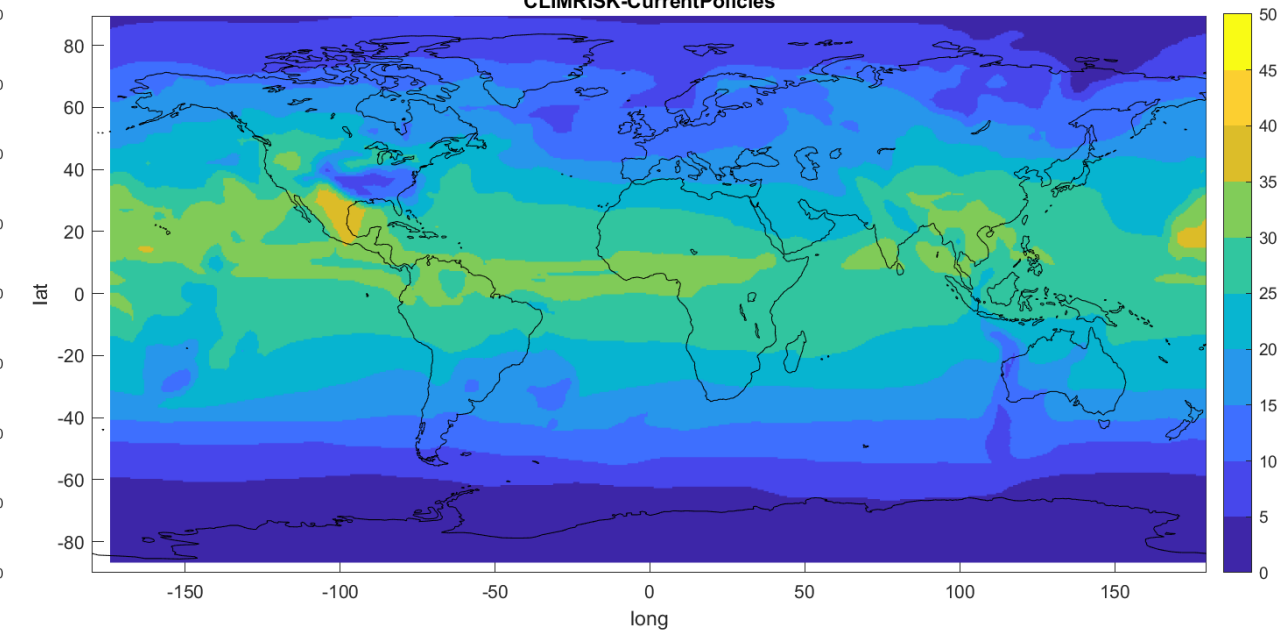
Date for warming exceeding: 3.5°C
CLIMRISK-INDC



Date for exceeding the joint threshold: 3.5°C, -10% PCP
CLIMRISK-CPOL4_ICS



Wet Bulb Globe Temperature (°C): 2050-6
CLIMRISK-CurrentPolicies



Joint impacts of global and local climate change

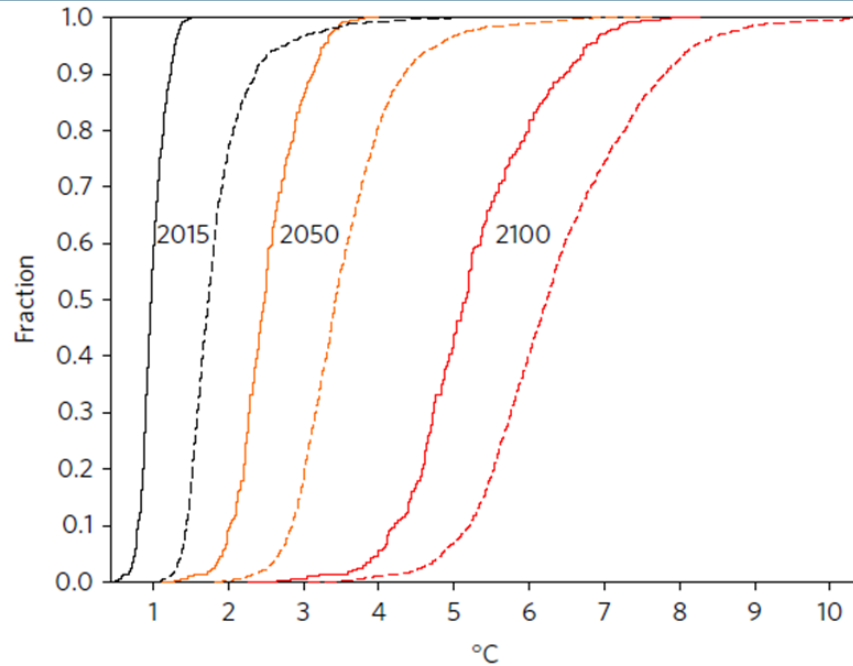


Figure 2 | Cumulative density functions of temperature changes of the 1,692 most populated cities in the world. The continuous lines show the estimated temperature increase for 2015 (black), 2050 (orange) and 2100 (red) under the RCP8.5 emissions scenario. Dashed lines include the estimated temperature increase from the UHI effect.

- A sizable proportion of the population is experiencing much greater warming
- Economic impacts are at least 2.6 times those previously calculated (global climate change)

nature climate change

Home | Current issue | News & comment | Research | Archive | Authors & referees | About the journal

home > current issue > letter > full text

NATURE CLIMATE CHANGE | LETTER

Science jobs | Science events

A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts

Francisco Estrada W. J. Wouter Botzen Richard S. J. Tol

Affiliations | Contributions | Corresponding author

Nature Climate Change 7, 403–406 (2017) | doi:10.1038/nclimate3301
Received 15 August 2016 | Accepted 20 April 2017 | Published online 29 May 2017

naturejobs.com

Ph.D. Program and Integrated MS-Ph.D. Program of IBS School-UST
Institute for Basic Science

Chief of Newborn Medicine
Mass General for Children at North Shore Medical Center (NSMC)

1,692 large cities
around the world

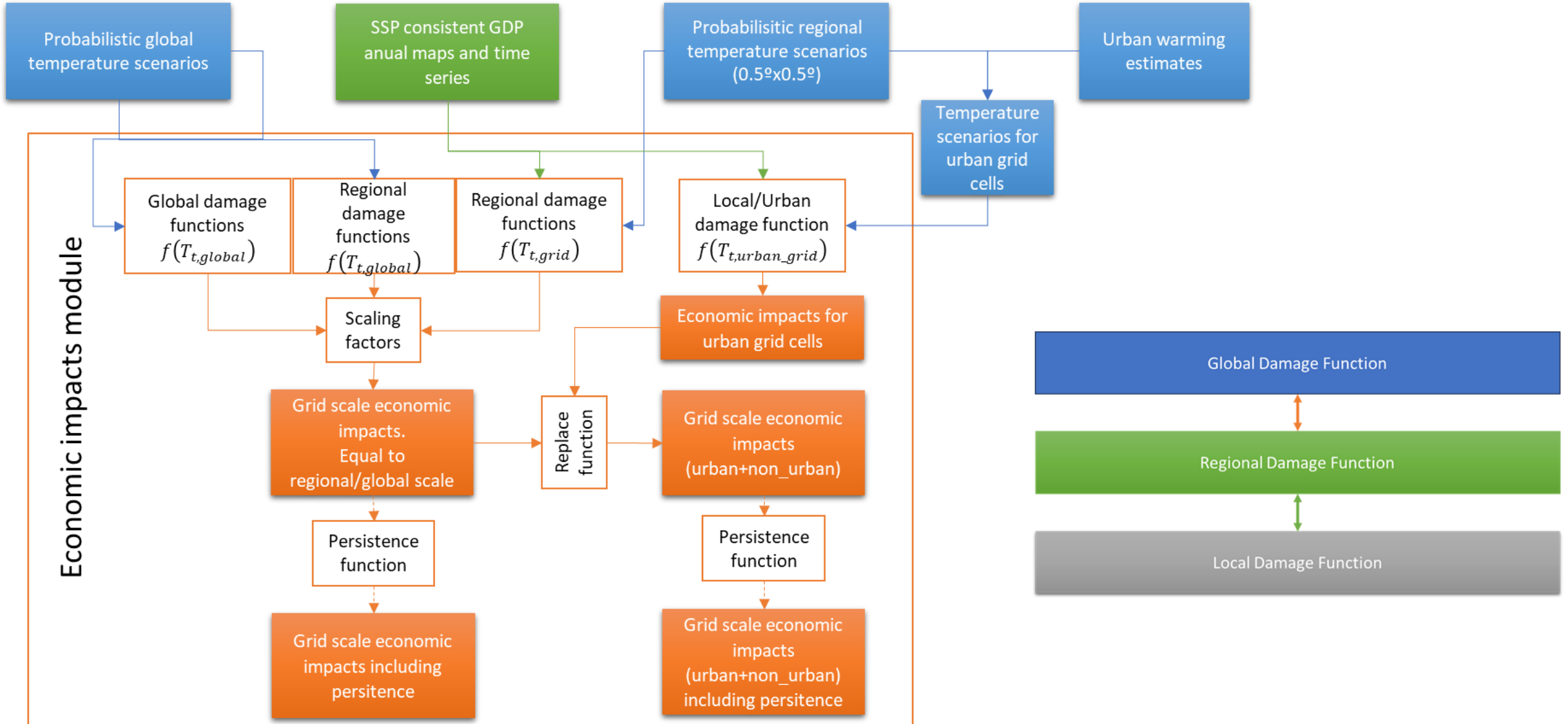
+50% world
population lives
in urban areas

80% of global
GDP is produced
in cities

Convergence of
socioenvironmental
issues

Global, regional, local damage functions

A down/up-scaling approach



Global damage functions

Kompas et al.* (K)	K, KW, KWCS, d,R
Kalkuhl Wenz (KW panel, KWCS cross-sectional)*	KU, KWU, RU, RUd, Ruw
Howard and Sterner (PNC)	RP, RPU
Estrada et al. (P, persistence)	Rd, RPd, RUd, RPUd
DICE2016 (d)	Rw, RPw, RUw, RPUw
RICE2010* (R)	

Catastrophic

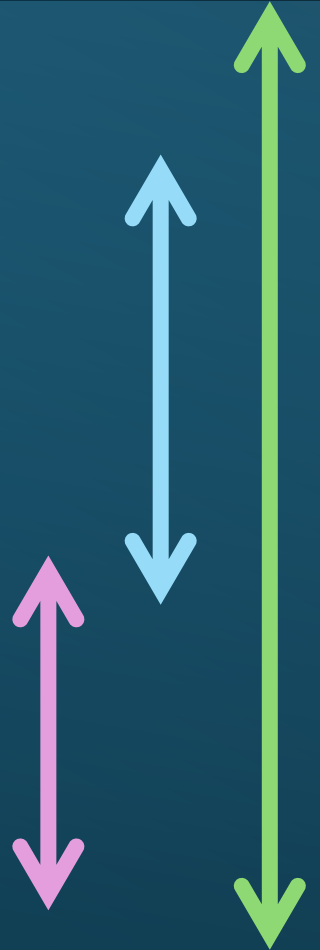
Howard and Sterner (PC, PCP)	
Weitzman (w)	

