

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

IV Programa de Investigadores Ambientales

**Curso: De la idea a la publicación científica: investigación,
escritura y análisis para comunicar ciencia ambiental**

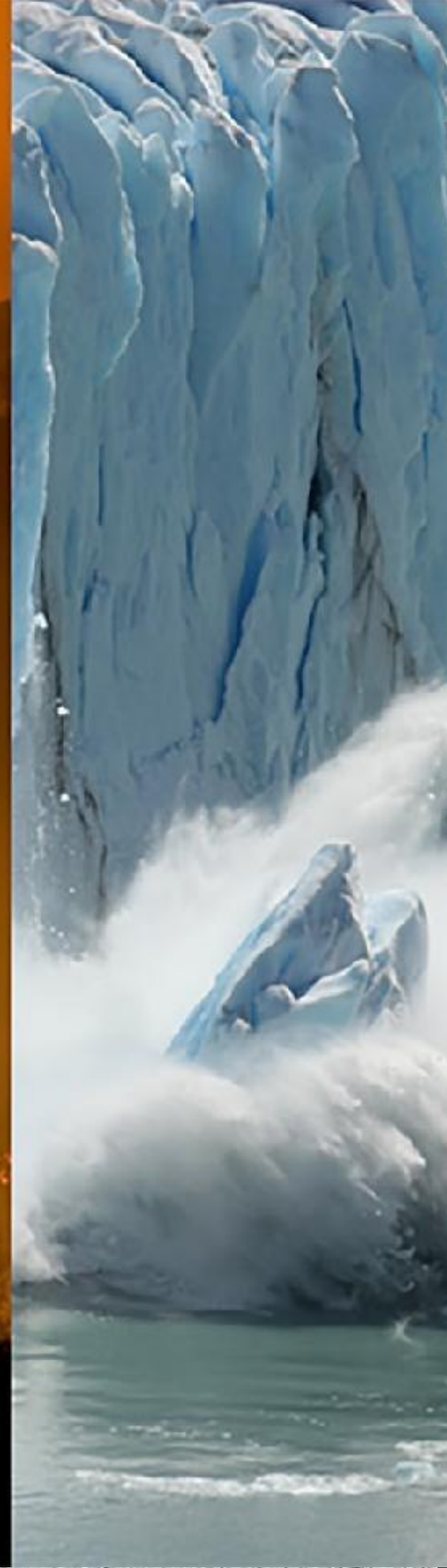
**Cambio climático al 2050 en el Perú: análisis y
visualización de datos con Python**



Ing. Jhonatan Bruno Ramirez

Subdirección de Cambio Climático y Modelamiento

Atmósferico
Setiembre 2026



VARIABILIDAD CLIMÁTICA ≠ CAMBIO CLIMÁTICO ≠ CALENTAMIENTO GLOBAL

Conceptos relacionados, pero con significados diferentes

1 VARIABILIDAD CLIMÁTICA



Variaciones naturales del clima en distintas escalas de tiempo y espacio, debido a procesos naturales internos del sistema climático o a forzamientos externos de origen natural.



Años secos y lluviosos



Periodos cálidos y fríos



El Niño / La Niña

2 CAMBIO CLIMÁTICO



Cambio persistente del estado del clima durante décadas o más, debido a causas naturales y, especialmente en el cambio reciente, a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera.



Cambios en temperatura



Cambios en precipitación



Cambios en eventos extremos

3 CALENTAMIENTO GLOBAL



Aumento a largo plazo de la temperatura media de la superficie terrestre, principalmente por el incremento de gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas.



Mayor temperatura media global



Emisiones antropogénicas de GEI



Mayor efecto invernadero



La **variabilidad** explica las fluctuaciones del clima;
el **cambio climático** modifica las condiciones de fondo a largo plazo;
y el **calentamiento global** es una de sus principales manifestaciones.



Fluctuaciones naturales



Cambio a largo plazo



Aumento de la temperatura global

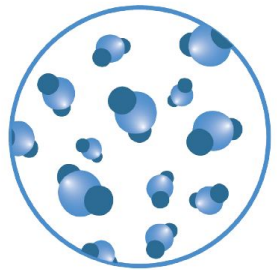


Fuente: IPCC, Sexto Informe de Evaluación (AR6) – Grupo de Trabajo I, 2021–2023

Cambio climático a gran escala

1.1 Estado cambiante del **sistema climático**, muestra que:

Concentración de CO₂



La más alta en 2 millones de años

Aumento del nivel del mar



Ritmo más rápido en al menos 3000 años

Área de hielo marino



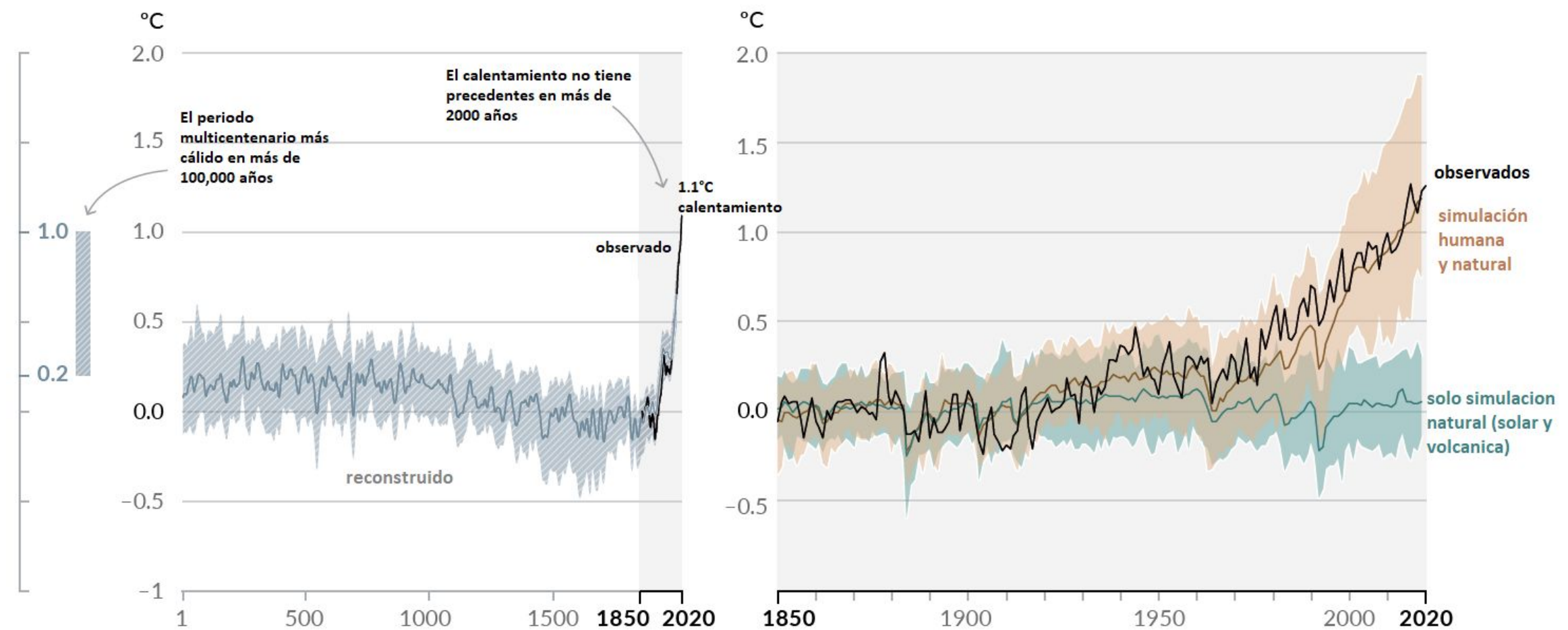
Nivel más bajo en al menos 1000 años

Retroceso de glaciares



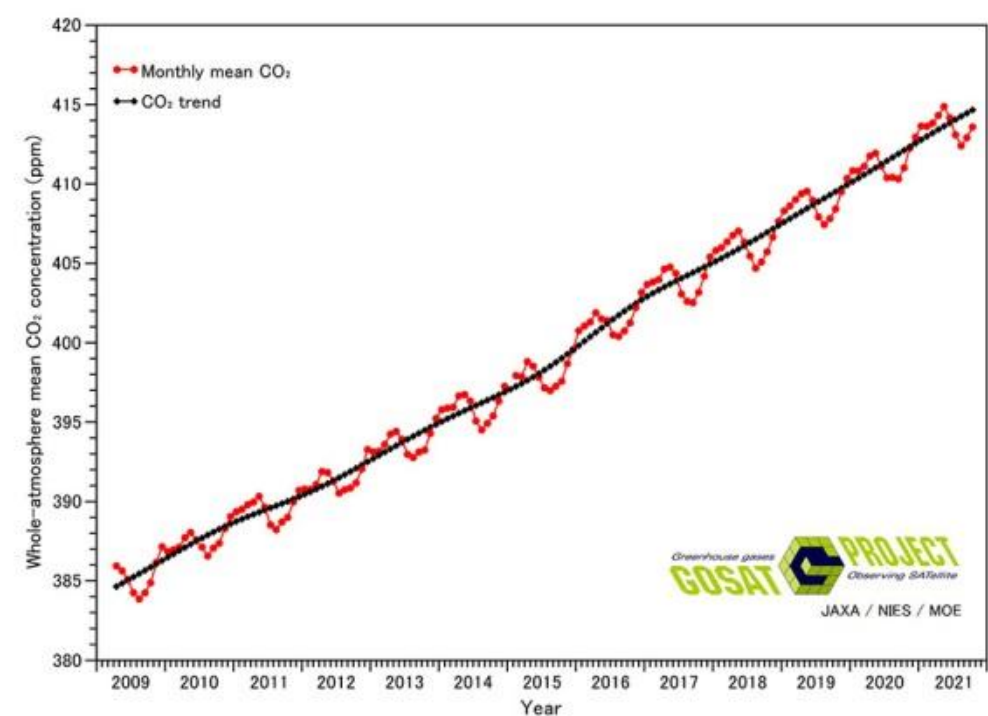
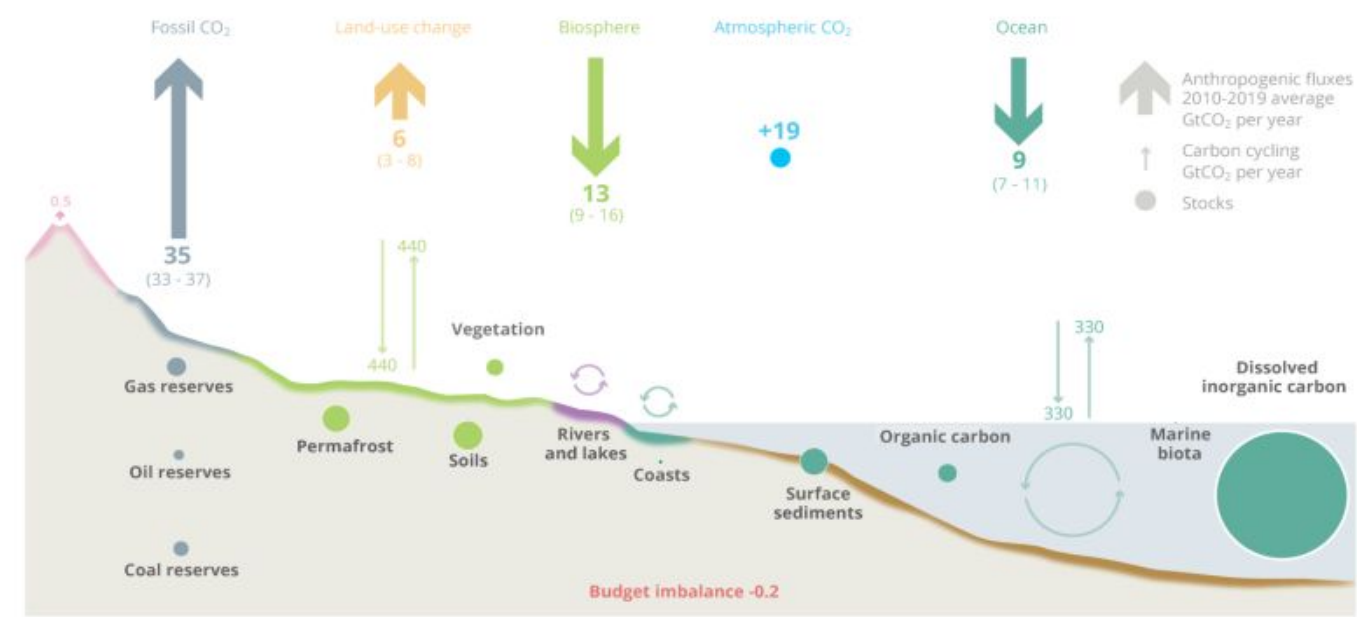
Sin precedentes en al menos 1000 años

1.2 La **influencia humana** ha calentado el clima en los últimos 2000 años y los cambios en la temperatura global de la superficie con respecto a 1850-1900 aumentaron.



