

S. Herrando-Moraira<sup>1</sup>, N. Nualart<sup>1</sup>, M. Galbany-Casals<sup>2</sup>, N. Garcia-Jacas<sup>1</sup>, H. Ohashi<sup>3</sup>, T. Matsui<sup>3,4</sup>, A. Susanna<sup>1</sup>, C.Q. Tang<sup>5</sup> & J. López-Pujol<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Botànic de Barcelona (IBB, CSIC-Ajuntament de Barcelona); <sup>2</sup>Sistemática y evolución de plantas vasculares (UAB) – Unidad asociada al CSIC, Universitat Autònoma de Barcelona; <sup>3</sup>Forest Research and Management Organization (Japan); <sup>4</sup>University of Tsukuba (Japan); <sup>5</sup>Yunnan University (China)

## MOTIVACIÓN

- La **variación climática** a largo plazo ha tenido un gran impacto en la evolución de la biodiversidad. Por ejemplo, la inestabilidad climática derivada de los ciclos glaciales/interglaciales del Pleistoceno desencadenó grandes episodios de diversificación; por el contrario, las regiones con climas relativamente estables a menudo han actuado como “museos” (lugares donde ha dominado la supervivencia de linajes antiguos).
- El **calentamiento global**, sin embargo, provocará cambios todavía más profundos en la biodiversidad en muy poco tiempo, consecuencia del aumento de las tasas de extinción y migración además de la pérdida de potencial evolutivo.
- El **mapeo de las zonas climáticamente estables e inestables** de la Tierra podría mejorar nuestra comprensión de la distribución y evolución de la biodiversidad. Puesto que el clima cambiará de forma drástica durante las próximas décadas, esta cartografía además podría tener aplicaciones en campos tan diversos como la agricultura, la economía, las políticas migratorias y la salud pública.

## ANTERIORES PROPUESTAS

La cartografía de la estabilidad climática no es nueva. Existen dos propuestas publicadas en los últimos años a escala planetaria:

- ❖ **StableClim** de Brown *et al.* (2020), *Sci. Data* 7, 335.
- ❖ **Map of climate stability (MCS)** de Fordham *et al.* (2019), *Curr. Biol.* 29, R356–R357.

Comparten, no obstante, una serie de **limitaciones**:

- Cobertura temporal limitada** (*StableClim*, 21.000 BP–2100 CE; *MCS*, 21.000 BP–100 BP).
  - ⇒ No sirven para investigar el papel de la estabilidad climática en los procesos de evolución y especiación (habitualmente necesitan millones de años).
- Resolución espacial insuficiente** (celdas de 2,5°, ca. 278 km en el ecuador).
  - ⇒ No permiten trabajar a escalas locales y regionales.
- Utilizan muy pocas variables** (temperatura media anual en *StableClim*, temperaturas y precipitaciones medias mensuales en *MCS*).
  - ⇒ Los valores extremos, los rangos de valores y la estacionalidad no están representados.

## ¿QUÉ PROPONEMOS?

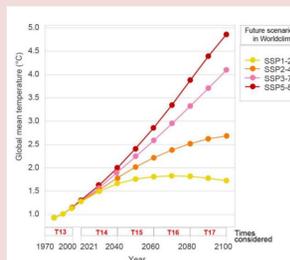
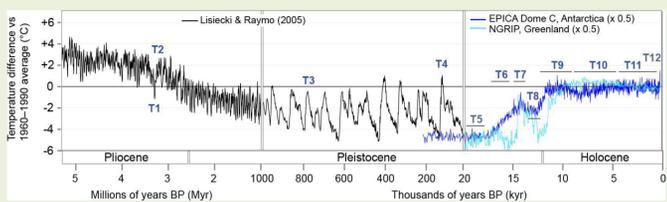
Mapas basados en un nuevo **Índice de Estabilidad Climática (Climate Stability Index, CSI)**, con estas características:

- Abarcan **2 escalas temporales**.
- Se utilizan las **19 variables bioclimáticas** estándares de WorldClim.
- Como parámetro para medir la estabilidad se utiliza la **desviación estándar (SD)**.
- Los mapas se presentan con una resolución de malla muy fina (**2,5 arc-min**, aprox. 5 km).
- Los mapas son **descargables** como capas ráster y **personalizables** para cada usuario (el CSI se puede calcular de acuerdo con los criterios y objetivos particulares de cada investigador).

## ESCALAS TEMPORALES

**CSI PASADO:** variación climática a lo largo de 12 períodos de tiempo de PALEOCLIM, (<http://www.paleoclim.org/>) entre **3,3 Ma** y el presente.

**CSI FUTURO:** variación a lo largo de 5 períodos entre el presente y el año **2100**, con los 9 GCMs de WORLDCLIM v.2 (<https://www.worldclim.org/>) y para 4 escenarios de SSP.