Regional damage functions

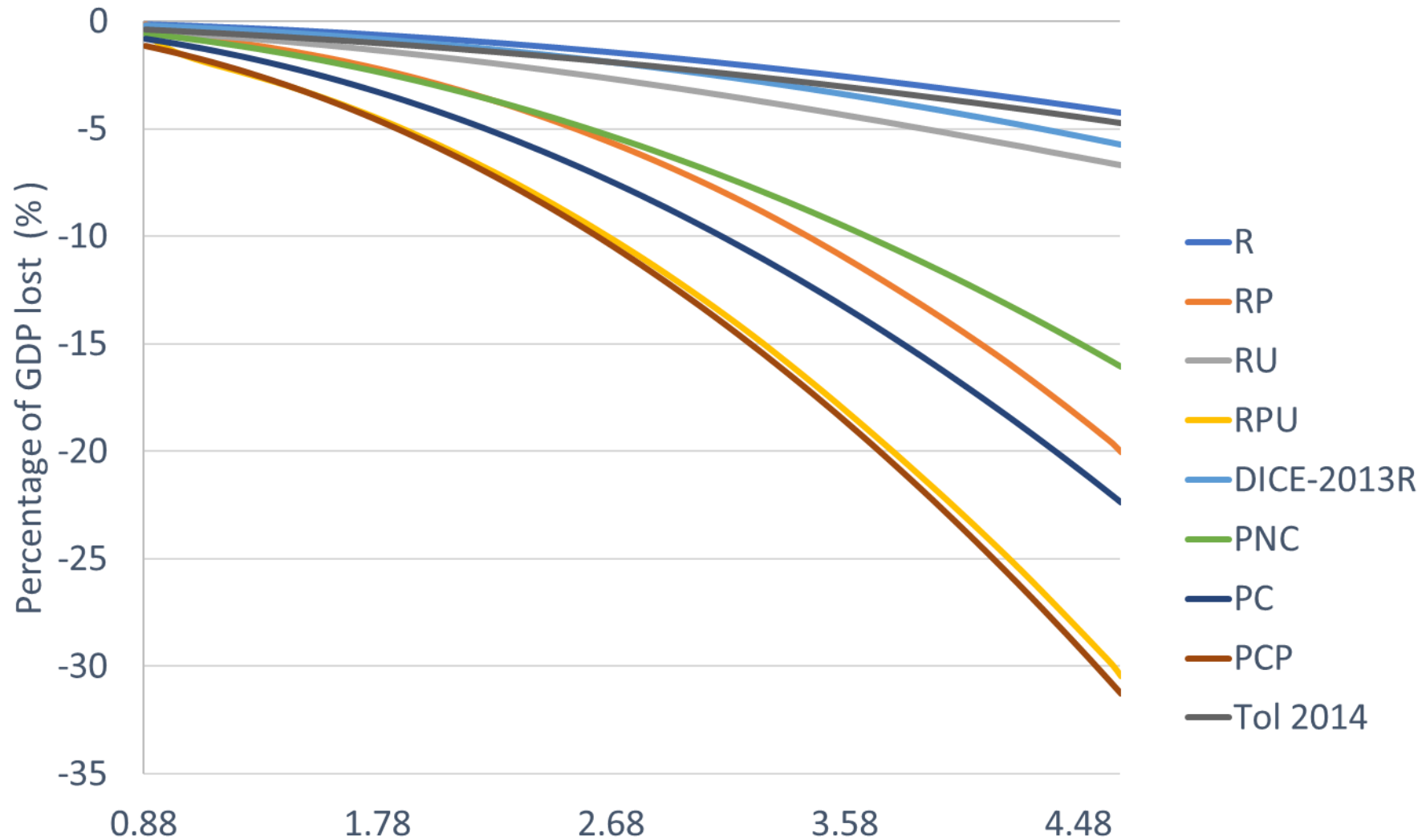
Kompas et al. (K; 173 countries)	K, KU, KW, KWCS, KWU
Kalkuhl Wenz (panel, cross-sectional)	Rd, Rw, RP, RPU, RPd, Rud, RPUd, RPw, RUw
RICE2010 (R; 13 regions)	RPUw

Local damage functions

Kompas et al. (K; 60,000+ local DF)	K, KU, KWU, RU, RPU
Kalkuhl Wenz (panel, cross-sectional)	RUd, RPUd, RUw, RPUw
Estrada et al. (U; urban)	

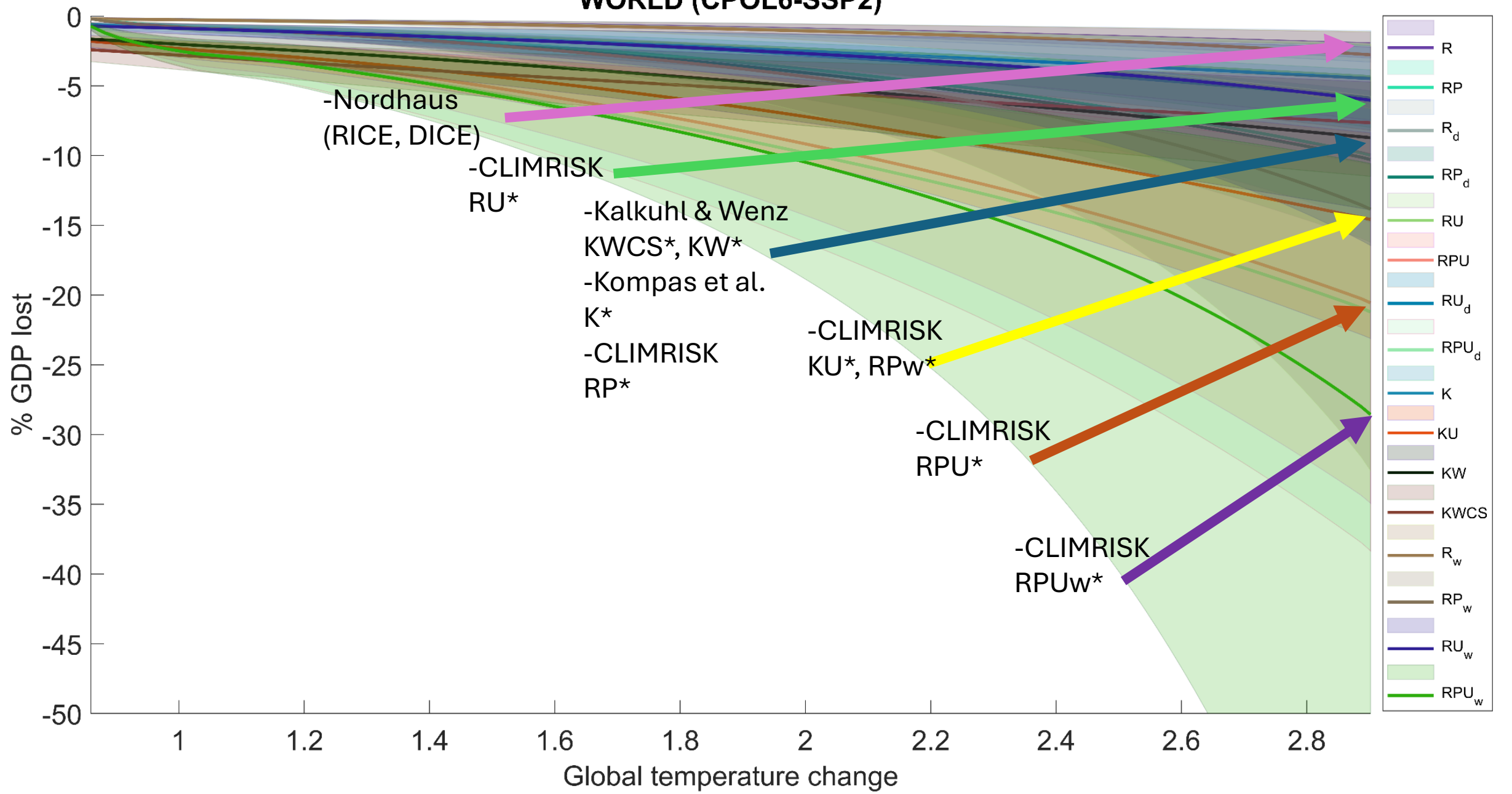


CLIMRISK 2021 // Howard Sterner (2017) meta-analysis

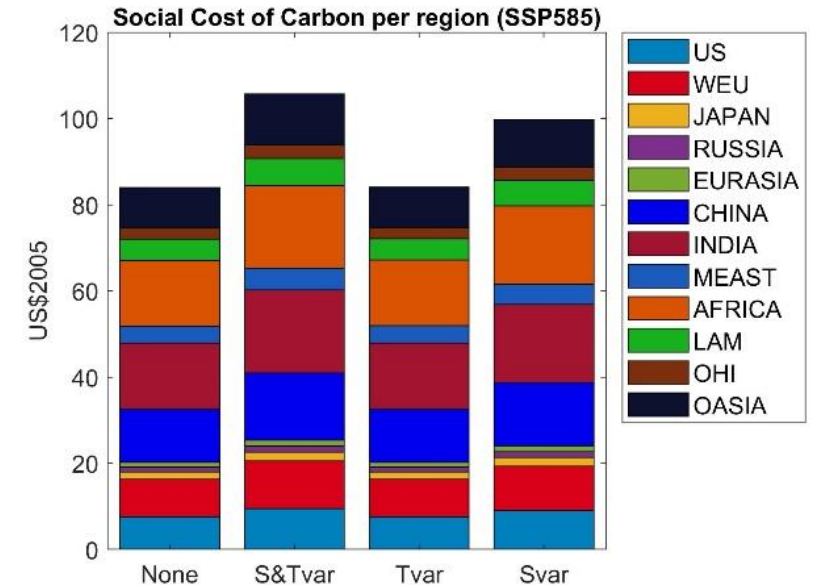
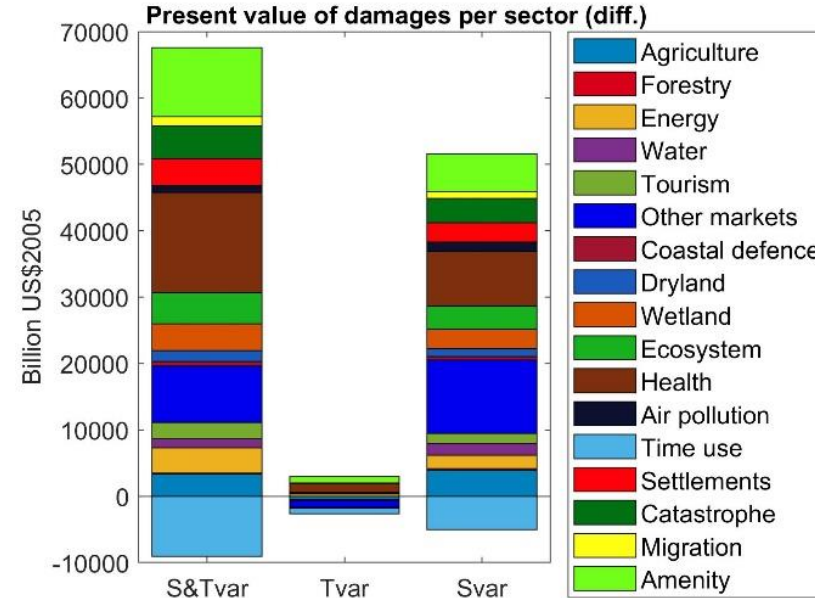
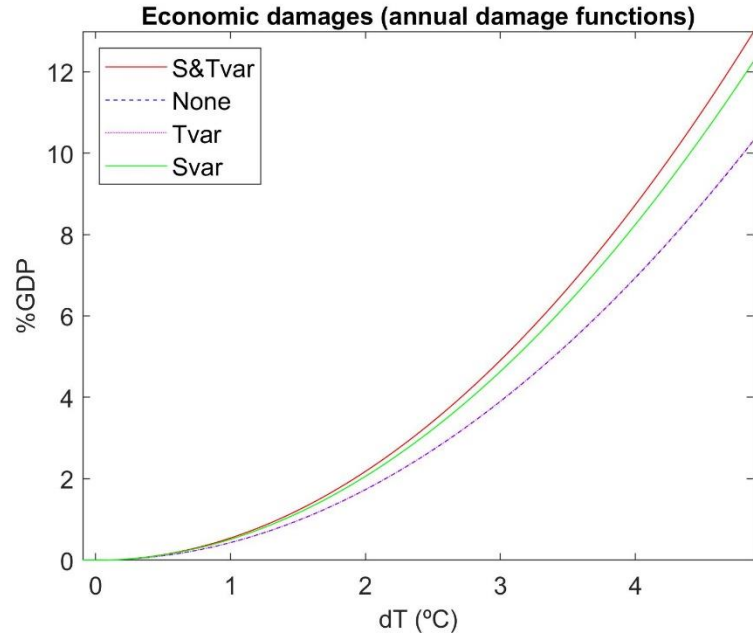


Preferred non-catastrophic (PNC)
Preferred total inc. catastrophic (PC)
Preferred total plus productivity (PCP)

WORLD (CPOL6-SSP2)



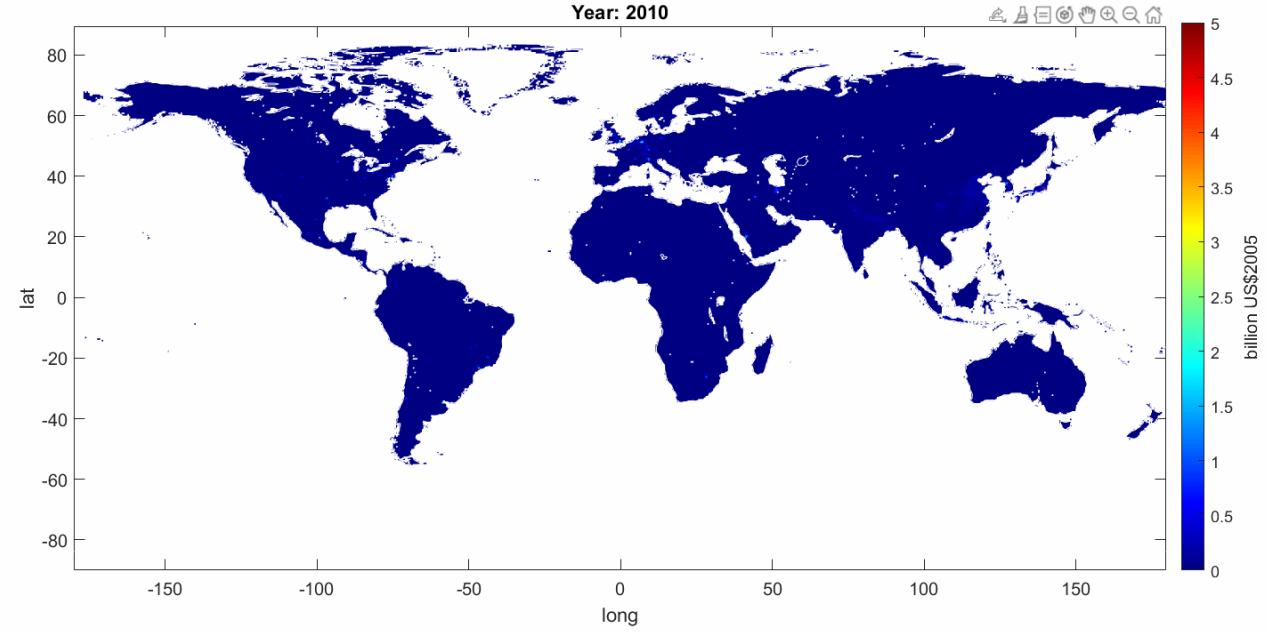
Temporal variability and spatial variation