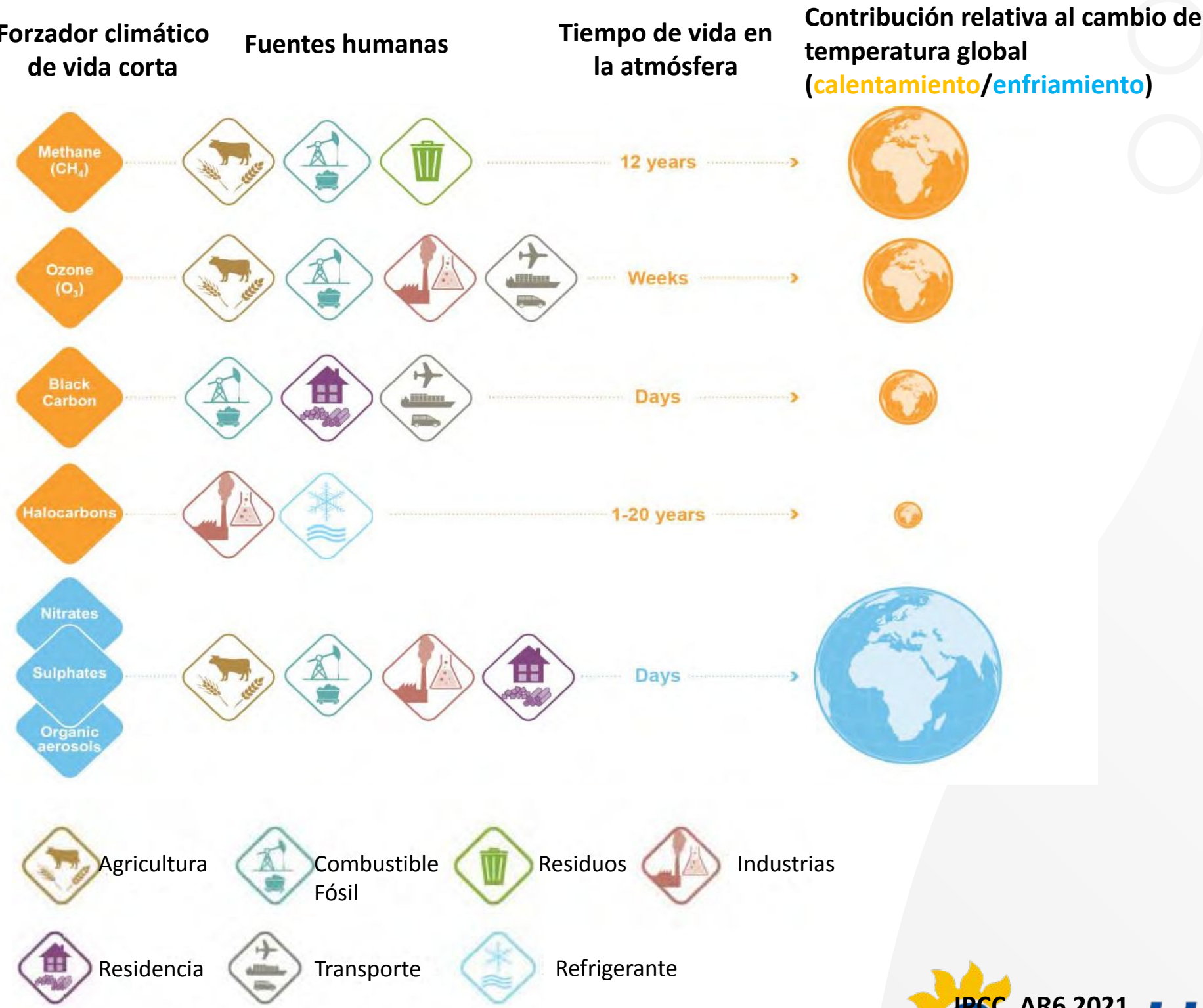
2. Procesos climáticos

2.1 Aumento del dióxido de carbono, muestra que hay una mayor emisión de la que es absorbida:



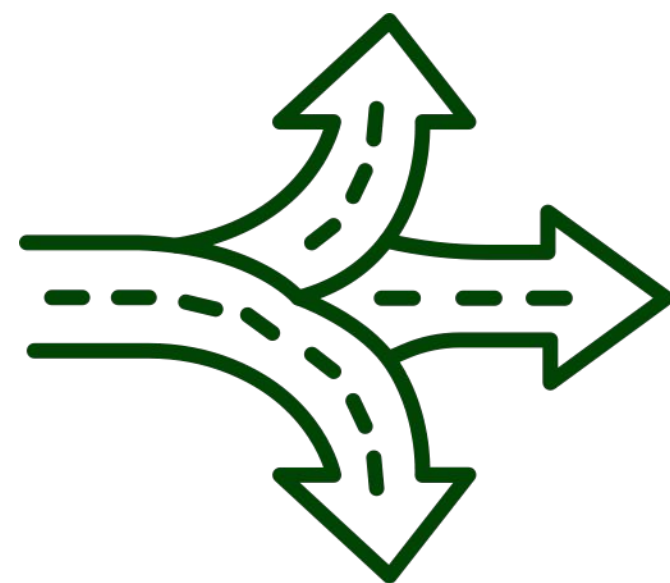
GOSAT, 2021

2.2 Forzadores climáticos de vida cortas, fuentes y tiempo que permanecen:





RUTAS DEL **CAMBIO** CLIMÁTICO



Ruta verde o sostenible, de muy baja emisión de contaminantes.

SSP1-1.9

Ruta intermedia, la emisión de contaminantes se reduce un poco.

SSP2-4.5

Ruta pesimista, de mucho consumo. Las emisiones son muy altas.

SSP5-8.5

3. Información climática regional

3.1 Cambios en los océanos, la criósfera y el nivel del mar:



Aumento de la temperatura del océano

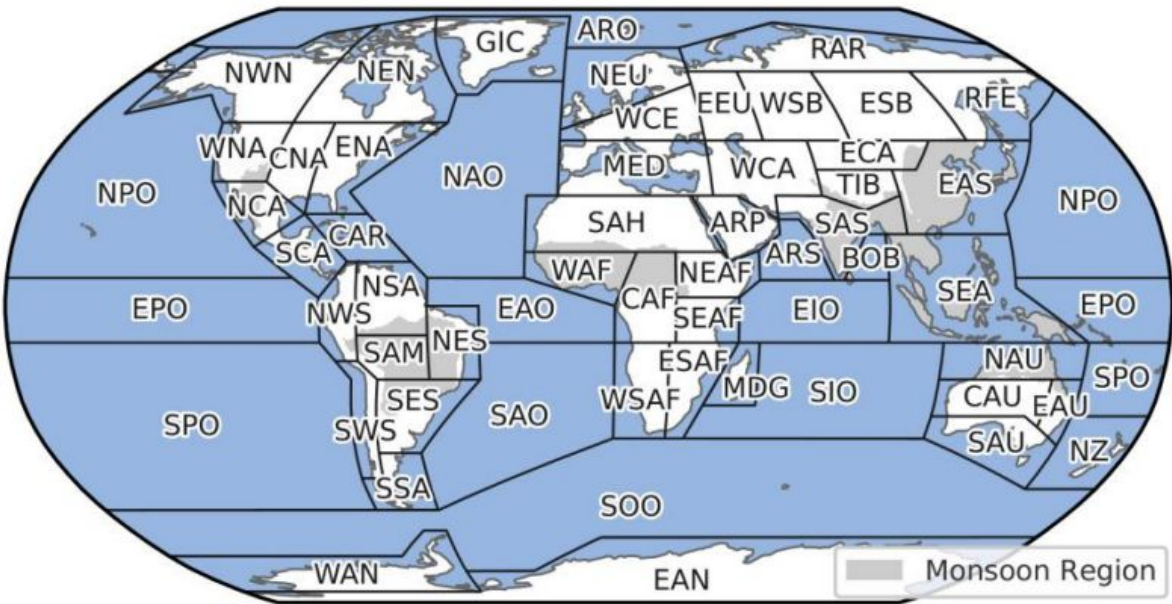


Derretimiento de la capa de hielo



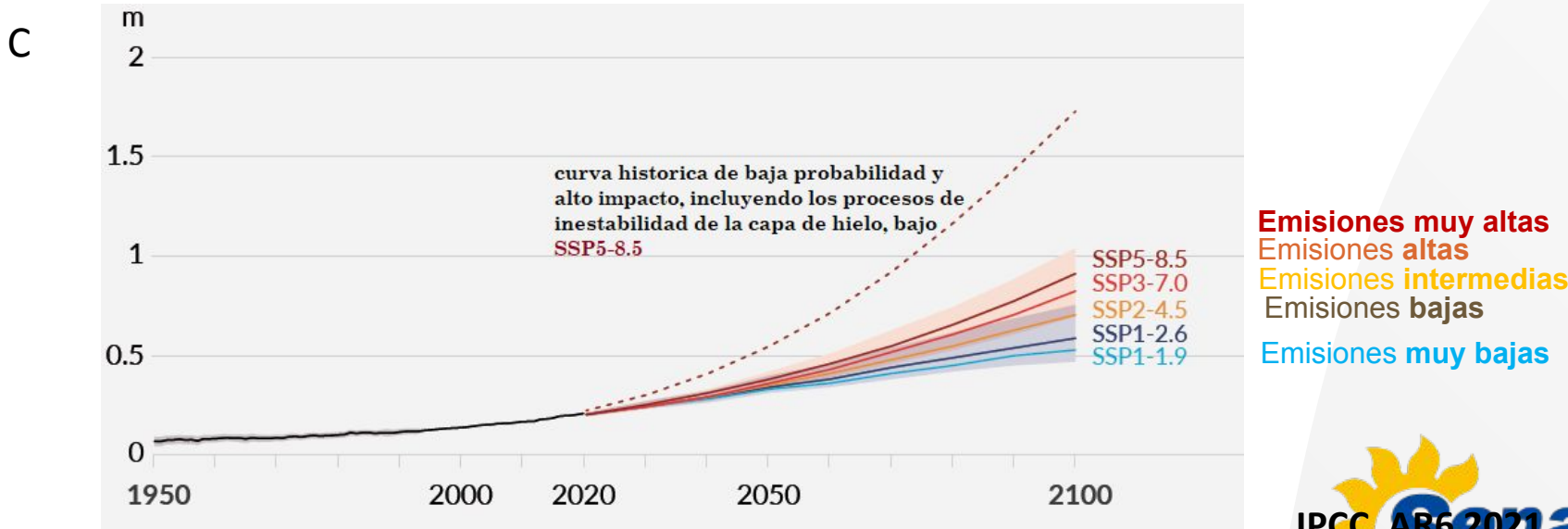
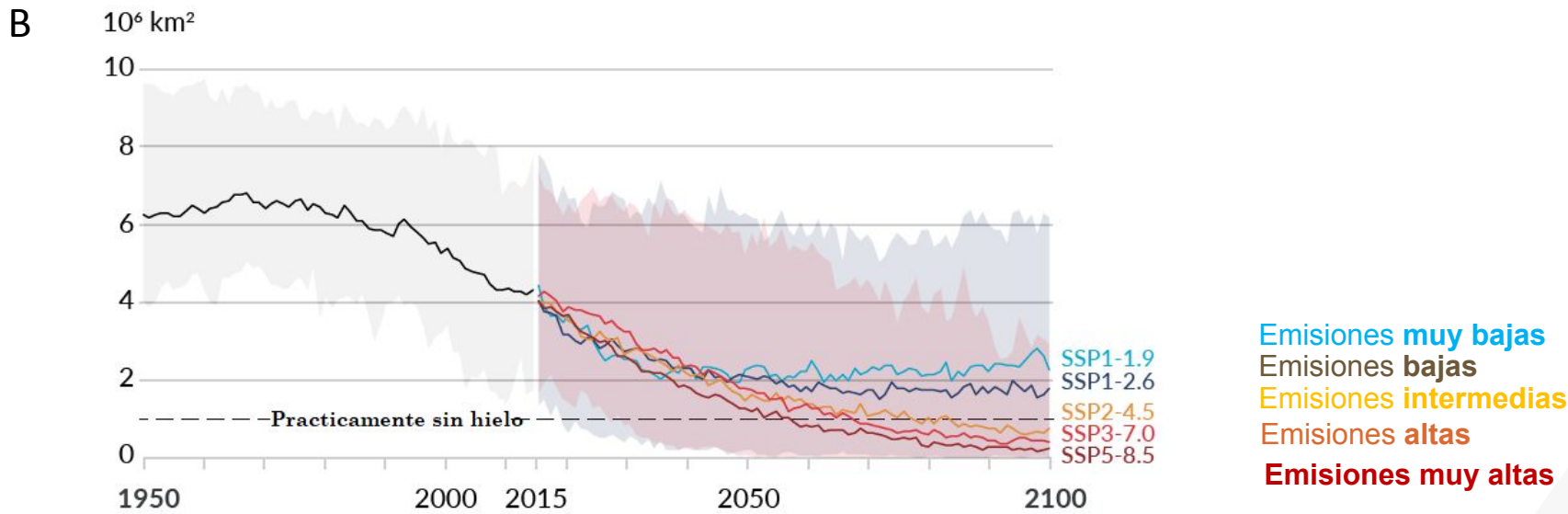
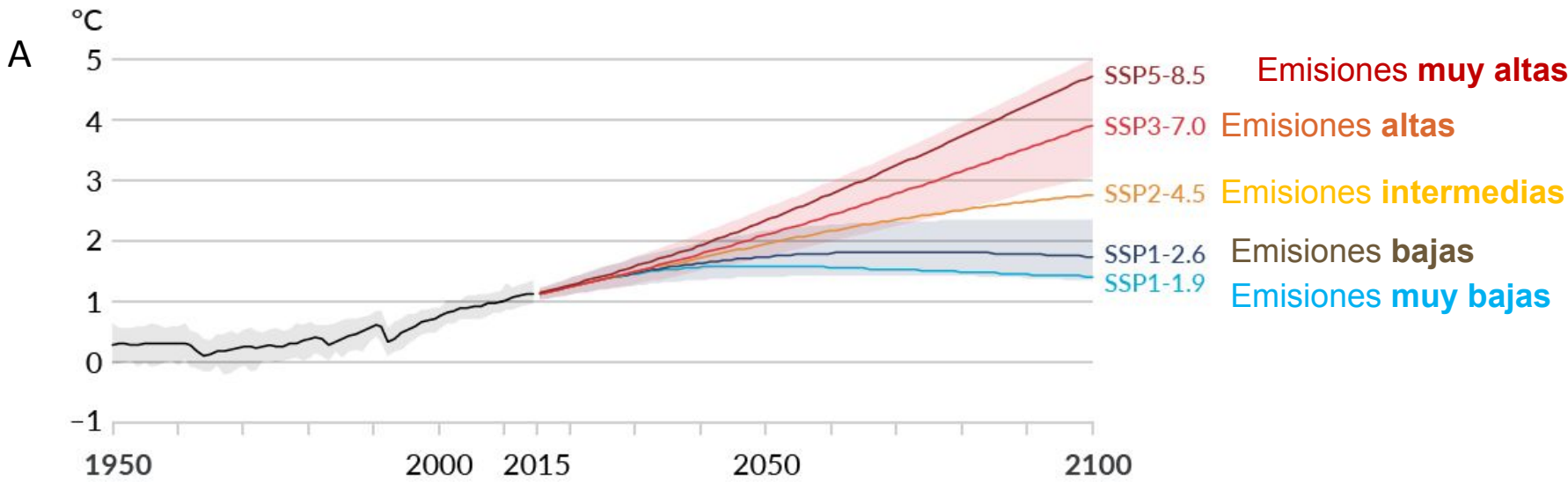
Aumento del nivel del mar