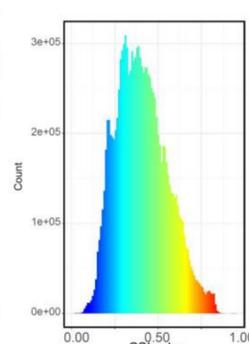
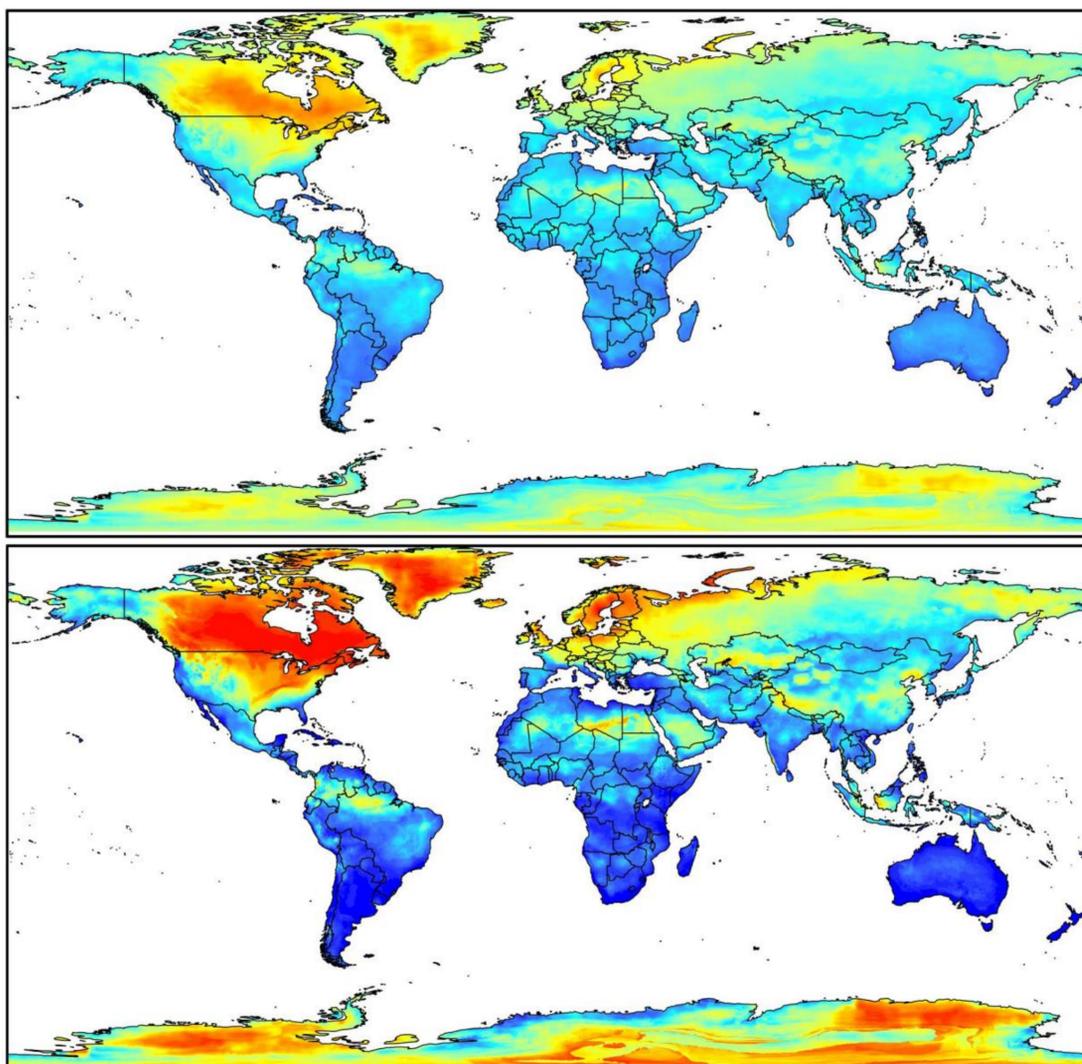
## METODOLOGÍA Y VALIDACIÓN

Se han realizado diferentes opciones posibles de cálculo de CSI, tanto respecto a parámetros (media vs. mediana, SD vs. rango) como a umbral de correlación ( $r > 0,7, 0,8, 0,9$ ) con **resultados prácticamente idénticos**. Las métricas seleccionadas son: desviación estándar (SD), mediana y umbral de correlación de  $r > 0,8$ . **Todos los detalles metodológicos pueden consultarse en el artículo.**

## CARTOGRAFÍA CON EL ÍNDICE CSI

Presentamos los mapas CSI de dos formas diferentes: **(1)** definiendo **intervalos iguales** y **(2)** definiendo 32 **intervalos diferentes**; estos intervalos se definen de acuerdo con los histogramas de valores, para resaltar mejor las áreas estables (en colores fríos) de las inestables (colores cálidos).