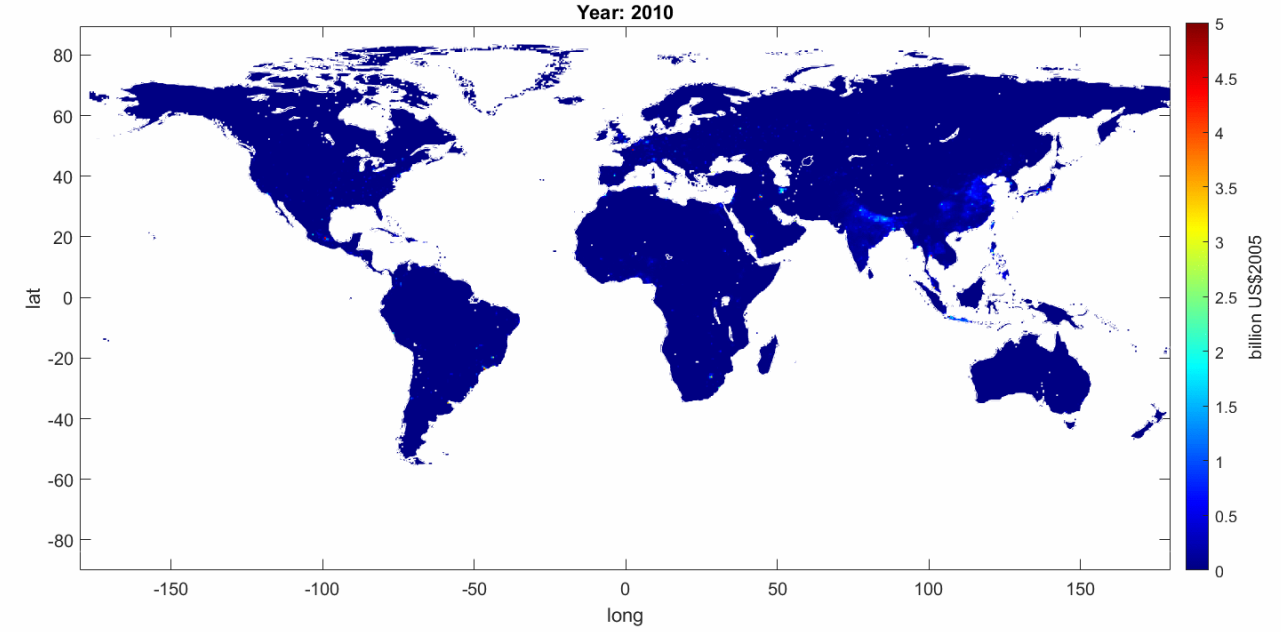
Under a high emissions scenario, losses are underestimated by 23-36%, representing US\$1,900-US\$3,000 billion by 2050 and US\$24-US\$38 trillion by the end of the century.

The present value of losses over this century exceeds previous estimates by US\$57-US\$89 trillion, representing 56-88% of 2020 global GDP.

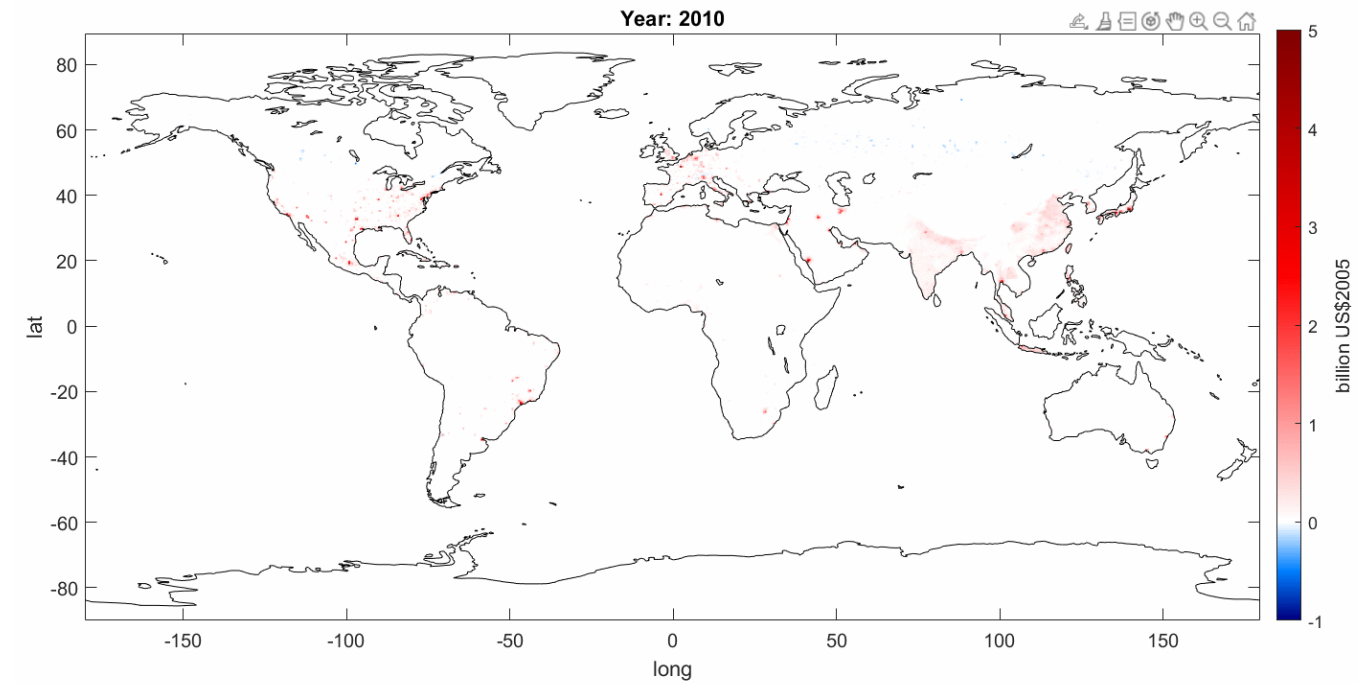
CLIMRISK-RPU-none-CurrentPolicies-SSP2-OECD-50
Year: 2010



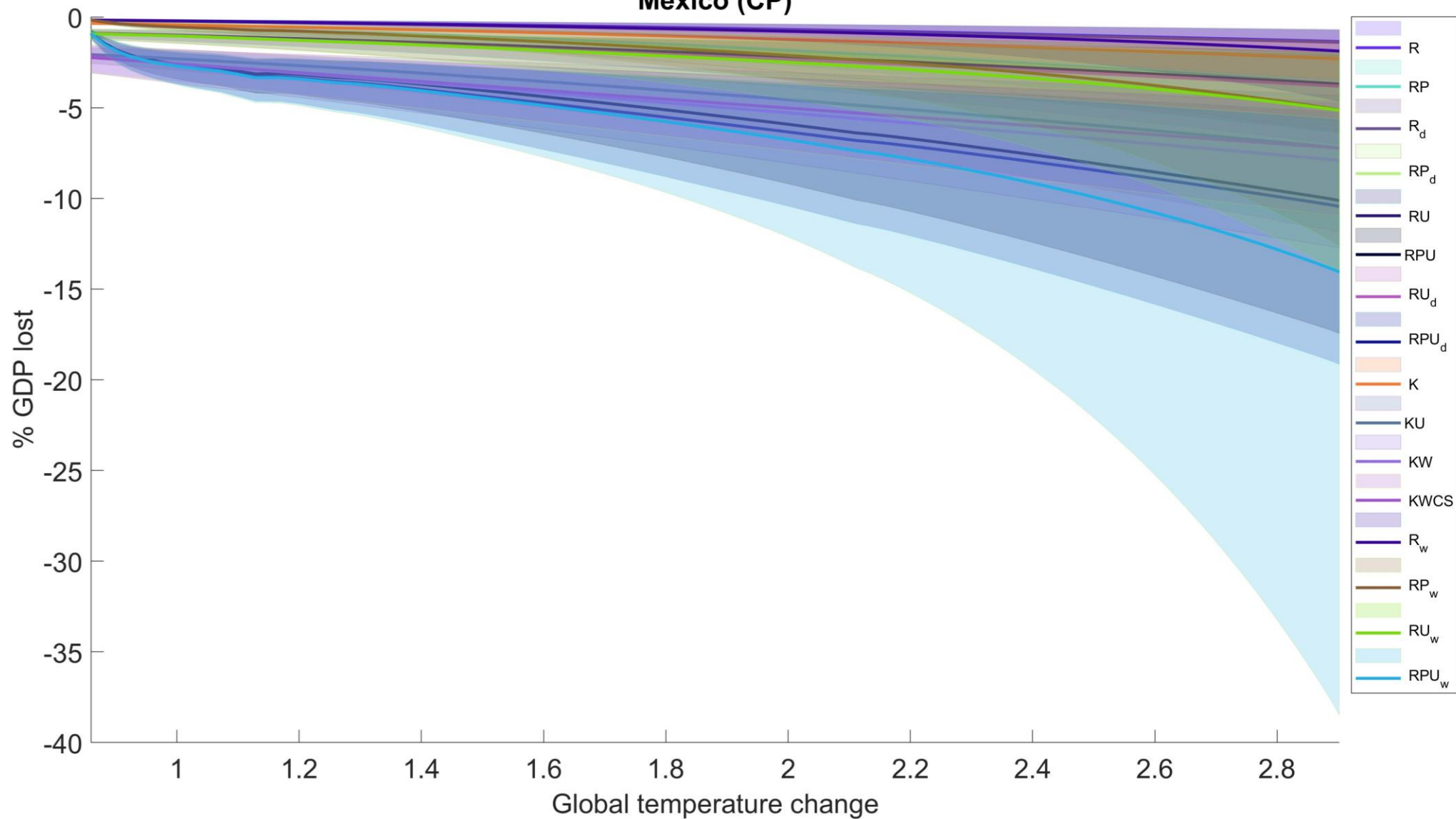
CLIMRISK-KU-none-CurrentPolicies-SSP2-OECD-50
Year: 2010



CLIMRISK-KW-none-CurrentPolicies-SSP2-OECD-50-Panel
Year: 2010



Mexico (CP)