- Africa
- Asia
- Australasia
- Central and South America
- Europe
- Mountains
- North and Central America
- Ocean
- Polar regions
- Small Islands
- Urban areas



IPCC, AR6 SLIDES

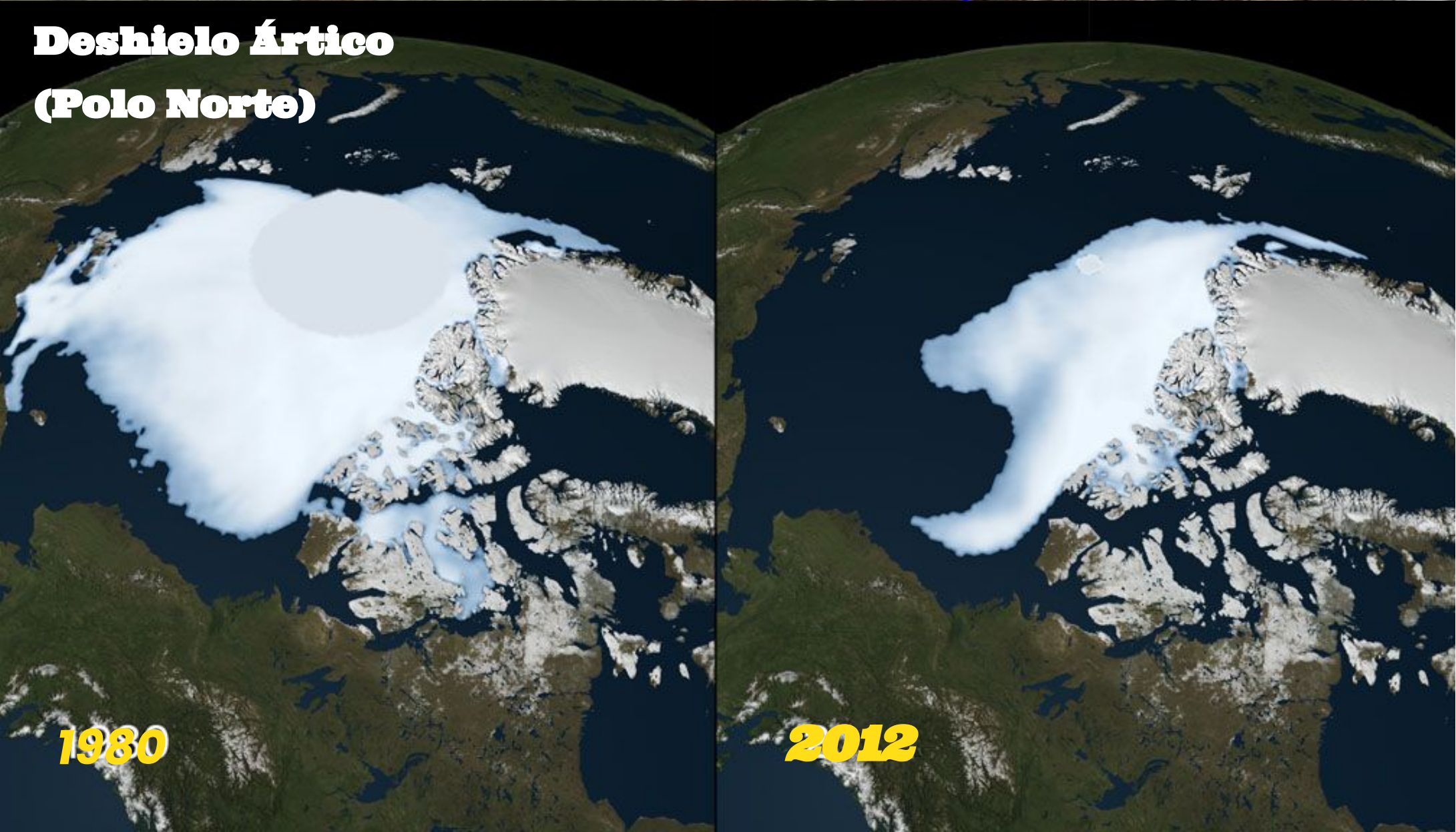
Cambio de la temperatura global de la superficie(A) y perdida de hielo marino (B) Cambio del nivel medio del mar (C),



**Glaciar Quelccaya
(Cuzco)**



**Deshielo Ártico
(Polo Norte)**



**EXISTE EVIDENCIAS INDISCUTIBLES DE QUE LA TIERRA SE
ESTA CALENTANDO DE FORMA ACELERADA.**

(IPCC)

Análisis de riesgos climáticos



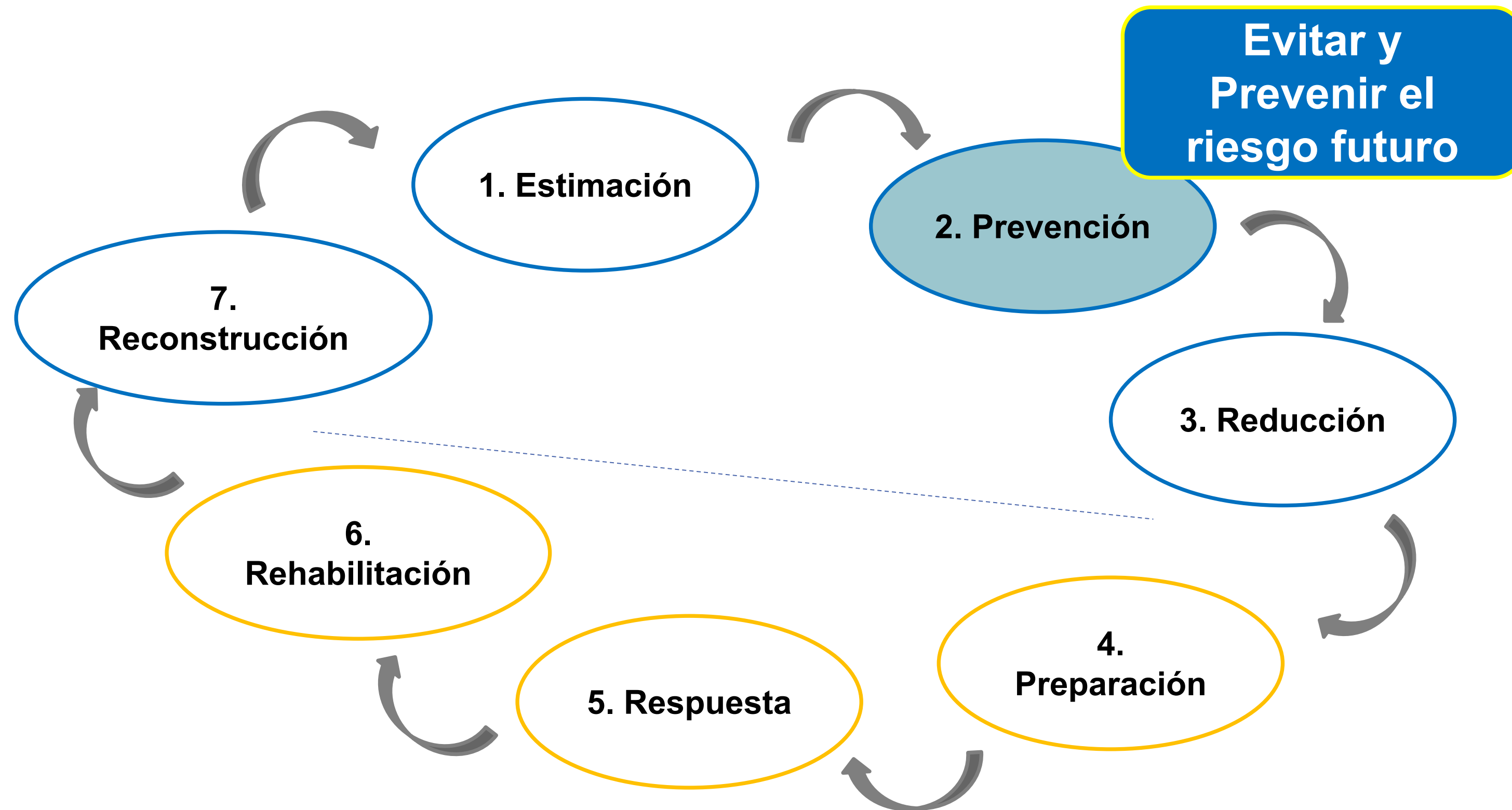
PELIGROS

RIESGOS
CLIMÁTICOS

VULNERABILIDAD

EXPOSICIÓN

PROCESOS DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES



GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ



Los escenarios de cambio climático permiten proyectar el clima futuro para apoyar la toma de decisiones y la planificación de la adaptación en el Perú.

LÍNEA DE TIEMPO

- Escenarios cuenca / regionales
- Comunicaciones nacionales



Estos **escenarios y comunicaciones** han evolucionado en el tiempo, con mayor detalle espacial y mejores herramientas, para comprender mejor el clima futuro y fortalecer la adaptación al cambio climático en el Perú.