### CSI Pasado (3,3 Ma–Presente)

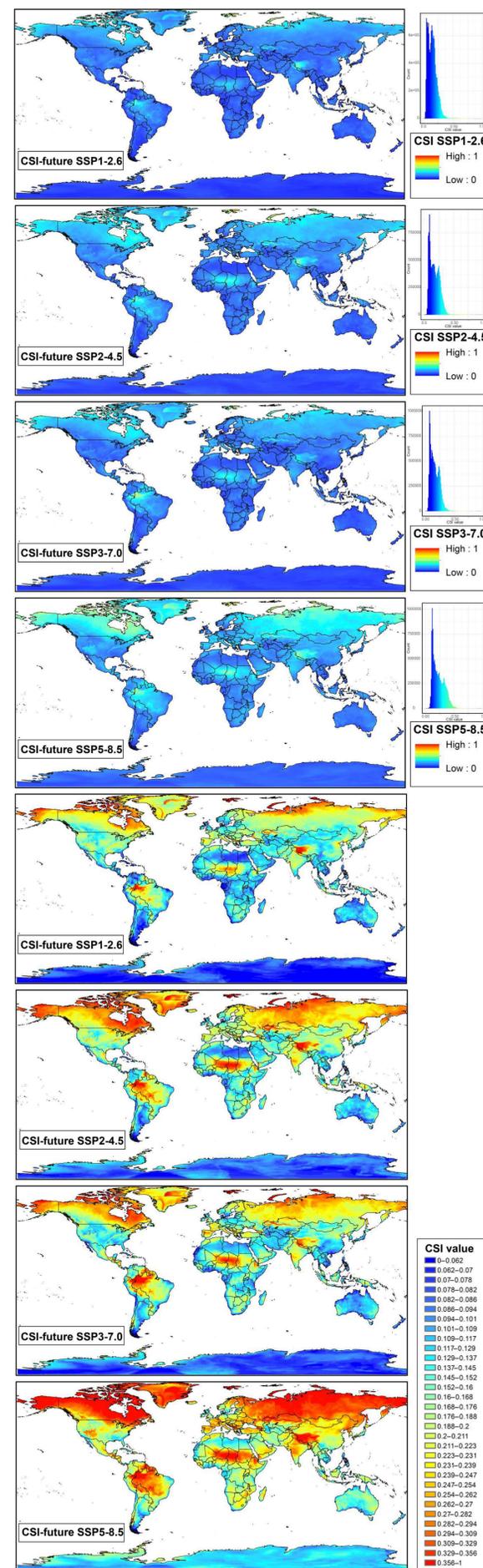


**CSI-past**  
High : 1  
Low : 0

**CSI-past**

0.00–0.17	0.41–0.42
0.17–0.19	0.42–0.44
0.19–0.21	0.44–0.45
0.21–0.23	0.45–0.47
0.23–0.25	0.47–0.48
0.25–0.27	0.48–0.5
0.27–0.28	0.50–0.52
0.28–0.30	0.52–0.53
0.30–0.31	0.53–0.55
0.31–0.33	0.55–0.57
0.33–0.34	0.57–0.59
0.34–0.35	0.59–0.62
0.35–0.37	0.62–0.64
0.37–0.38	0.64–0.67
0.38–0.40	0.67–0.73
0.40–0.41	0.73–1.00

### CSI Futuro (Presente–año 2100)



**CSI value**

0–0.062
0.062–0.07
0.07–0.078
0.078–0.086
0.086–0.094
0.094–0.101
0.101–0.109
0.109–0.117
0.117–0.129
0.129–0.137
0.137–0.145
0.145–0.152
0.152–0.16
0.16–0.168
0.168–0.176
0.176–0.188
0.188–0.2
0.2–0.211
0.211–0.223
0.223–0.231
0.231–0.239
0.239–0.247
0.247–0.254
0.254–0.262
0.262–0.27
0.27–0.282
0.282–0.294
0.294–0.309
0.309–0.329
0.329–0.356
0.356–1



Trabajo publicado en la revista *Scientific Data* y disponible en línea

Estudio financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyectos CGL2015-66703-P MINECO/FEDER, PID2019-105583GB-C21/AEI/10.13039/501100011033 y PID2020-119163GB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, y la beca de doctorado a S.H.M por el proyecto CGL2015-66703-P) y por la Generalitat de Catalunya (Ajuts a grups consolidats 2017-SGR1116)