Present value of economic losses as % current GDP

World, NGFS current policies

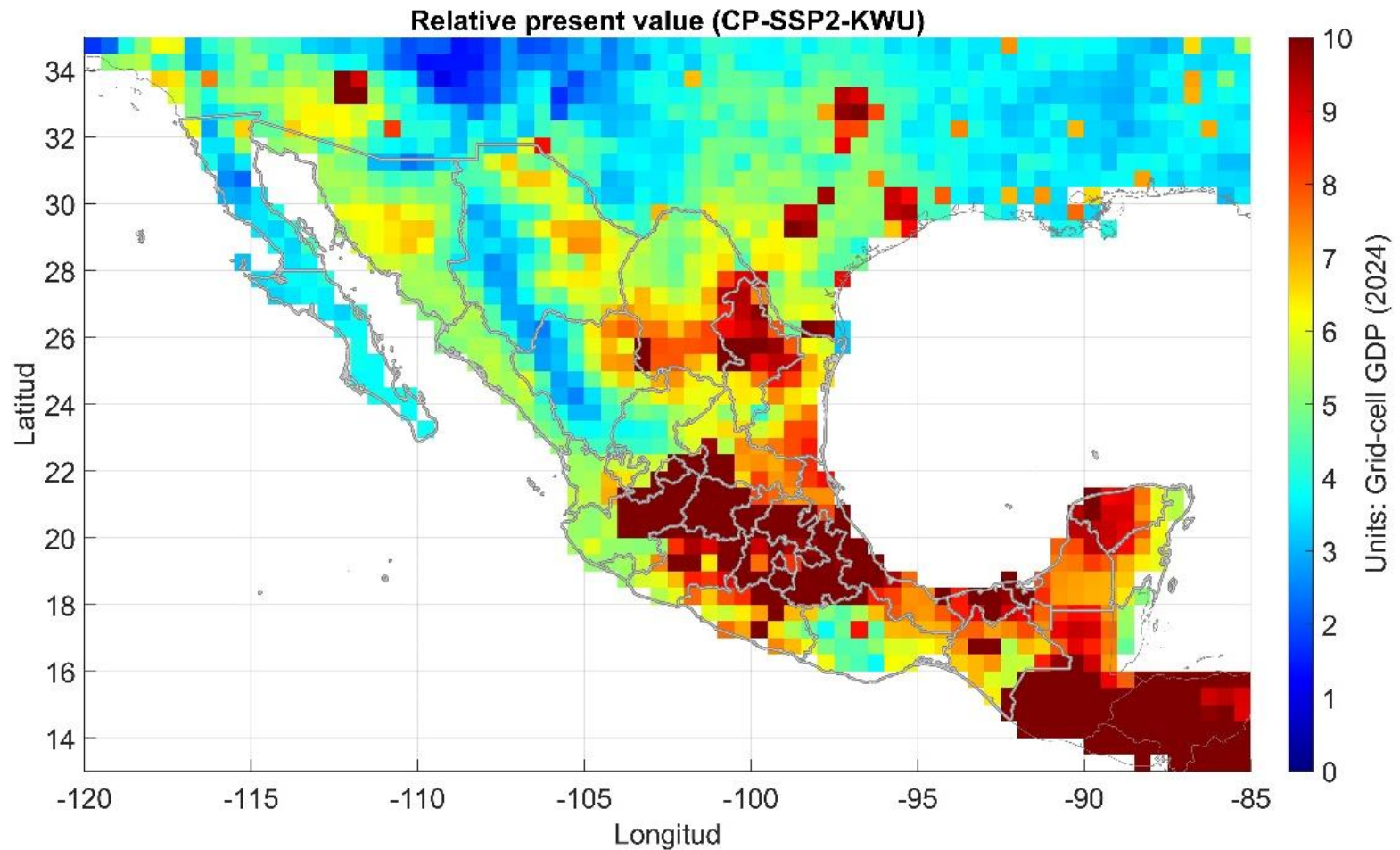
World region	Damage functions (RU) Config. B	Damage functions (RPU) Config. B
US	157.83% (103.29%, 256.84%)	377.2% (247.11%, 613%)
EU	203.38% (125.59%, 325.57%)	393.82% (243.38%, 629.81%)
Japan	149.91% (100.82%, 232.46%)	359.73% (242.21%, 557.07%)
Russia	211.94% (131.24%, 353.69%)	937.82% (582.41%, 1559.66%)
Eurasia	222.13% (140.24%, 376.97%)	685.71% (433.63%, 1161.28%)
China	260.58% (164.99%, 414.1%)	1166.27% (740.2%, 1848.02%)
India	819.07% (551.9%, 1244.86%)	3545.47% (2395.92%, 5369.73%)
MEAST	457.26% (308.38%, 734.73%)	1995.18% (1349.63%, 3193.6%)
Africa	1133.95% (739.09%, 1807.39%)	7785.96% (5110.57%, 12319.82%)
LAM	271.3% (182.96%, 431.04%)	728.57% (492.17%, 1155.1%)
OHI	201.22% (131.01%, 322.59%)	479.96% (312.83%, 768.45%)
OASIA	534.03% (362.86%, 819.51%)	2298.89% (1567.26%, 3514.27%)
MX	265.69% (187.62%, 417.37%)	713.02% (504.36%, 1117.62%)

Discount rate=1.5%

Mexico, NGFS Current policies; Below 2°C
Exploring different configurations of damage functions (units of MX GDP 20204)

Scenario	K	KWU
<i>CP</i>	1.19 [0.71, 1.7]	10.7 [7.52, 15.43]
<i>B2</i>	0.81 [0.48, 1.12]	8.91 [6.28, 12.41]
<i>AL</i>	0.38 [0.23, 0.58]	1.79 [1.24, 3.02]

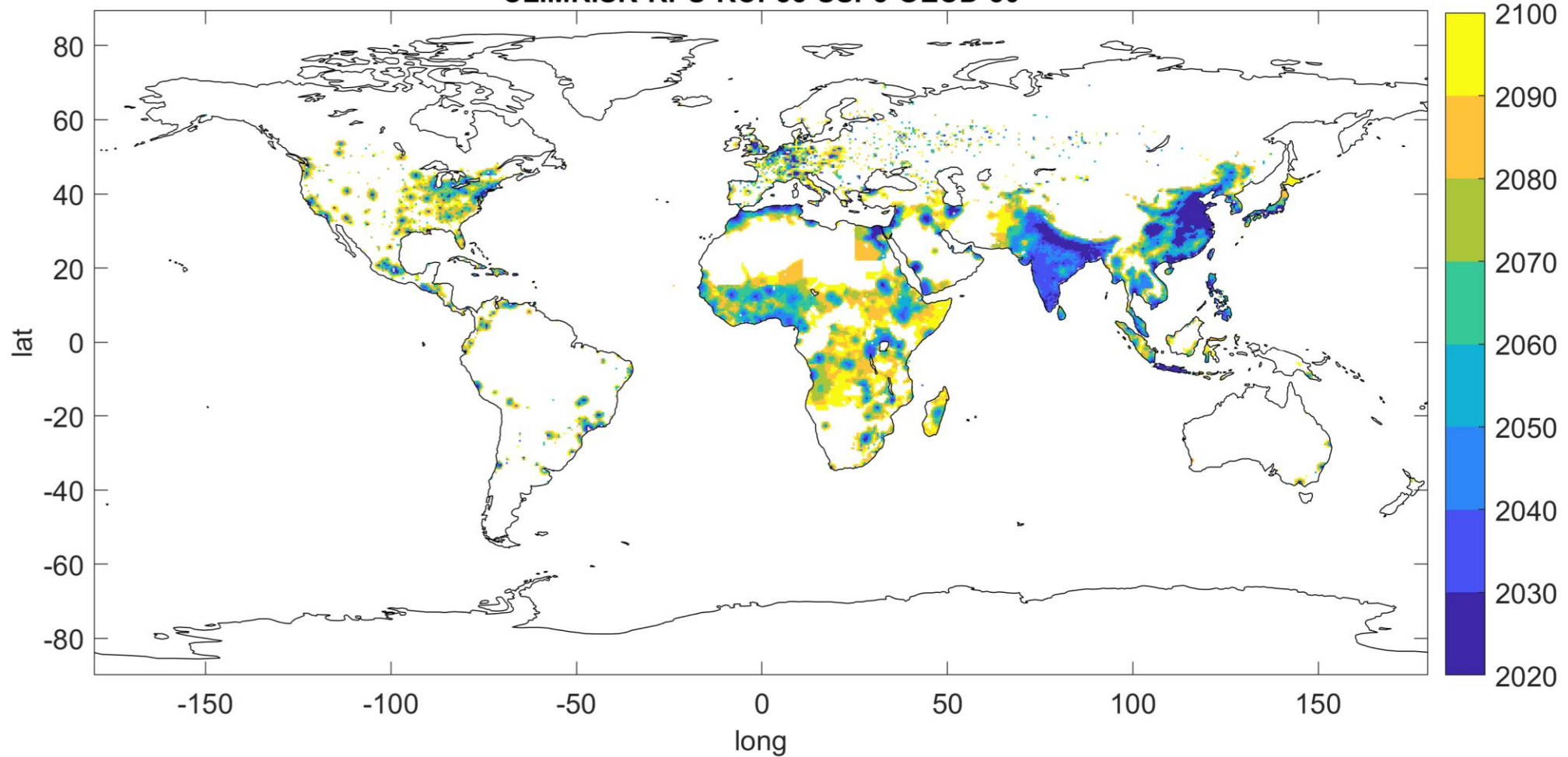
Relative present value of economic losses and social cost of carbon



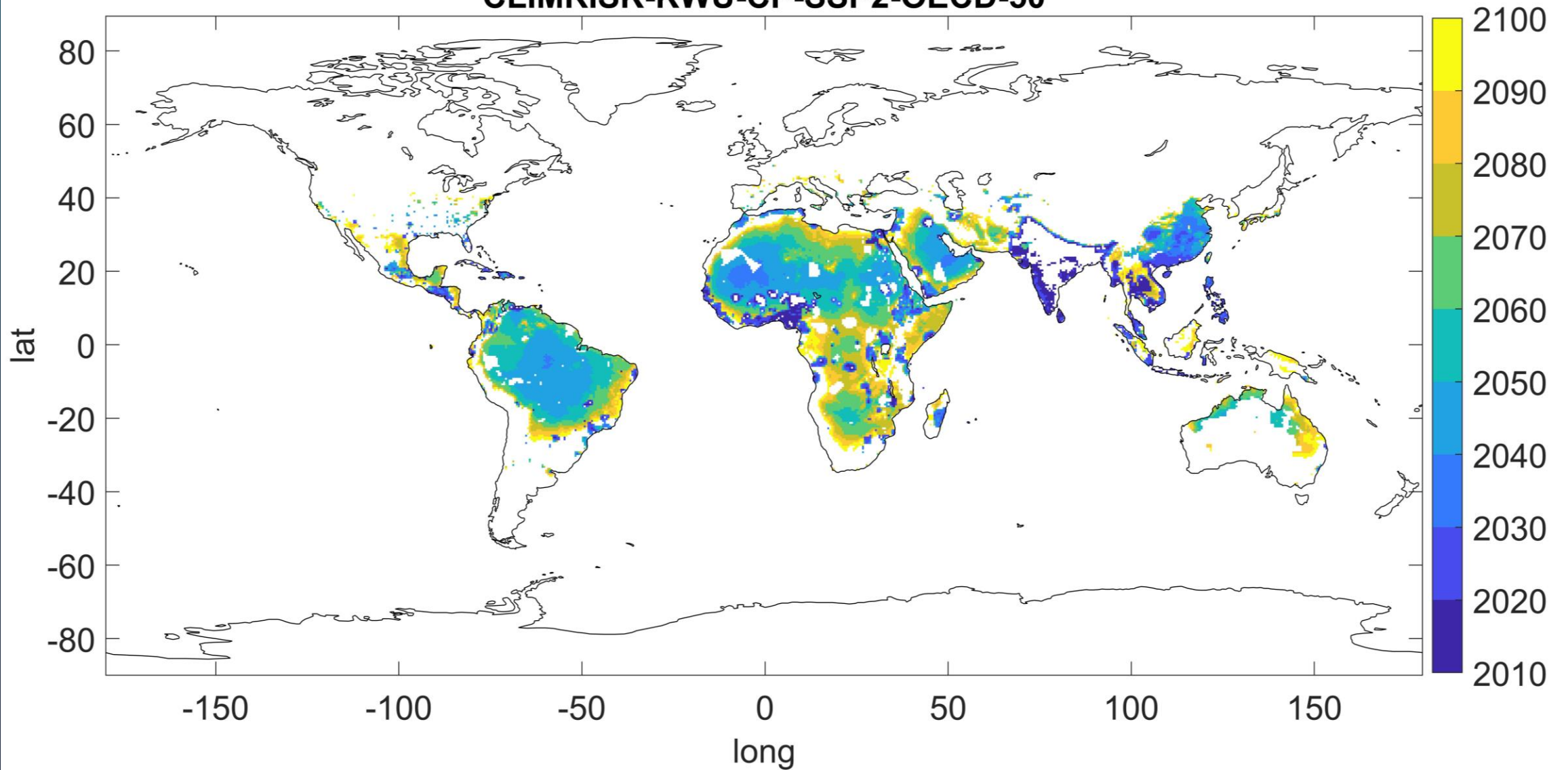
Social Cost of Carbon Current Policies
\$US per tCO₂

	<i>KU</i>	<i>RU</i>	<i>RPU</i>
SCC	\$229 [\$166, \$303]	\$118 [\$75, \$169]	\$488 [\$316, \$693]