Mayor detalle espacial



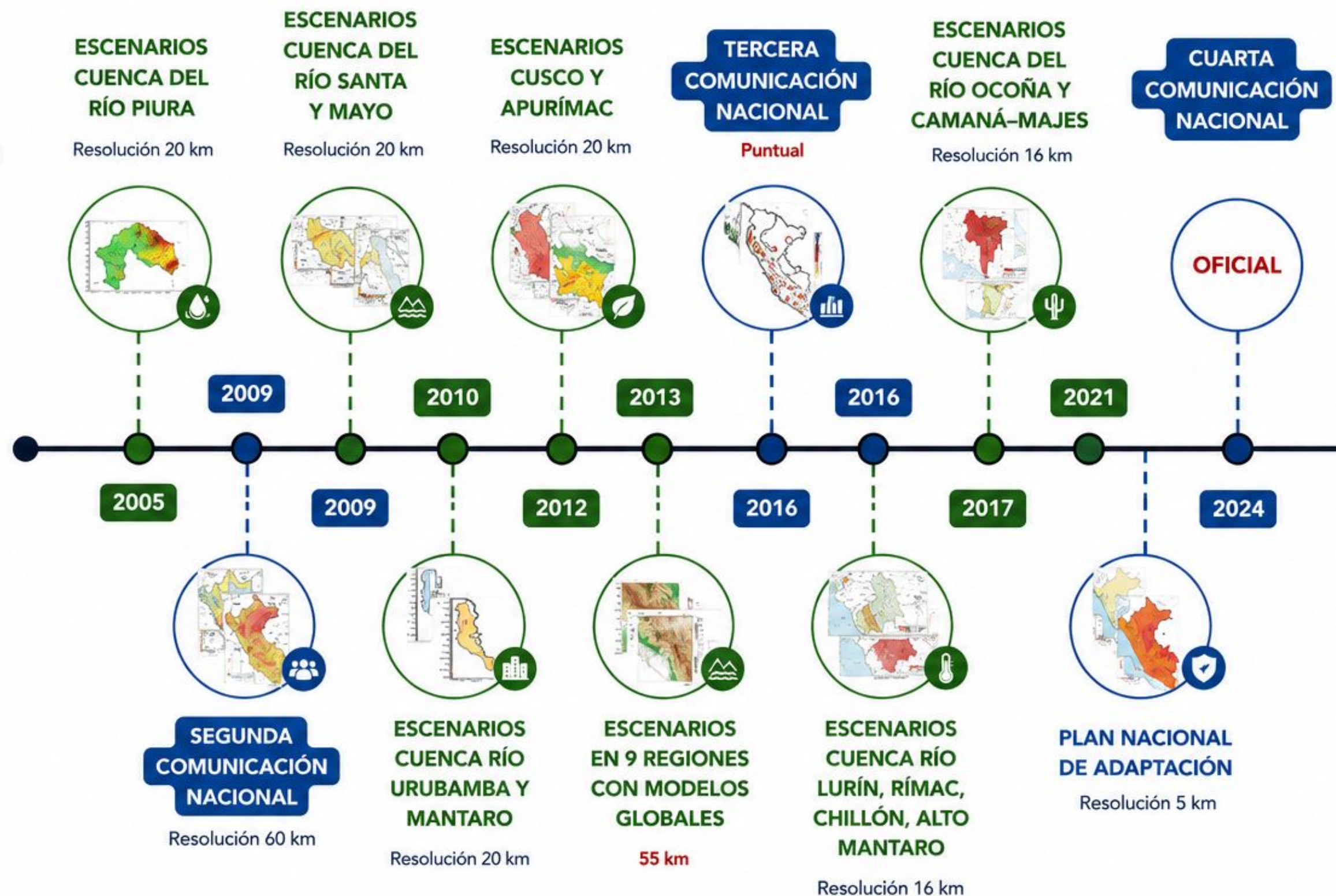
Mejores datos y modelos

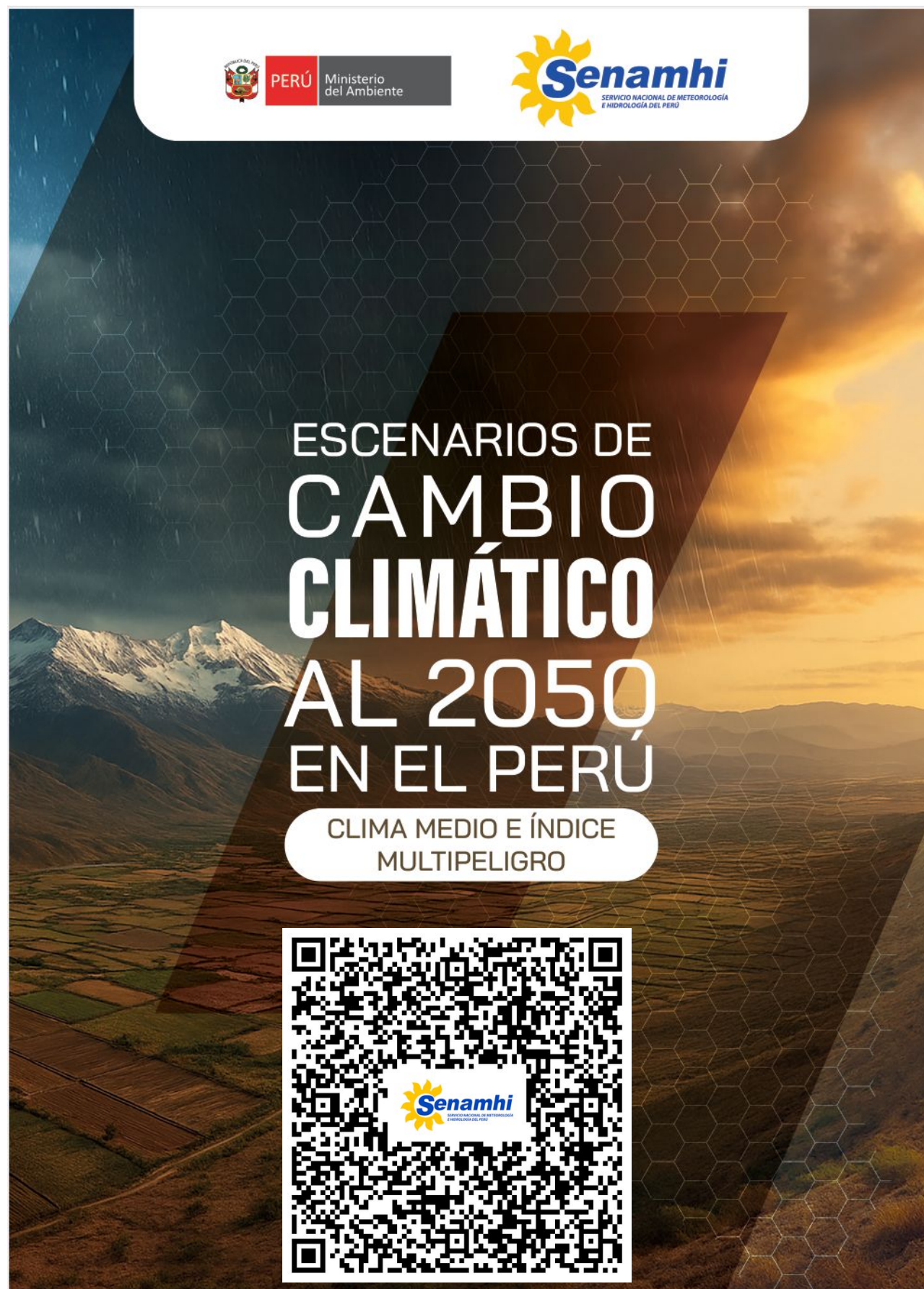


Información para la toma de decisiones

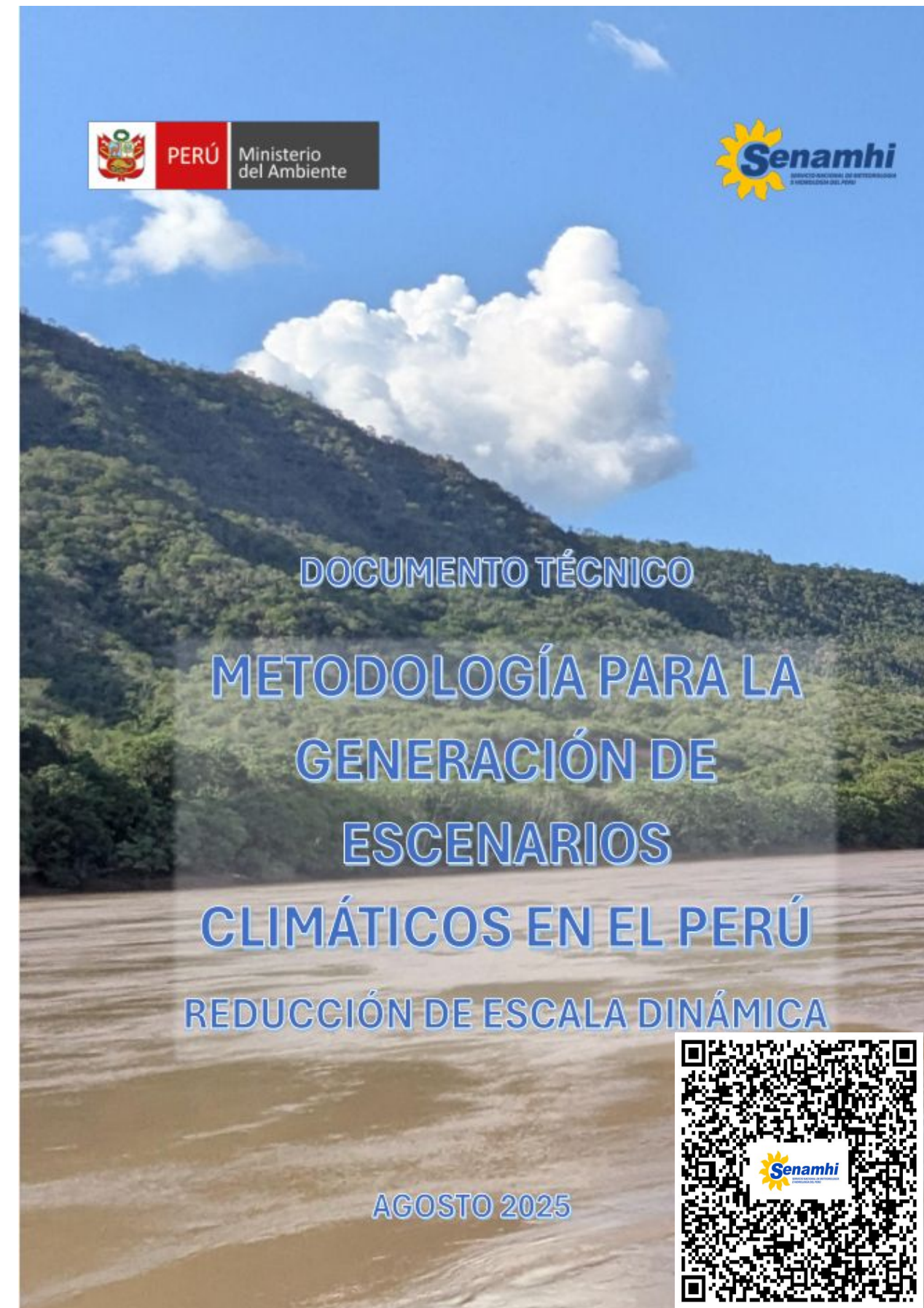


Fortalecimiento de la adaptación





<https://hdl.handle.net/20.500.12542/399>



<https://hdl.handle.net/20.500.12542/4430>

Lineamientos que orientan la aplicación de escenarios climáticos

 Firmado digitalmente por BARRON LOPEZ Jose Percy FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 19:28:43 -05:00	 RESOLUCIÓN DE PRESIDENCIA EJECUTIVA N° 050-2020-SENAMHI/PREJ	
 Firmado digitalmente por TACAVIDA GUEVARA Ken FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 20:40:33 -05:00	Lima, 21 de julio de 2020	
	VISTA:	
	La Nota de Elevación N° D000119-2020-SENAMHI-DMA de fecha 17 de julio de 2020, de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, y;	 Firmado digitalmente por BARRON LOPEZ Jose Percy FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 19:58:07 -05:00
	CONSIDERANDO:	
 Firmado digitalmente por GARCIA TALAUEZ Lidier Luis FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 17:52:36 -05:00	Que, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, es un Organismo Público Ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, con personería jurídica de derecho público interno y autonomía técnica, administrativa y económica, dentro de los límites del ordenamiento legal del Sector Público;	
 Firmado digitalmente por ROSAS BENANCOS Gabriela Teofila FAU 20131366028 hard Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 10:14:35 -05:00	Que, mediante Resolución Legislativa N° 26185, el Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y suscrita por el Perú en Río de Janeiro el 12 de junio de 1992, la cual tiene como objetivo último la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático;	
 Firmado digitalmente por ROSAS BENANCOS Gabriela Teofila FAU 20131366028 hard Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 10:15:01 -05:00	Que, la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, tiene por objeto establecer los principios, enfoques y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, ejecutar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión integral, participativa y transparente de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el Estado ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con enfoque intergeneracional;	
 Firmado digitalmente por FELPE BANCOS Oscar Gustavo FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 15:44:18 -05:00	Que, el numeral 2) del artículo 9 del Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM, señala que son funciones de las autoridades sectoriales para la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, entre otras, <i>"Generar progresivamente estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático, y prever su actualización periódica según corresponda. Estos estudios son generados a nivel nacional sobre la base de información climática y lineamientos elaborados por el SENAMHI sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales y difundidos a través del SINIA y otros sistemas de información nacional, regional y local"</i> ;	
 Firmado digitalmente por ALARCON VILA ZCZO Constanza Suebeto FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 17:30:37 -05:00	Que, por su parte la Novena Disposición Complementaria Final del referido dispositivo legal, señala que <i>"El SENAMHI, en un plazo máximo de noventa (90) días hábiles contados a partir de la entrada en vigencia del presente Reglamento, aprueba los lineamientos que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales en los estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación ante los efectos del cambio climático"</i> ;	 Firmado digitalmente por ALARCON VILA ZCZO Constanza Suebeto FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 16:00:48 -05:00
 Firmado digitalmente por ASBOLIDA OROZCO Juan Fernando FAU 20131366028 soft Motivo: Day V° B° Fecha: 21.07.2020 17:31:25 -05:00		 Firmado digitalmente por TAKAHASHI GUEVARA Ken FAU 20131366028 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 21.07.2020 20:41:19 -05:00