Date for losses exceeding: 1 billion US\$2005
CLIMRISK-RPU-RCP85-SSP5-OECD-50



Date for losses exceeding: 10% GDP
CLIMRISK-KWU-CP-SSP2-OECD-50



Costo social del CO₂

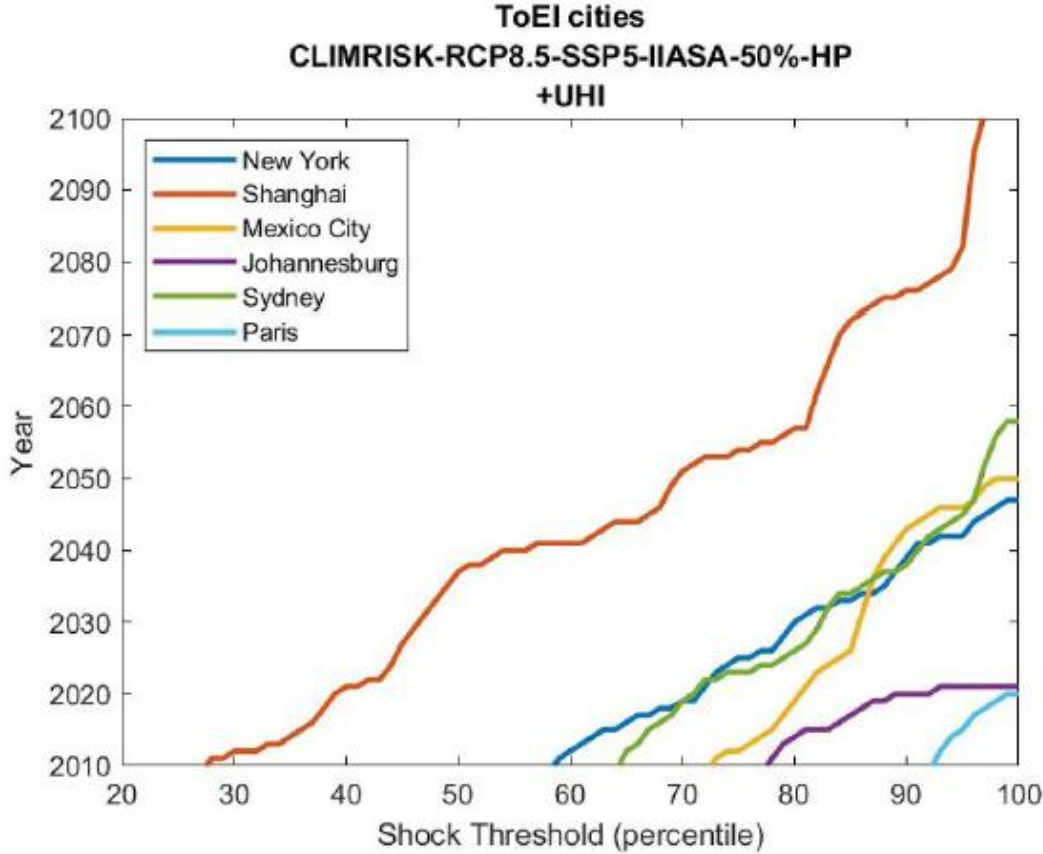
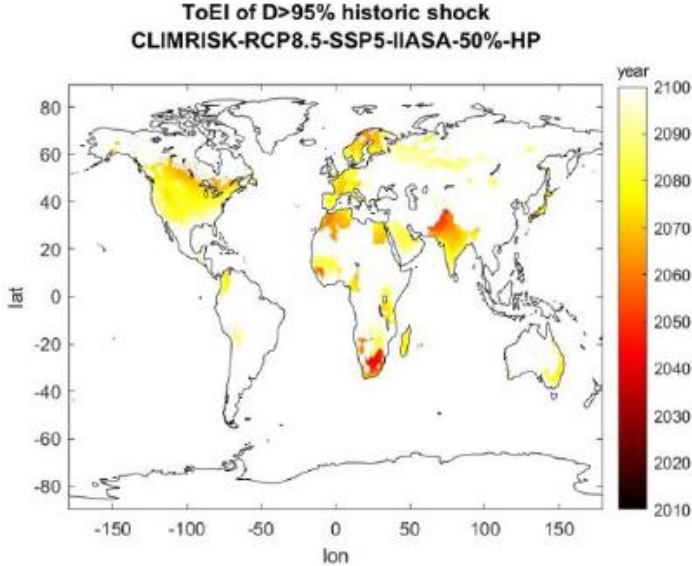
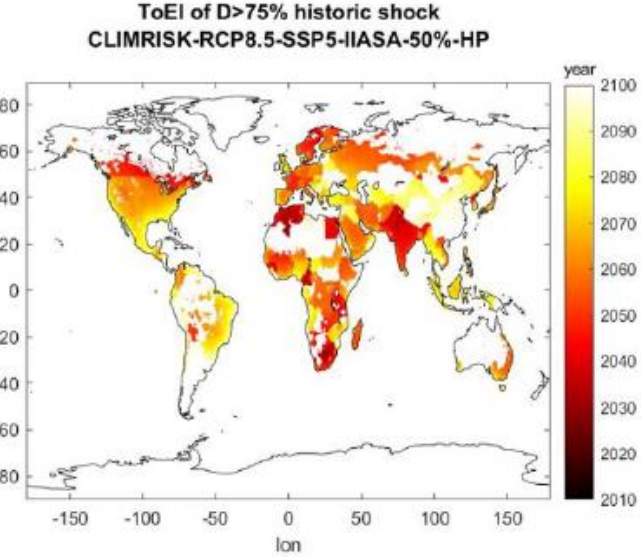
Damage function	Global SCC (US2005/tCO ₂)
RPU(d)	1188.63
RU(d)	290.15
RP(d)	579.84
R(d)	136.60
KU	482.93
K	185.93
Catastrophic	
RPU(w)	6221.57
RU(w)	1473.18
RP(w)	3069.87
R(w)	696.37
KU(w)	1796.07
K(w)	696.37

LETTER
Time of emergence of economic impacts of climate change

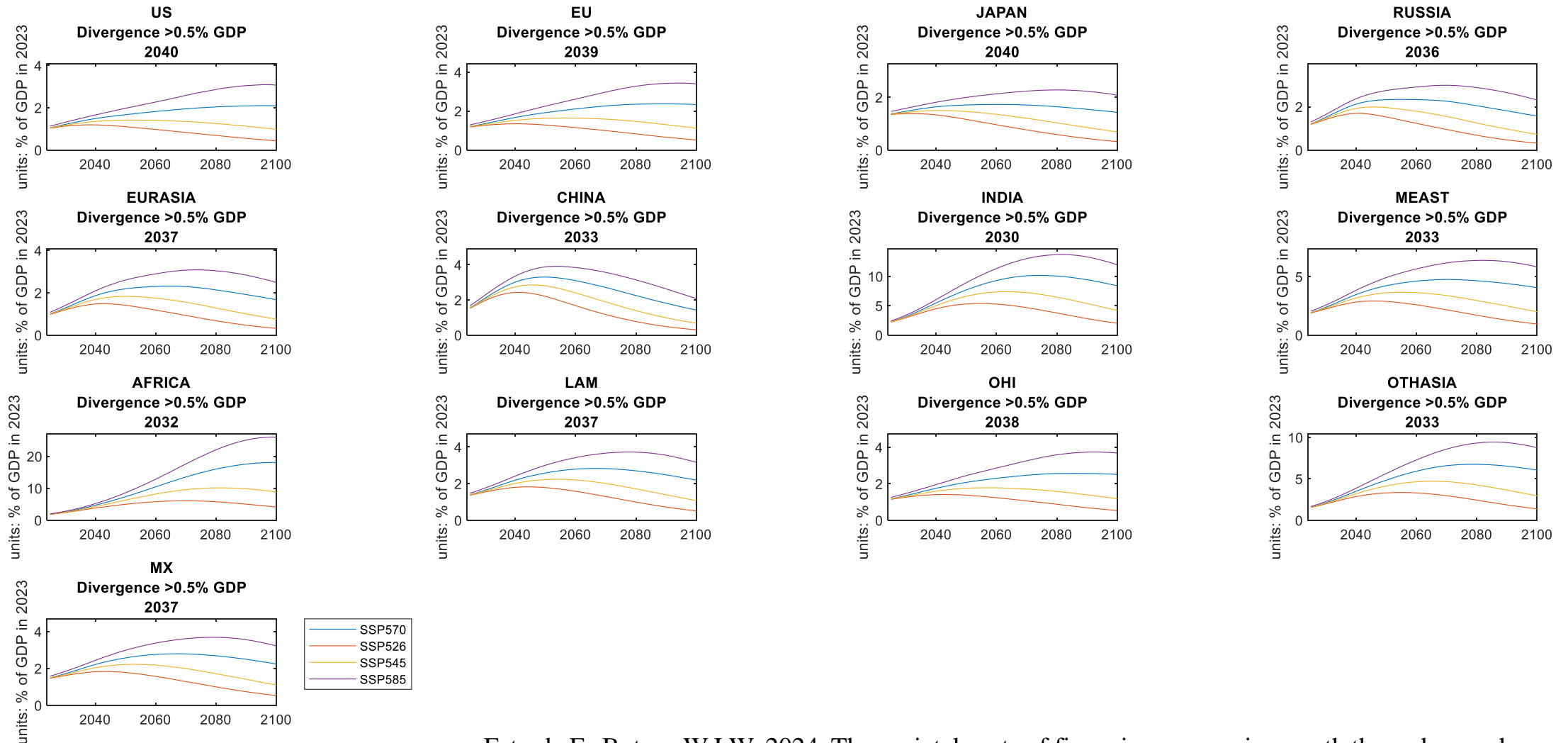
Predrag Ignjacevic^{1,*}, Francisco Estrada^{1,2,3} and W J Wouter Botzen^{1,4}

When would we start “feeling” the climate change impacts on the economy?

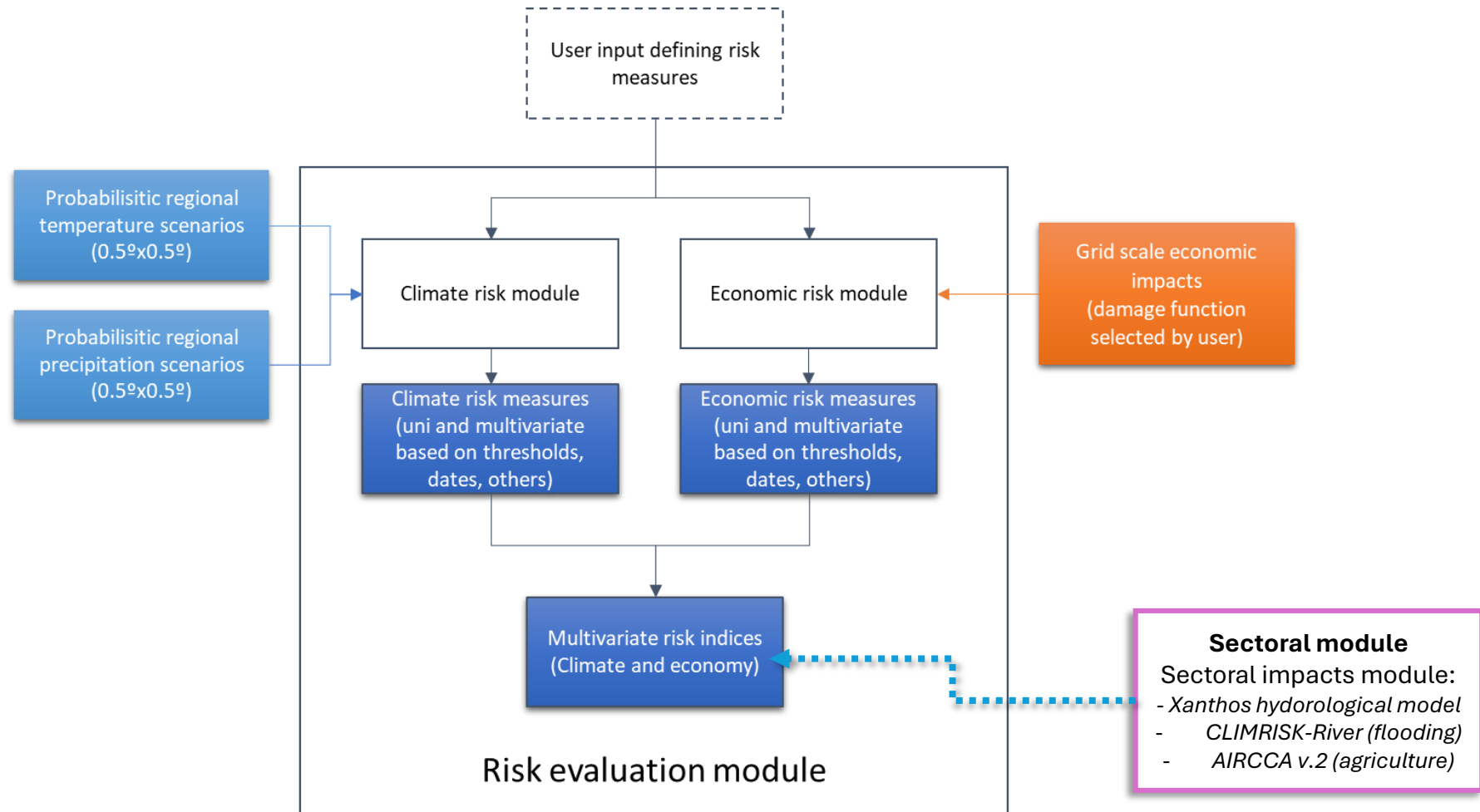
- ToEI: Identifies the initial moment when the climate change impact signal exceeds a previously defined threshold of past economic output shocks in a given geographic area.



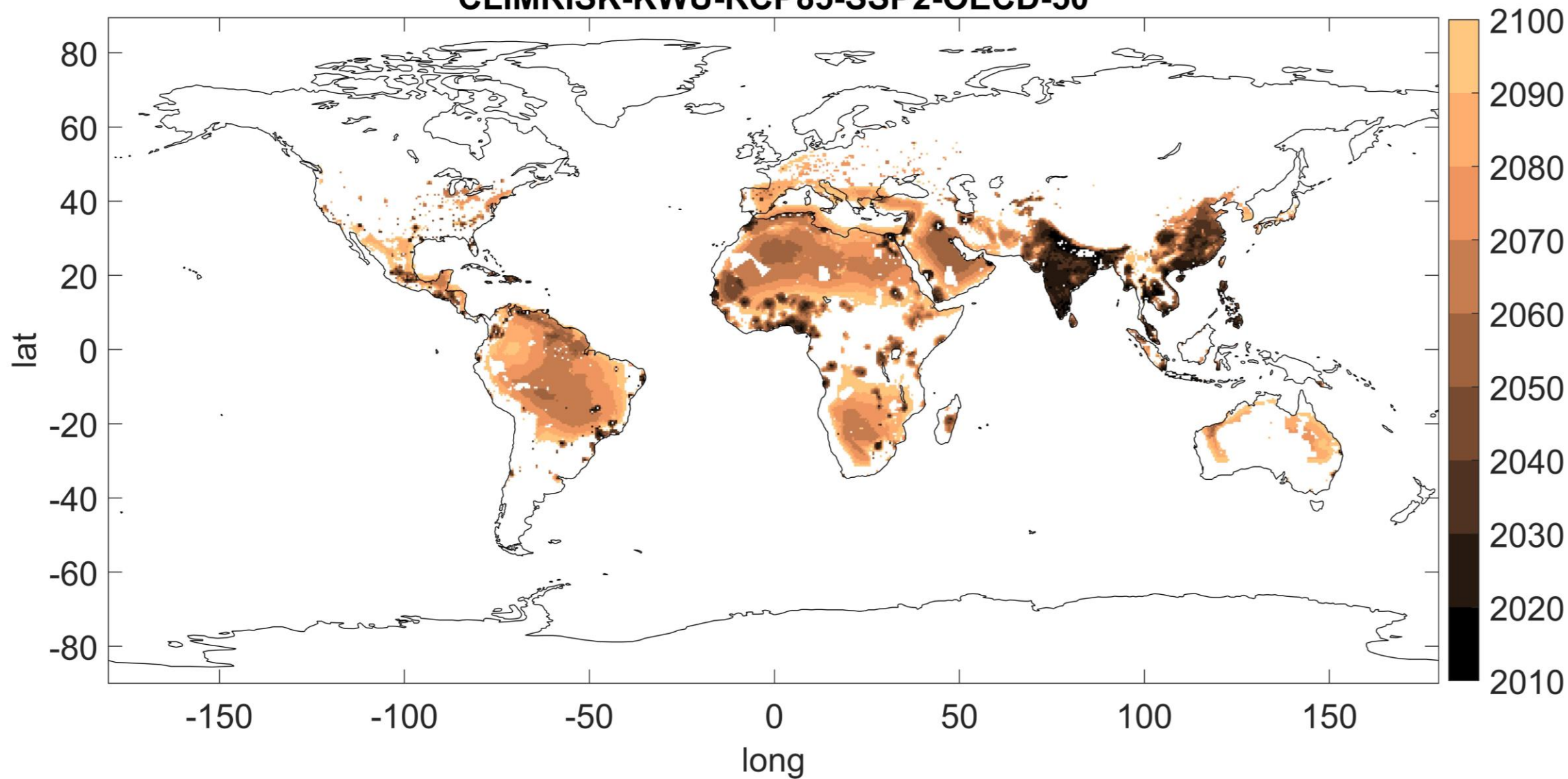
Cost of postponing mitigation for an additional year



Risk module



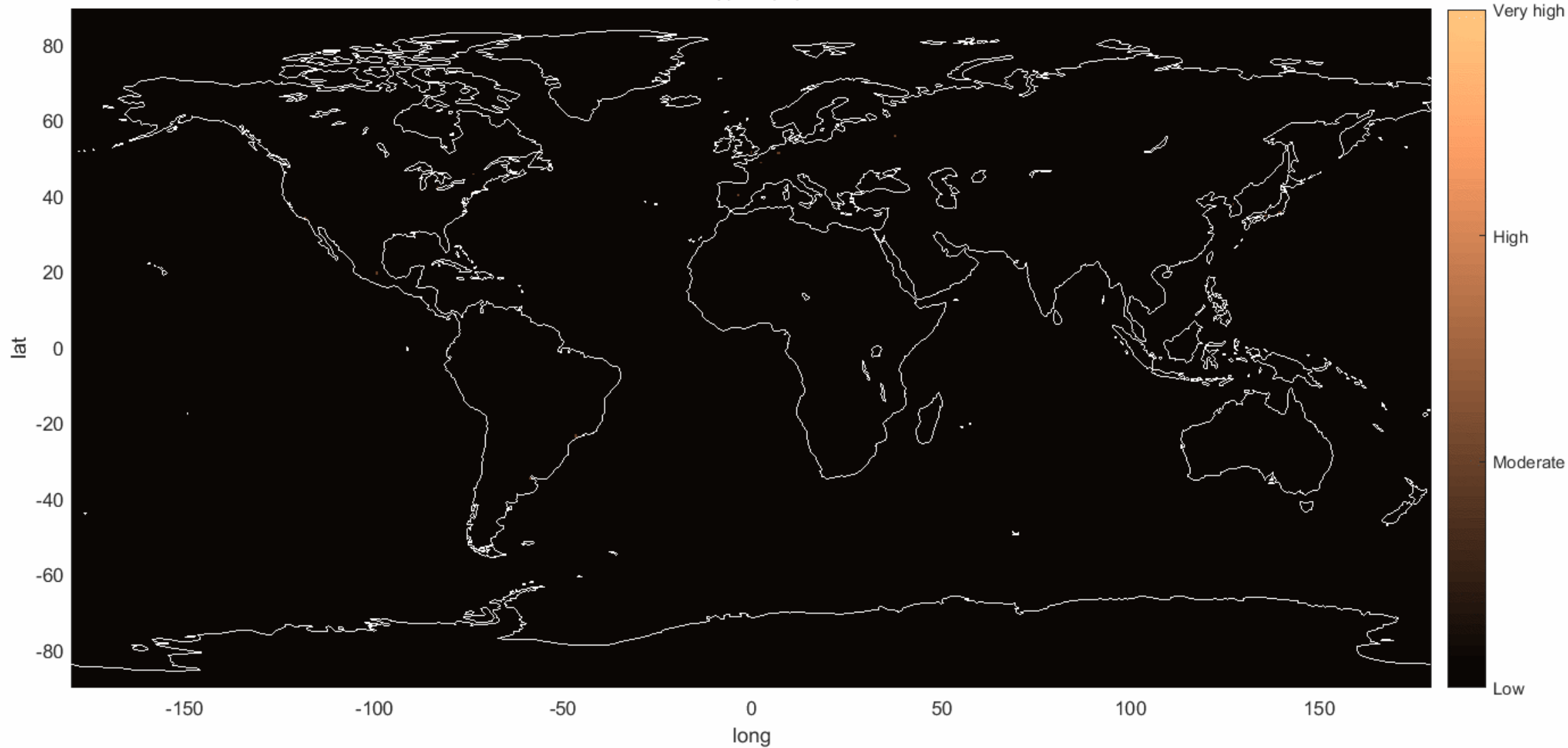
Date for reaching risk level: High
CLIMRISK-KWU-RCP85-SSP2-OECD-50



Multivariate risk index: 2.5°C, -10% PCP, 5% GDP, 1 billion US\$2005

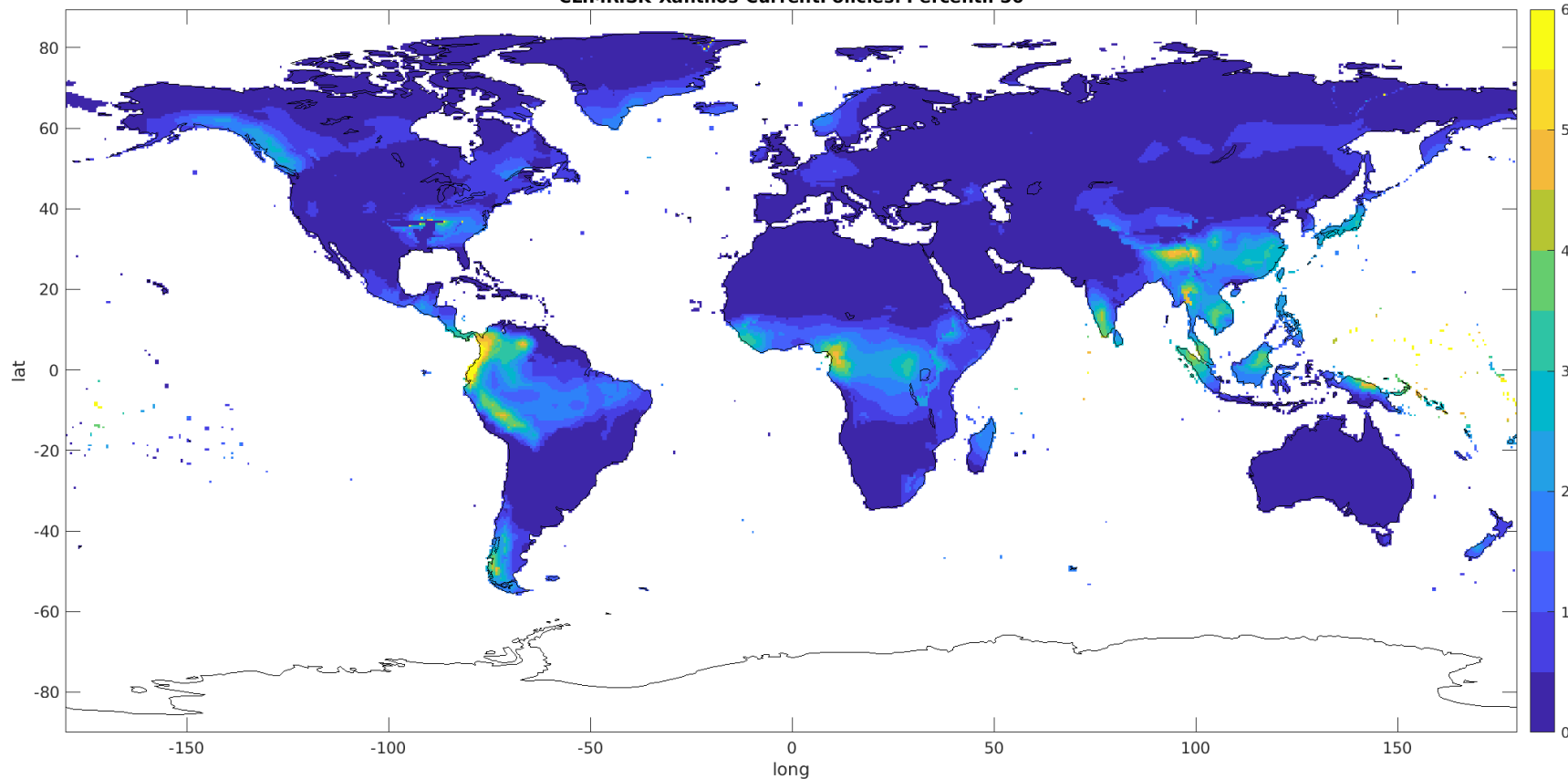
CLIMRISK-RPU-RCP85-SSP5-OECD-50

Year: 2010



Integration of GCAM-CLIMRISK-Xanthos hydrological model (Pacific Northwest National Laboratory)