Que, a través de la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 038-2020-SENAMHI/PREJ de fecha 28 de mayo de 2020, se dispuso la prepublicación de los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales;

Que, mediante documento del Visto, la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, remite la propuesta de Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, en el marco de las disposiciones efectuadas a través del Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático, aprobado mediante Decreto upremo N° 013-2019-MINAM; y de las opiniones y sugerencias efectuadas por los interesados como consecuencia de la prepublicación del citado documento;

Que, el literal f) del artículo 11 del Reglamento de Organización y Funciones del SENAMHI, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2016-MINAM, señala que es función de la Presidencia Ejecutiva expedir Resoluciones Presidenciales Ejecutivas en el ámbito de su competencia;

Que, teniendo en consideración las normas citadas, resulta necesario emitir la Resolución correspondiente que aprueba los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales;

Con el visado del Gerente General, de la Directora de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, del Director de la Dirección de Hidrología, del Director de la Dirección de Agrometeorología, del Director de la Dirección de Redes de Observación y Datos, y del Director de la Oficina de Asesoría Jurídica; y,

De conformidad con la Ley N° 24031, Ley del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, modificada por la Ley N° 27188; y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2016-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobar los Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales, el mismo que forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2.- Disponer la publicación de la presente Resolución en el Portal Web Institucional del SENAMHI (www.senamhi.gob.pe).

Regístrese y comuníquese

KEN TAKAHASHI GUEVARA
Presidente Ejecutivo
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
del Perú – SENAMHI

ORIENTACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL CLIMA Y DETERMINACIÓN DE LOS PELIGROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Nota Técnica N°001-2019/SENAMHI/DMA

SENAMHI-Perú

Elaborado por:
K. Correa¹, G. Avalos¹, F. Cubas¹,
G. De la Cruz², A. Díaz²

Contribuciones:
K. Takahashi³, C. Oria⁴, E. Villegas⁴, A. Liacza², D. Acuña², G. Jácome², W. Flores²

*1 Subdirección de Predicción Climática
2 Subdirección de Modelamiento Numérico
3 Presidencia Ejecutiva del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
4 Subdirección de Gestión de Datos*

Contribución y revisión de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del Ministerio del Ambiente MINAM

Marzo 2020 (publicado)/ Marzo 2023 (Actualizado)

SENAMHI, (2023). Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático. https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/2710/Orientaciones-para-an%C3%A1lisis-del-clima-determinaci%C3%B3n-peligros-asociados-al-cambio-clim%C3%A1tico-29-mar_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y





CENTRO INFORMÁTICO DE ALTO RENDIMIENTO

GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERÚ

DESCARGA Y SELECCIÓN:
Modelos globales CMIP6
(~100 km)

PREPARACIÓN DE DATOS:
Atmosféricos, de suelo y oceánico

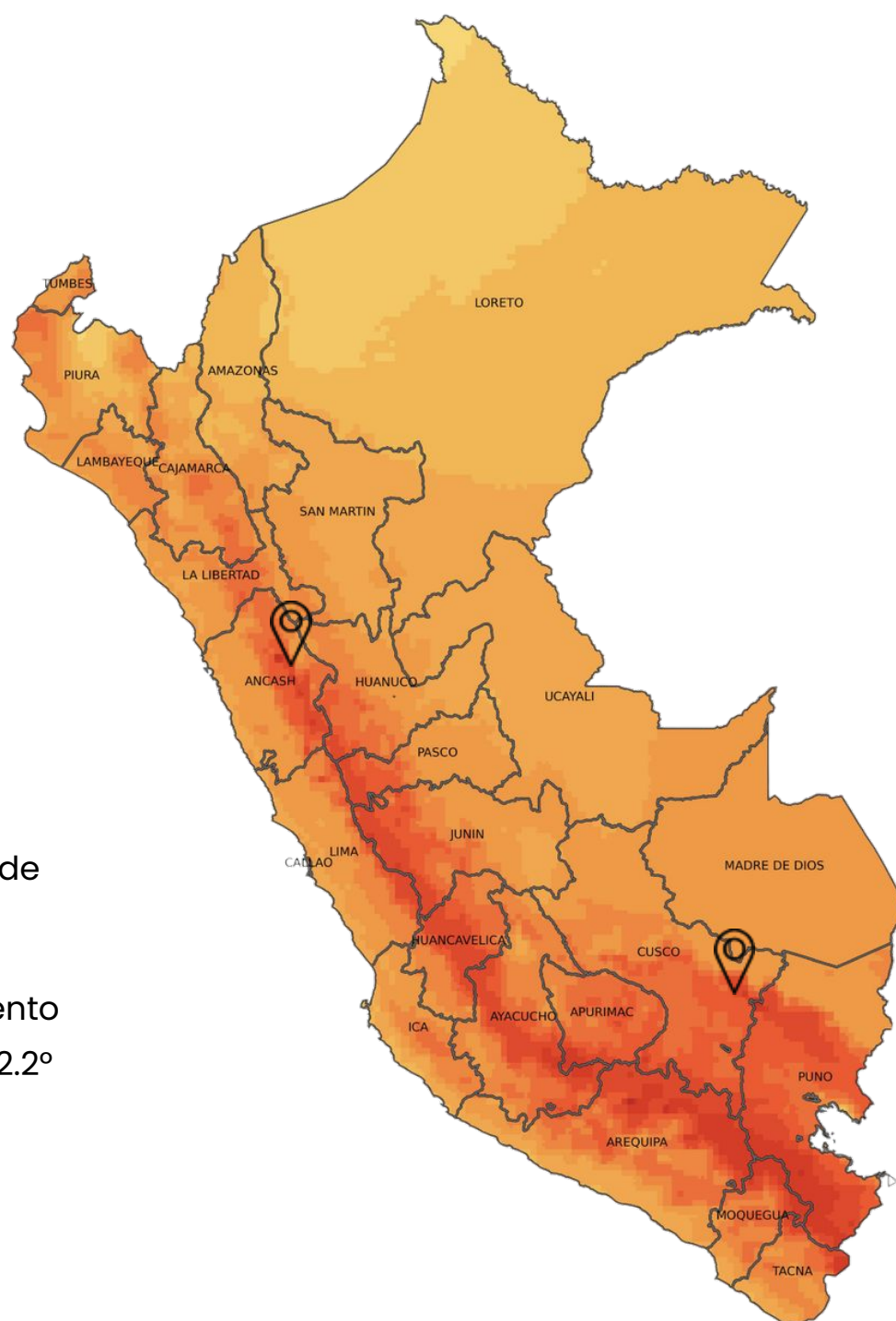
REDUCCIÓN DE ESCALA:
DINÁMICA Y ESTADÍSTICA
(10 km)

TÉCNICA DE REDUCCIÓN DE ESCALA
INTERPOLACIÓN
(~5 km)