Runoff (km³/year): 2050
CLIMRISK-Xanthos-CurrentPolicies. Percentil 50



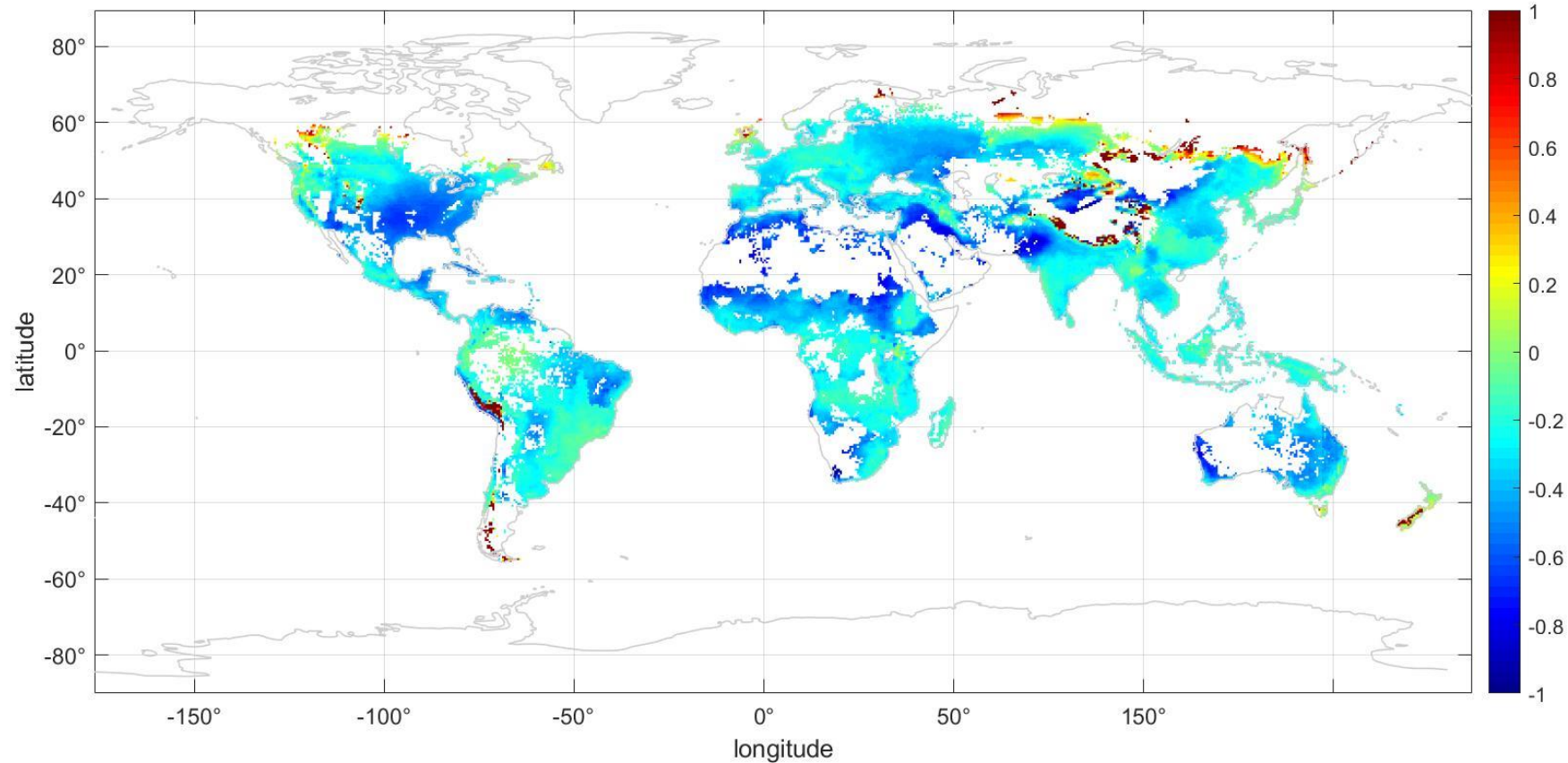
Complements water demand information for:

- assessing water stress and water availability for transition
- improving estimates of impacts on agriculture/power generation/industrial activities due to water scarcity/excess

Historical and future estimates of regional and global water availability, water stress, potential evapotranspiration, runoff generation, and stream routing.

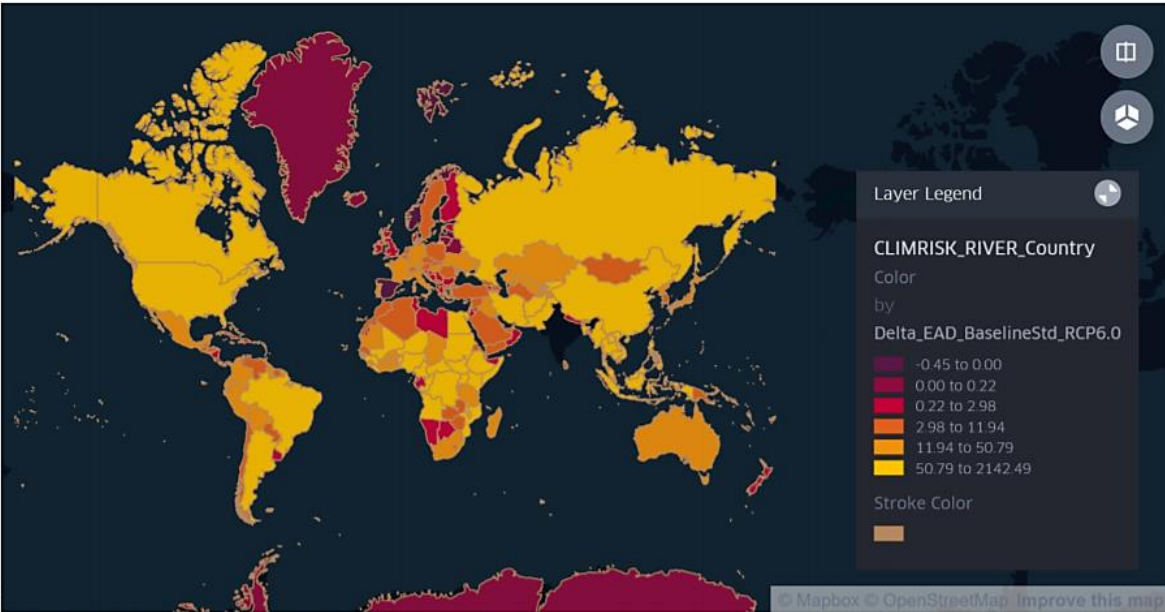
Agricultural crop model emulators

Percentage change in rainfed maize yields (2066-2099) RCP8.5



Estrada F., Botzen W.J.W., Calderón-Bustamante O., 2020. The Assessment of Impacts and Risks of Climate Change on Agriculture (AIRCCA) model: A tool for a rapid global risk assessment for crop yields at a spatially explicit scale. *Spatial Economic Analysis*.

9 crops, irrigated/rainfed, CO2 fertilization



CLIMRISK-RIVER: Accounting for local river flood risk in estimating the economic cost of climate change

Predrag Ignjacevic^{a,*,}, Wouter Botzen^{a, c,}, Francisco Estrada^{a, b,}, Onno Kuik^{a,}, Philip Ward^{a,}, Timothy Tiggeloven^a

[Show more](#)

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104784>

Under a Creative Commons license

Get rights and content

[open access](#)

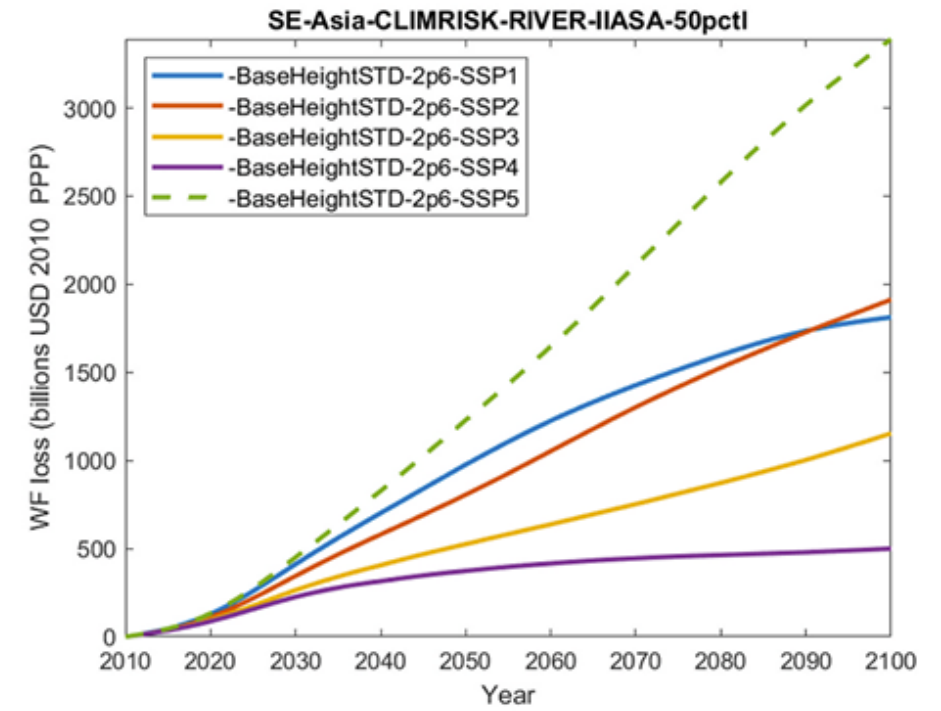
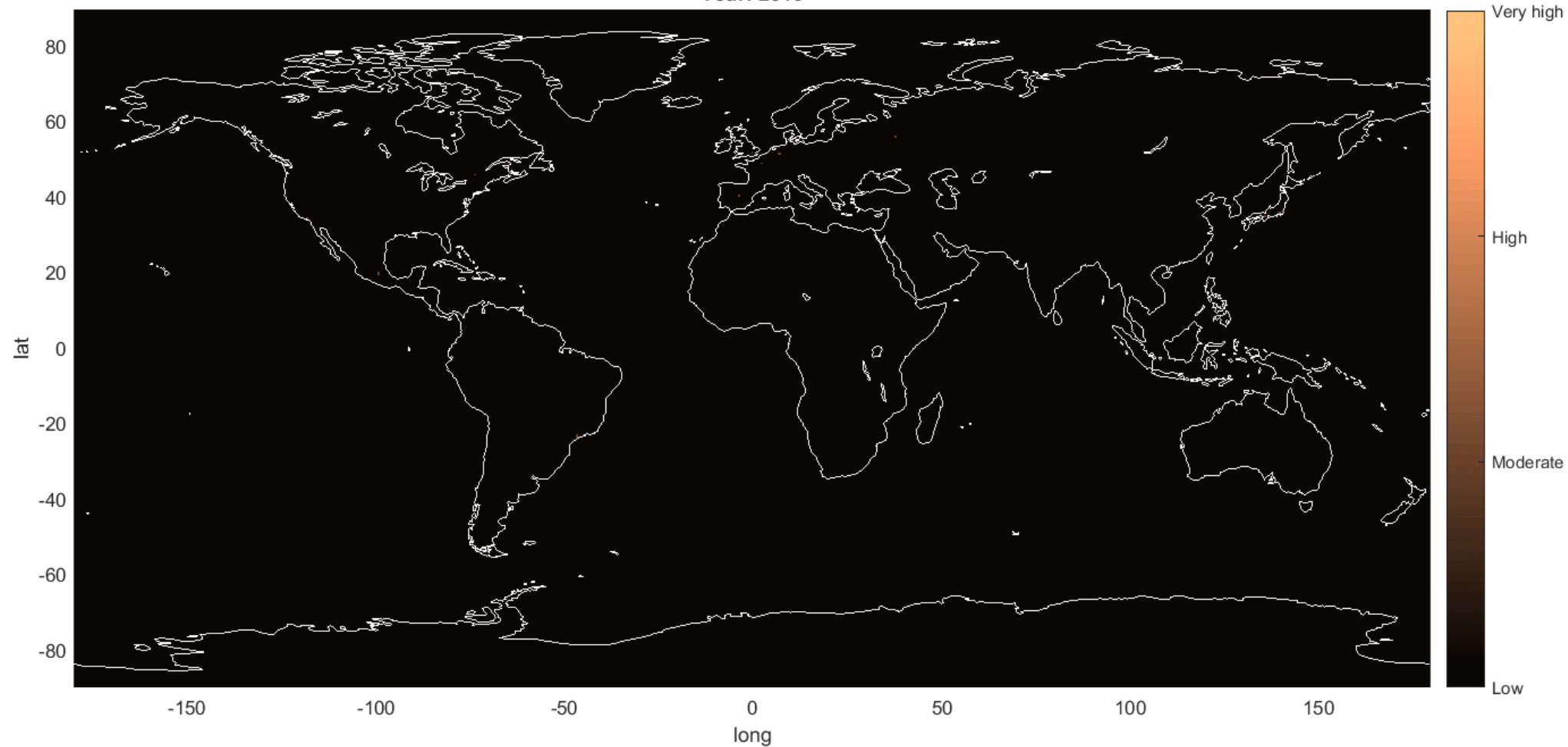


Figure 3.6: Discounted total ΔEAD in the world. The fill color represents the severity of damage under the *BaselineStd* flood protection assumption and RCP 6.0 climate scenario.

Multivariate risk index: 2.5°C, -10% PCP, 5% GDP, 1 billion US\$2005
CLIMRISK-RPU-RCP85-SSP5-OECD-50
Year: 2010



CLIMRISK:

Integrated Assessment
Model for Physical Risks

Thank you for your attention

feporrúa@atmosfera.unam.mx

Experiencia internacional en el uso del modelo ClimRisk



con dicho color son más frecuentes en la zona entre los trópicos. De acuerdo con la **Figura 4.2**, México enfrentaría significativas pérdidas económicas en buena parte de su territorio.

Incluso en un escenario con menor calentamiento global, las grandes concentraciones urbanas alcanzan pérdidas económicas significativas antes de la mitad del presente siglo, aunque en 2100 serían sensiblemente menores que las ocurridas en el escenario de inacción (**Figura 4.3**).

Los esfuerzos de mitigación realizados por los demás países participantes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se tornarían menos eficientes, ya que, para un mismo nivel de esfuerzo de mitigación, los beneficios (pérdidas evitadas) que se lograrían serían menores.