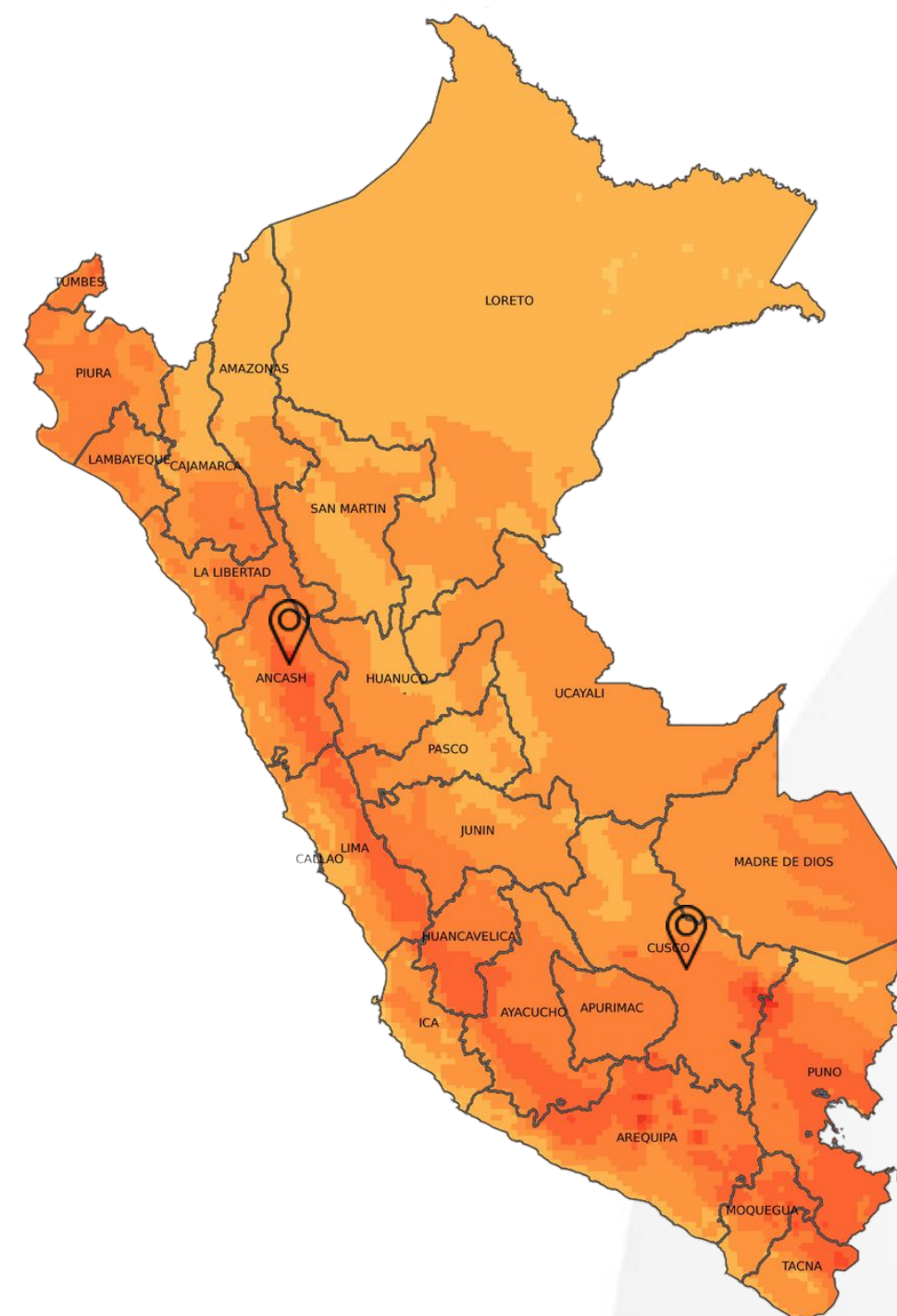


Escenario climático para la Temperatura año 2050

Temperatura máxima

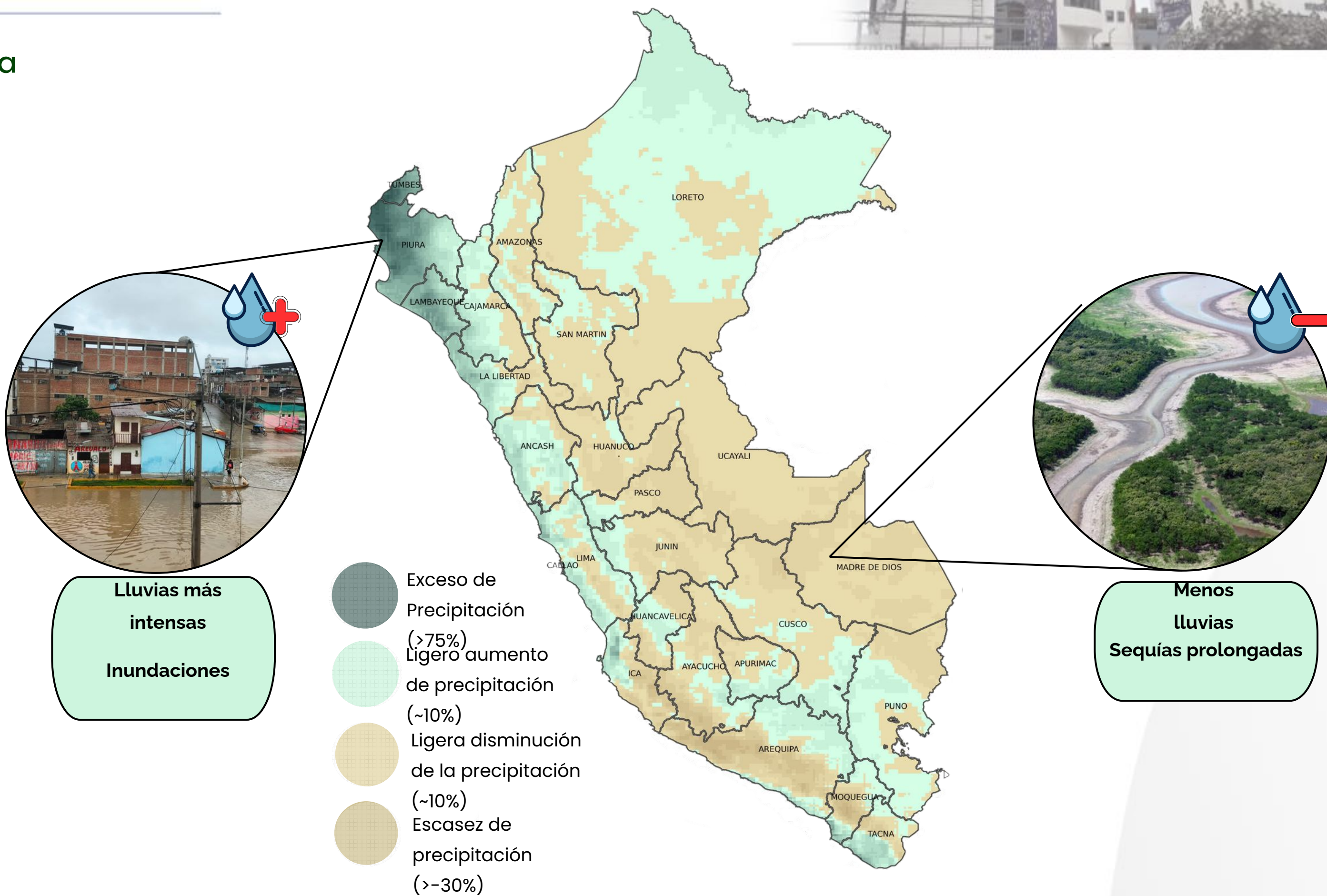


Temperatura mínima





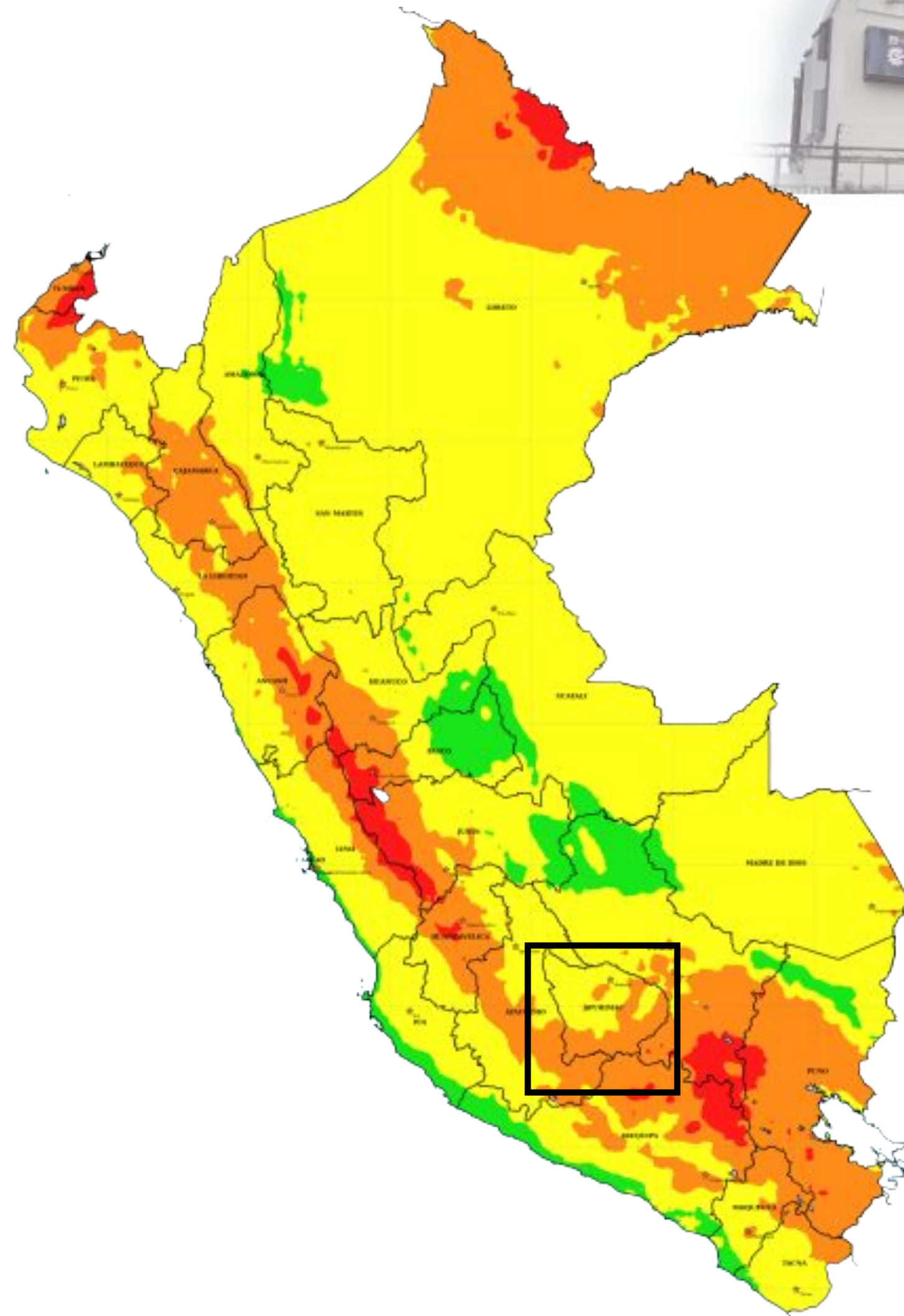
Escenario climático para la Precipitación al año 2050



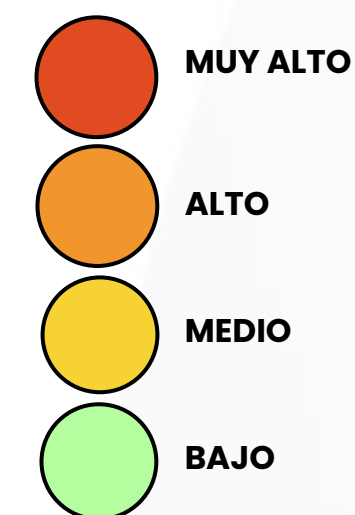
Índice Multipeligro al año 2050

Este índice representa los peligros asociados a diversos índices climáticos, como:

- Cambios en precipitación
- Precipitación extrema
- Condiciones secas
- Cambios en la temperatura
- Frío extremo y olas de calor



Índice Multipeligro

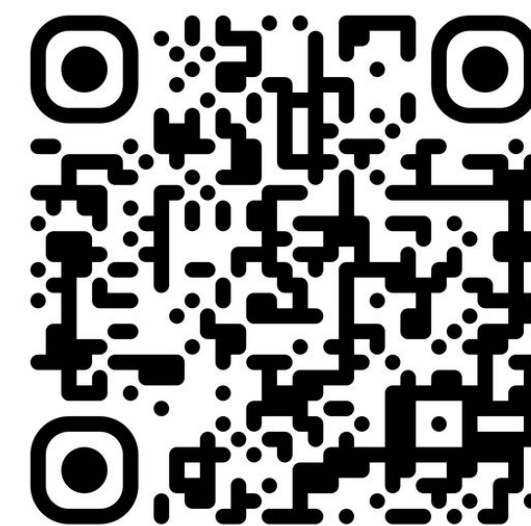




PLATAFORMA



Escanear QR:



DATOS DE CAMBIO CLIMATICO EN PYTHON

Mi unidad > CAMBIO_CLIMATICO_P...

Tipo

Personas

Modificado

Fuente

Nombre	Propietario
FIGURAS_2050	yo
SHAPES	yo
CAMBIOS_2050	yo
PLOT_CAMBIOS_2050.ipynb	yo
CAMBIO_TMIN_2050_CUSCO.png	yo
CAMBIO_TMAX_2050_CUSCO.png	yo

<https://drive.google.com/drive/folders/1MMkDPYvZtm0m5OmCKZ-2dGXi9X2SwjJi?usp=sharing>

De los datos climáticos al análisis espacial

Flujo de trabajo con Python para generar mapas de cambio climático

1 Datos de entrada

¿Qué datos usamos?

Datos climáticos (NetCDF)

- cambios_tmax_ssp585.nc**
Cambio de temperatura máxima
- cambios_tmin_ssp585.nc**
Cambio de temperatura mínima
- cambios_pr_ssp585.nc**
Cambio de precipitación

Características de los datos NetCDF

- Formato: NetCDF (.nc)
- Variables: ANUAL, DEF, MAM, JJA, SON
- Resolución espacial: ~ 5 km
- Coordenadas: lat, lon
- Tipo de dato: numérico (float32)
- Unidades: °C (tmax, tmin) y % d ó mm (pr)
- Periodo futuro: 2036–2065
- Periodo histórico: 1981–2010
- Escenario: SSP5–8.5

Datos geográficos (Shapefile)



DEPARTAMENTOS.shp
Límites departamentales del Perú

Características del shapefile

- Formato: Shapefile (.shp, .shx, .dbf, etc.)
- Tipo de dato: georreferenciado (polígonos)
- Campo principal: DEPARTAMEN
- Sistema de coordenadas: WGS84 (EPSG:4326)



Datos para análisis territorial

Permiten seleccionar un departamento y recortar los datos al área de interés.

2 Lectura y exploración de datos con Python

¿Cómo leemos los datos?

Librerías principales

- xarray**
Lectura y manejo de NetCDF
- geopandas**
Lectura de datos geográficos (shapefile)
- numpy**
Operaciones numéricas

Ejemplo de código

```
import xarray as xr
import geopandas as gpd

# Abrir datos climáticos
ds = xr.open_dataset('cambios_tmin_ssp585.nc')
print(ds)
print(ds.data_vars)

# Leer shapefile
depa = gpd.read_file('DEPARTAMENTOS.shp')
print(depa.head())
```

Información que obtenemos

- ✓ Variables disponibles (ANUAL, DEF, MAM, JJA, SON)
- ✓ Atributos y unidades
- ✓ Extensión espacial (lat, lon)
- ✓ Nombres de departamentos
- ✓ Vista preliminar de los datos

3 Procesamiento de datos

¿Qué hacemos con los datos?

Selección de variable y periodo

- Temperatura máxima (tmax)
- Temperatura mínima (tmin)
- Precipitación (pr)

- ANUAL
- DEF
- MAM
- JJA
- SON

Selección regional



- Elegir departamento de interés
- Recortar datos al área del departamento
- Ajustar extensión del mapa
- Manejo de la orientación de coordenadas (lat, lon)

Preparación del dato

- Recorte espacial del raster
- Manejo de valores faltantes
- Definición de rangos de color
- Cálculo de estadísticas (opcional)
- Preparación para graficar

Visualización y resultados de escenarios climáticos

Mapas de cambio climático con Python

4 Visualización de mapas

¿Cómo generamos los mapas?

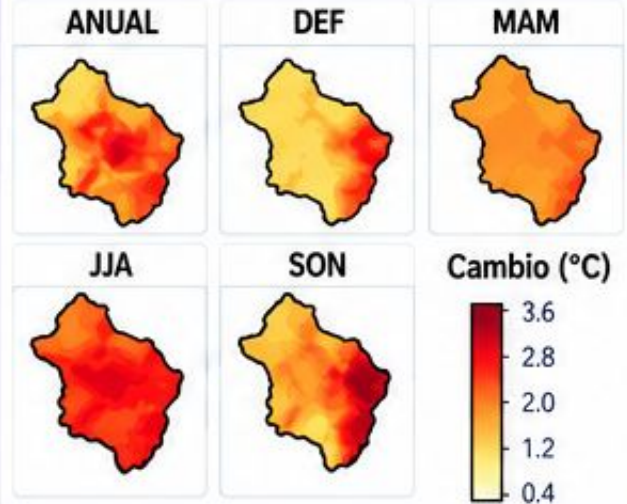
Librerías de visualización

- matplotlib**
Visualización de mapas
- cartopy**
Mapas y proyecciones (opcional)
- matplotlib.colors**
Escala y paletas de color

Elementos del mapa

- Campo de cambio climático (tmax, tmin o pr)
- Límites departamentales
- Escala de colores adecuada
- Título, ejes y grilla
- Formato de coordenadas (°S, °W)
- Barra de colores con unidades

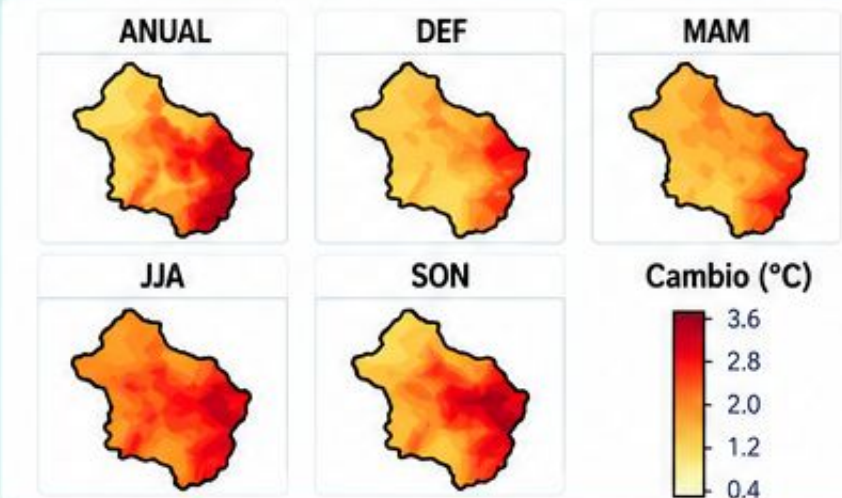
Esquema de la figura



5 Resultados y productos

¿Qué obtenemos?

Ejemplo: Cambio de temperatura mínima al 2050 – Cusco



Productos generados

- Mapas por variable (tmax, tmin, pr)
- Mapas por periodo (ANUAL, DEF, MAM, JJA, SON)
- Figuras en alta resolución (PNG)
- Listos para informes, presentaciones y análisis
- Datos y códigos organizados (Google Drive / Colab)

6 Aplicaciones

¿Para qué sirve?



Análisis de riesgos climáticos
Identificación de zonas más vulnerables



Planificación y adaptación
Toma de decisiones basadas en evidencia



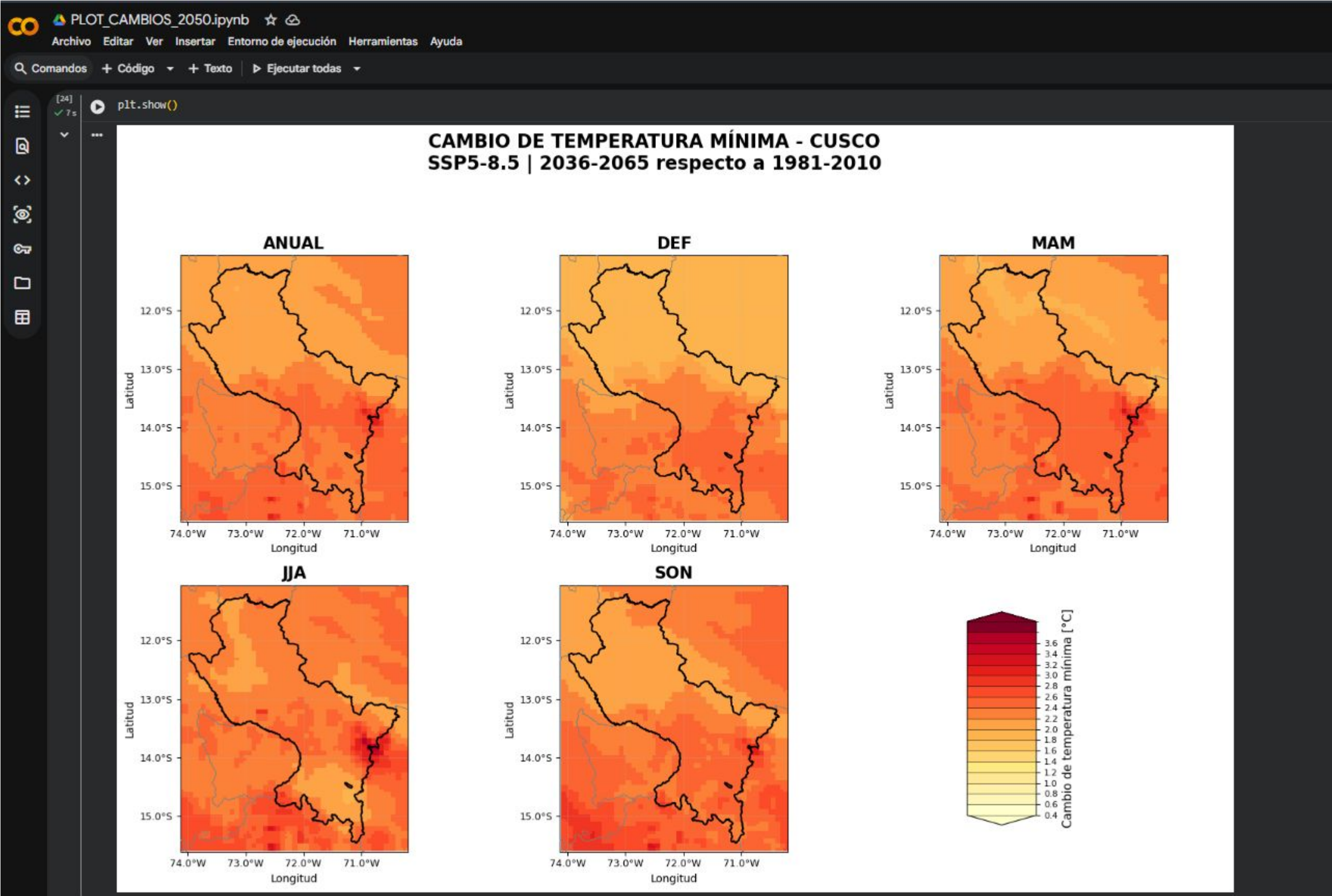
Investigación y desarrollo
Nuevos análisis y aplicaciones



Información abierta y reproducible
Uso de Python para una mayor accesibilidad

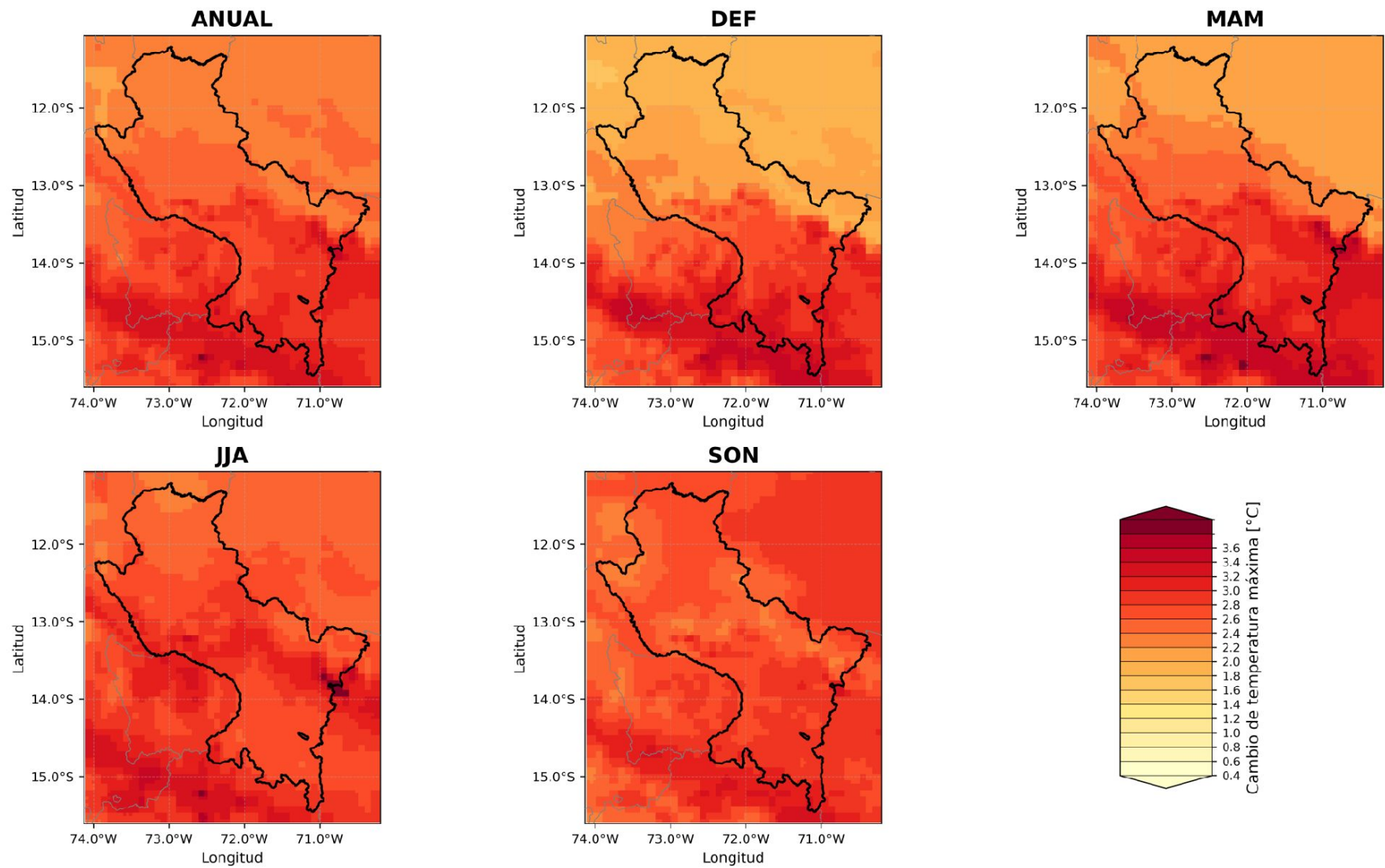
Del dato climático al conocimiento territorial para un futuro más resiliente