Un escenario de mitigación profunda que cumpliera con las metas del Acuerdo de París representaría importantes beneficios para México, en términos de pérdidas evitadas y reducción de riesgo. Un escenario que limitara el aumento en la temperatura global a alrededor de 1.5°C sobre su valor preindustrial, reduciría en 58% los costos económicos del cambio climático para México.

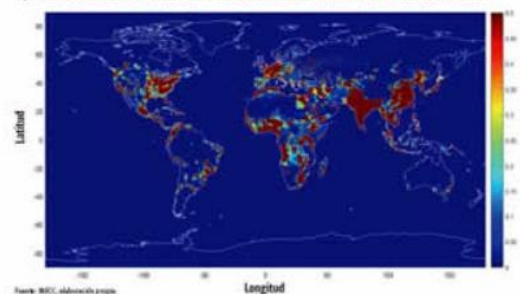
Aun en este escenario, los costos acumulados del cambio climático durante este siglo son considerables: el valor presente de los costos acumulados durante este siglo para México sería comparable a un rango de entre 19 y 70% del PIB nacional de 2015.

En este escenario, los umbrales climáticos de mayor riesgo para el país no se alcanzarían durante este siglo. Sin embargo, incluso en este escenario de mitigación profunda los costos netos son considerables y subrayan la necesidad de complementar las políticas de mitigación con estrategias de adaptación.

Los impactos económicos de cambio climático no se distribuirán de manera uniforme entre sectores ni en el interior de los mismos. Los impactos de cambio climático son muy heterogéneos y pueden representar costos o beneficios dentro de un mismo sector, así como implicar incrementos o reducciones de riesgo.

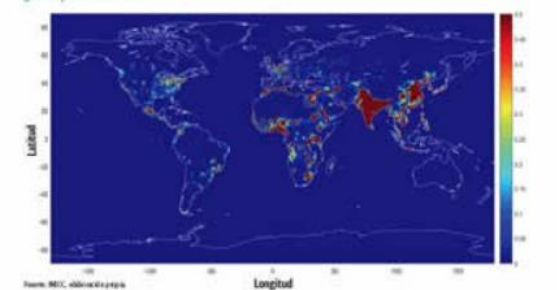
Para los sectores de agricultura, energía, salud y turismo, que se analizan en el presente capítulo, el cambio climático implica grandes costos económicos en la mayor parte de las entidades federativas. Además, se evalúa el costo asociado al riesgo derivado de un incremento de las inundaciones, tanto costeras (por elevación del nivel del mar) como fluviales (por desdibujamiento del cauce de ríos). Y se constata que, aun en los escenarios que contienen las metas de mitigación y adaptación más ambiciosas, los impactos residuales podrían ser muy altos.

Figura 4.2 Distribución de costos del cambio climático en escenario de inacción, año 2100



Fuente: INECC, elaboración propia.

Figura 4.3 Distribución de costos del cambio climático en un escenario de menor calentamiento global para el año 2100



Fuente: INECC, elaboración propia.

vales (por desdibujamiento del cauce de ríos). Y se constata que, aun en los escenarios que contienen las metas de mitigación y adaptación más ambiciosas, los impactos residuales podrían ser muy altos.

Los impactos económicos del cambio climático evaluados en este estudio agregan incertidumbre a la consecución de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el 2030. Por ejemplo, la atención del objetivo número 13, "Acción por el clima", requerirá de significativos montos de inversión tanto en proyectos de mitigación como de adaptación al cambio climático, cifras que, por lo menos en el caso de México, pueden dimensionarse a partir de este trabajo.

Impactos económicos del cambio climático en sectores prioritarios

Agricultura

Los costos del cambio climático en este sector serían comparables a la pérdida de un valor cercano

a dos años de la producción agrícola de 2010 en México.

En un escenario de inacción, el cambio climático puede reducir drásticamente la capacidad de producción agrícola en México y, con ello, imponer costos socioeconómicos considerables a las generaciones presentes y futuras.

Para los principales cultivos de México analizados (maíz, caña de azúcar, sorgo, trigo, arroz, soya), un escenario de inacción implica reducciones en sus rendimientos de entre 5 y 20% en las próximas dos décadas y de hasta 80% a finales del siglo para algunos cultivos y estados de la República.

A finales del siglo, los estados con mayor aptitud para producción de maíz de temporal (Jalisco, México, Nayarit, Morelos, Michoacán, Guerrero y Colima) podrían perder entre 30 y 40% de sus rendimientos si las negociaciones internacionales no son exitosas (**Figuras 4.4 y 4.5**).

Actualmente, 23 estados tienen rendimientos en producción de maíz de temporal por arriba de una tonelada por hectárea, para finales de siglo, únicamente 11 de ellos continuarán produciendo al menos una tonelada por hectárea.



 IVM Institute for
Environmental Studies



Wouter J.W. Botzen
Francisco Estrada Porrua
Predrag Ignjacevic
Onno Kuik
Max Tesselaar

^ Fondazione Centro Euro-Mediterraneo Sui Cambiamenti Climatici (FONDAZIONE CMCC), Italy (project coordinator)
^ Paul Watkiss Associates Ltd (PWA), United Kingdom
^ Internationales Institut fuer Angewandte Systemanalyse (IIASA), Austria
^ Universitaet Graz (UNI GRAZ), Austria
^ Stichting Vu (STICHTING VU), Netherlands
^ Ecologic Institut gemeinnützige GmbH (ECOLOGIC), Germany
^ Univerzita Karlova (CUNI), Czech Republic
^ PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Netherlands
^ Basque Centre for Climate Change - Klima Aldaketa Ikergai (BC3), Spain
^ Climate Analytics gemeinnützige GmbH (CA), Germany
^ Stichting Deltares (DELTAIRES), Netherlands
^ Global Climate Forum EV (GCF), Germany
^ Potsdam Institut fuer Klimafolgenforschung (PIK), Germany

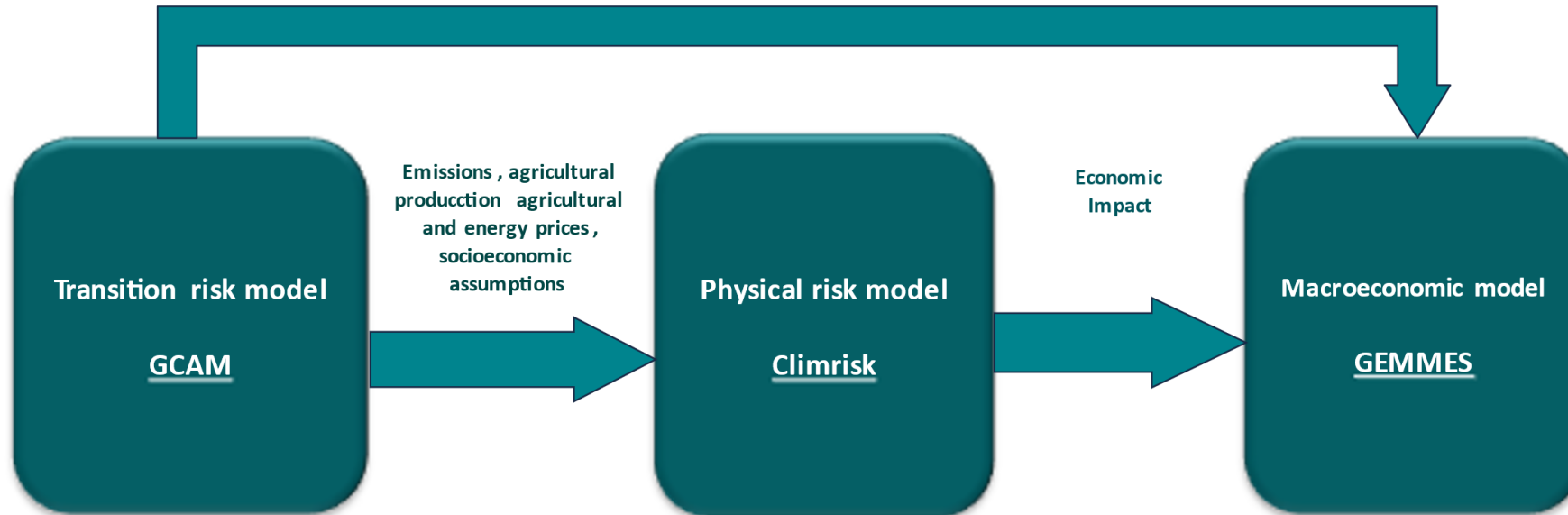
European Union's Horizon 2020 research and
innovation programme
14 European organizations

Model suite

Carbon shadow price, energy and agricultural sector

Calibration :

- Sistema de cuentas nacionales
- Balanza de pagos
- Remesas
- Impuestos
- Balances del sector bancario y del banco central



Output: Emisiones GEI por sector económico, precio sombra del carbono, producción y consumo de 9 energías, generación de electricidad por tecnología, costos y precios, servicios de transporte, energía utilizada por tecnología de transporte y combustible utilizado, uso de la tierra (ejem. biomasa, cereales, bosque), extracción y consumo de agua por sector y por cuenca hidrográfica, precios de agua and costos de agua por cuenca, entre otras.

Output: La vulnerabilidad, los impactos y los riesgos con una resolución espacial de unos 50km x 50km para todo el mundo. Combinando escenarios probabilísticos de cambio climático global con el calentamiento local en zonas urbanas producido por la **UHI** para generar estimaciones de los impactos económicos del cambio climático y medidas de riesgo dinámicas uni y multivariadas.

Output: Variables macroeconómicas, como reservas, tipos de cambio nominales/reales, cotizaciones sociales, prestaciones, deuda de los hogares, déficit y deuda pública, PIB, balanza de cuenta corriente, posición de reserva bruta/neta en divisas, inversión internacional, desempleo, entre otras.



Putting developing countries at the centre of the SRM conversation

Socio-Political Fund Research Planning Workshop 2024

Assessing the economic risks and benefits for Latin America of an implementation of SRM options as a response to international climate policy failure

Publications related to CLIMRISK

- Estrada F., et al. 2024. Assessing the physical risks of climate change for the financial sector: a case study from Mexico's Central Bank. Submitted Ecological Economics.
- Estrada F., Lupi V., Botzen W.J.W, Tol R.S.J., 2024. Urban and non-urban contributions to the global and regional social cost of carbon. Working paper.
- Estrada F., Botzen W.J.W., 2024. The societal costs of financing economic growth through greenhouse gas emissions. Working paper.
- Estrada F., Botzen W.J.W., Tol R.S.J., 2023. Economic consequences of the spatial variation and temporal variability of climate change. *Nature Communications* (in review) .
- Estrada, F., Mendoza-Ponce, A., Murray, G., Calderón-Bustamante, O., Botzen, W., De León Escobedo, T., Velasco, J. A. 2023. Model emulators for the assessment of regional impacts and risks of climate change: A case study of rainfed maize production in Mexico. *Front. Environ. Sci.* 11, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1027545>
- Estrada, F., Calderón-Bustamante, O., Botzen, W., Velasco, J. A., Tol, R. S., 2022. AIRCC-Clim: a user-friendly tool for generating regional probabilistic climate change scenarios and risk measures. *Environmental Modelling & Software*, 157, 105528.
- Estrada F., Botzen W.J.W., 2021. Economic impacts and risks of climate change under failure and success of the Paris Agreement. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* <https://doi.org/10.1111/nyas.14652>
- Estrada F., Botzen W.J.W., Tol R.S.J., 2017. A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change* 7, 403–406. doi:10.1038/nclimate3301.
- Ignjacevic P., Estrada F., Botzen W.J.W., 2021. Time of emergence of economic impacts of climate change. *Environmental Research Letters* 16 074039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0d7a>
- Ignjacevic P., Botzen W.J.W., Estrada F., Kuik O., Ward P., Tiggeloven T., 2020. CLIMRISK-RIVER: Accounting for Local River Flood Risk in Estimating the Economic Cost of Climate Change. *Environmental Modelling and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104784>.
- Estrada F., Botzen W.J.W., Calderón-Bustamante O., 2020. The Assessment of Impacts and Risks of Climate Change on Agriculture (AIRCCA) model: A tool for a rapid global risk assessment for crop yields at a spatially explicit scale. *Spatial Economic Analysis*, doi: 10.1080/17421772.2020.1754448.
- Estrada F., Tol R.S.J., Botzen W.J.W., 2019. Extending integrated assessment models' impact functions to include adaptation and dynamic sensitivity. *Environmental Modelling and Software*, 121, [104504]. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104504>.
- Estrada, F., Tol, R.S.J., & Gay-García, C., 2015. The persistence of shocks in GDP and the estimation of the potential economic costs of climate change. *Environmental Modelling and Software*, 69:155-165.
- Estrada F. & Tol R.S.J., 2015. Towards Impact Functions for Stochastic Climate Change. *Climate Change Economics* 06, 1550015 DOI: 10.1142/S2010007815500153