CAMBIOS AL 2050 TEMPERATURA MINIMA EN CUSCO

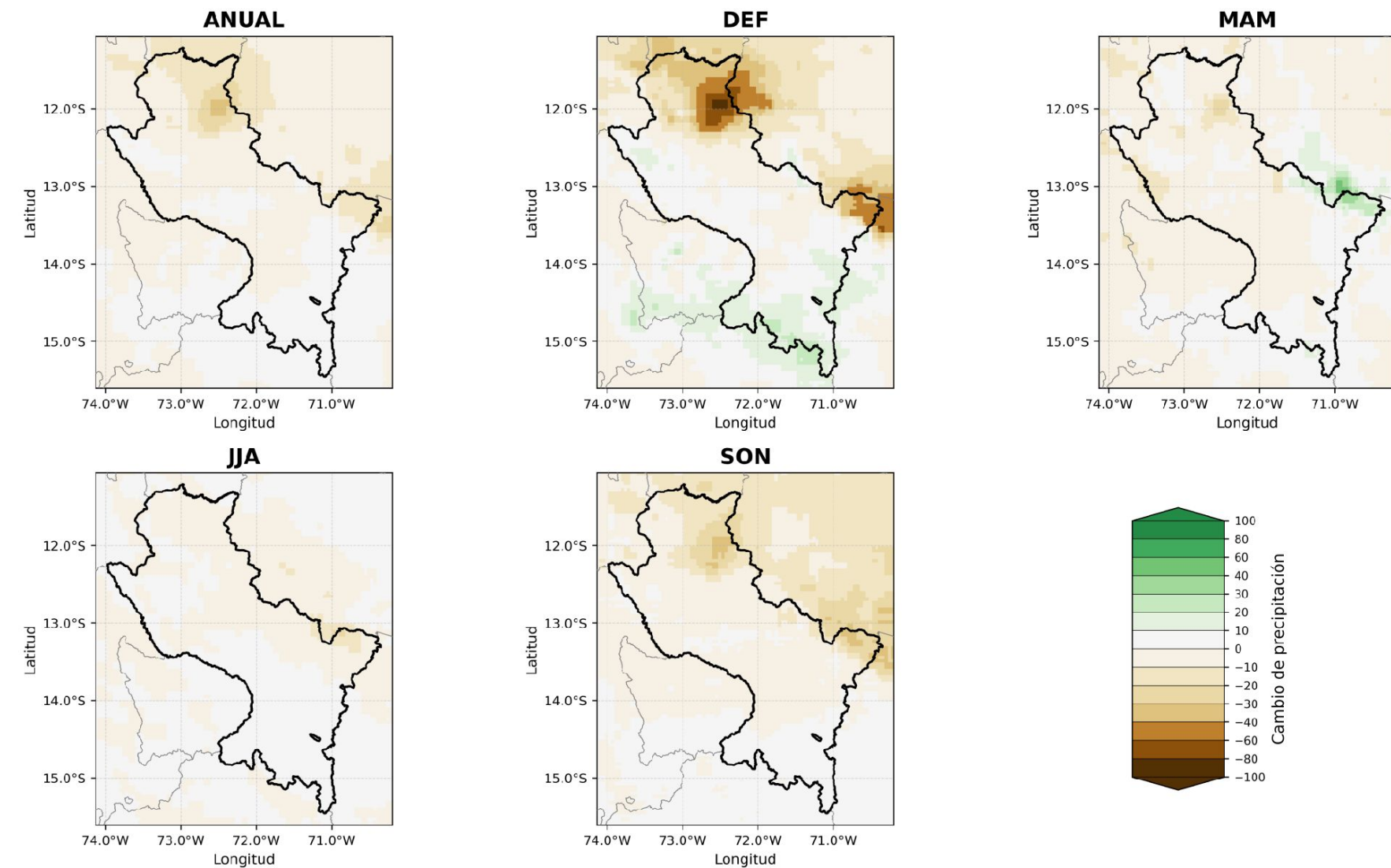


CAMBIOS AL 2050 TEMPERATURA MÁXIMA Y PRECIPITACIÓN EN CUSCO

CAMBIO DE TEMPERATURA MÁXIMA - CUSCO
SSP5-8.5 | 2036-2065 respecto a 1981-2010

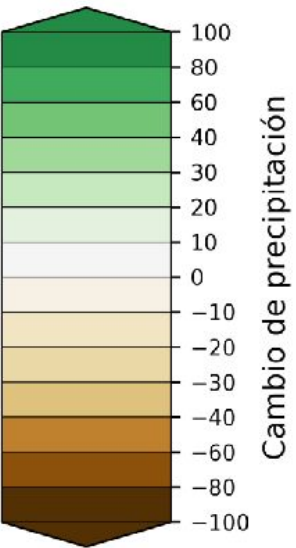
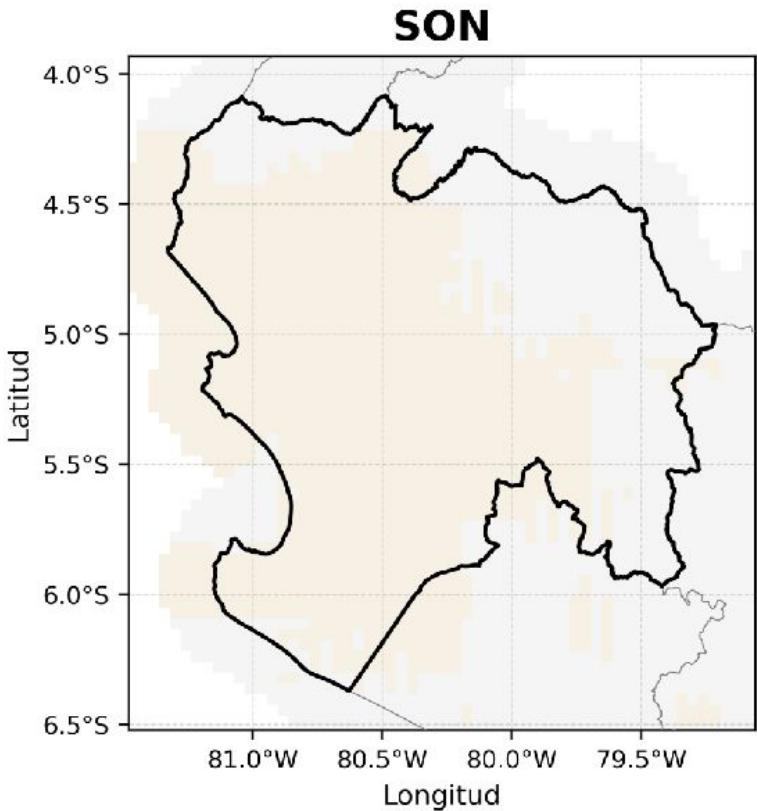
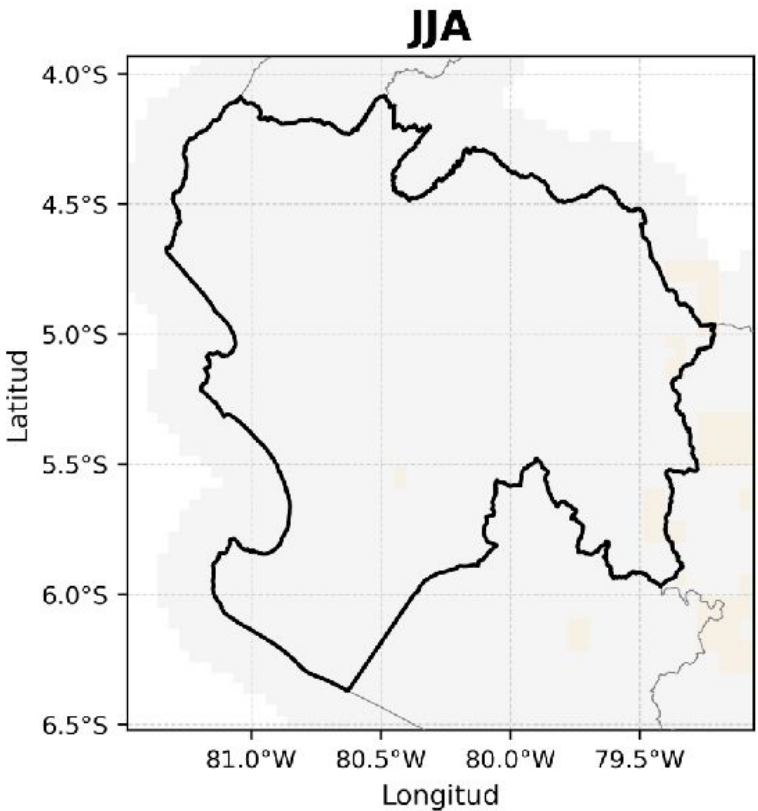
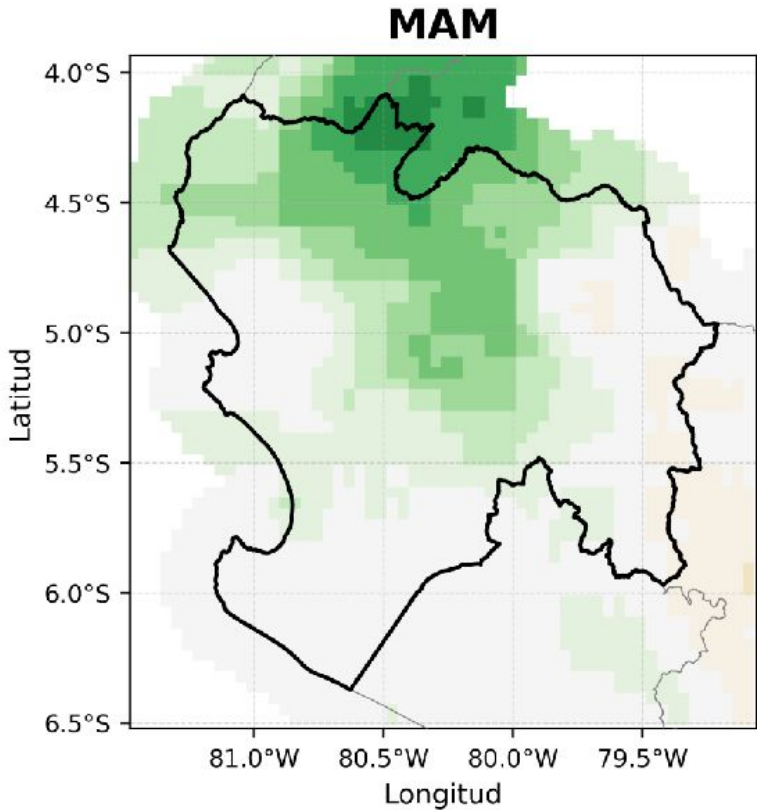
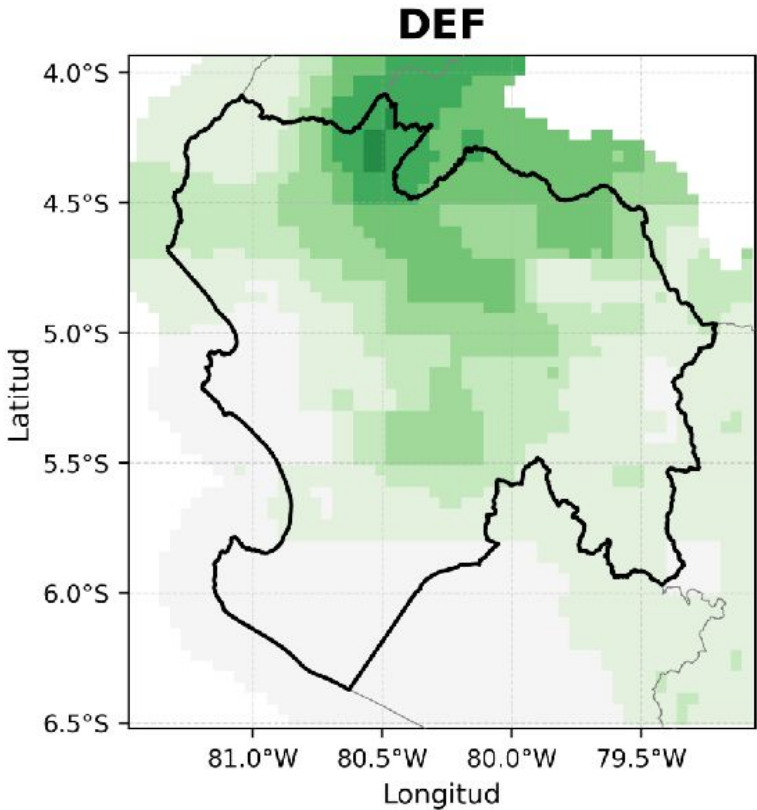
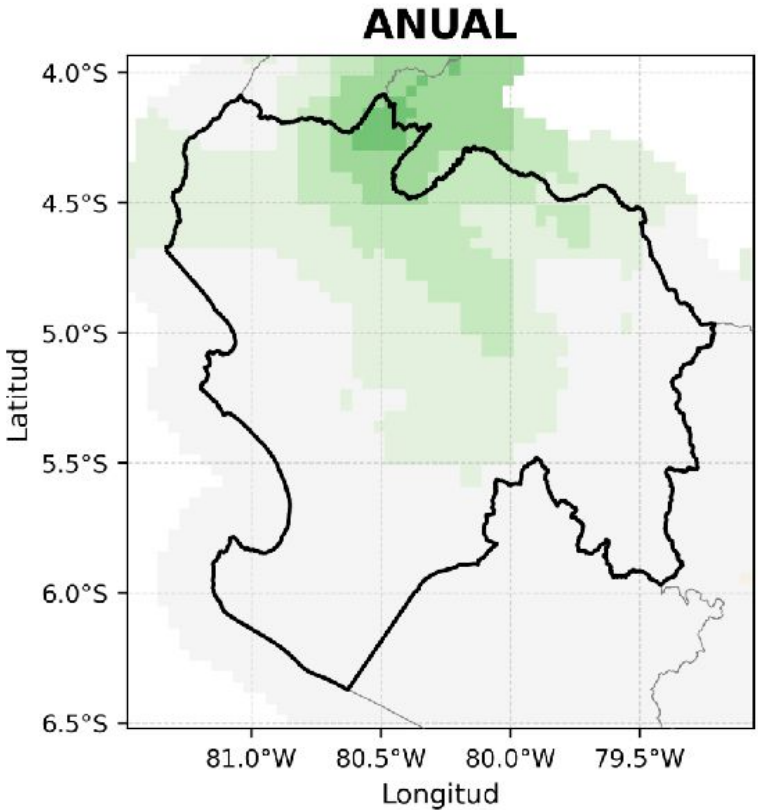


CAMBIO DE PRECIPITACIÓN - CUSCO
SSP5-8.5 | 2036-2065 respecto a 1981-2010



CAMBIOS AL 2050 PRECIPITACIÓN PIURA

CAMBIO DE PRECIPITACIÓN - PIURA
SSP5-8.5 | 2036-2065 respecto a 1981-2010





Gracias



jbruno@senamhi.gob.pe

smn@senamhi.gob.pe