

MONTAÑAS Y GLACIARES: PROTECCIÓN DE CABECERAS DE CUENCA PARA FORTALECER LA SEGURIDAD HÍDRICA EN IBEROAMÉRICA

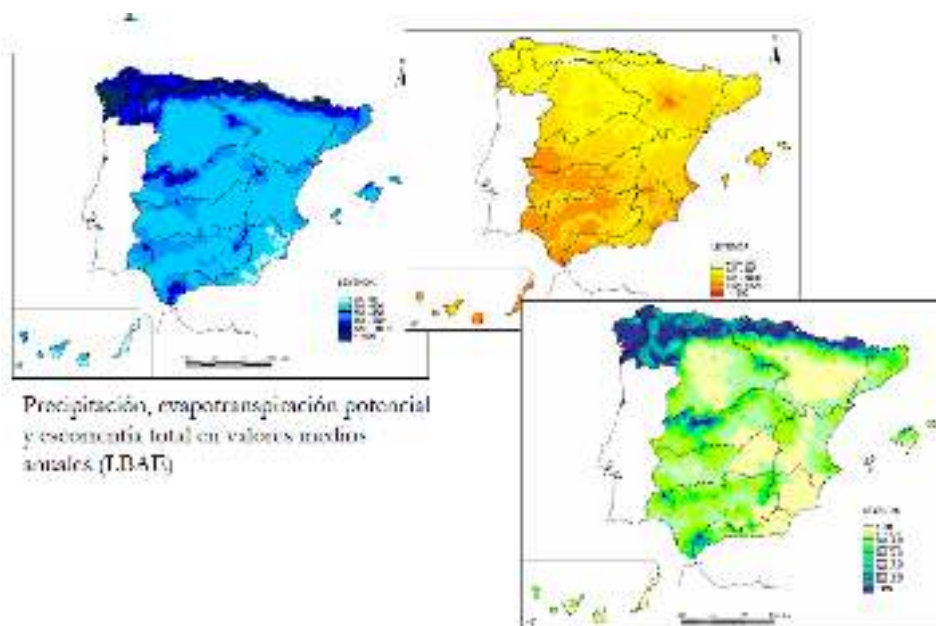
Santiago de Chile, 7 de octubre de 2025

MODELO DE SIMULACIÓN DE LA APORTACIÓN DE CAUDALES EN CABECERAS

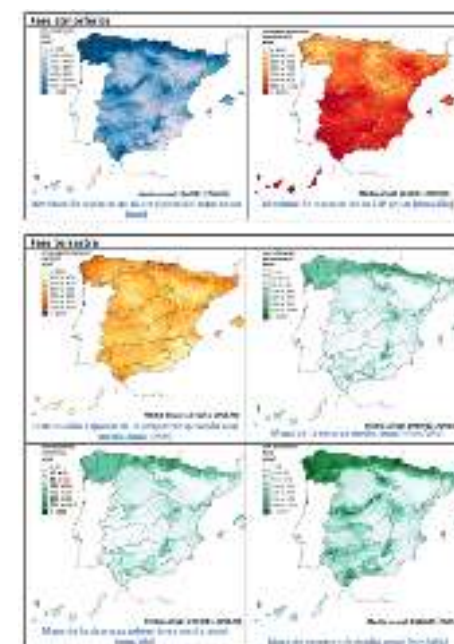
Federico Estrada
Centro de Estudios Hidrográficos

Evaluación de los recursos hídricos naturales

- Evaluación de recursos hídricos en régimen natural para el inventario de recursos hídricos con una metodología homogénea.
- Trabajos anteriores: Libro Blanco del Agua en España (2000), Plan Hidrológico Nacional (2001) y planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas (2009, 2015, 2021).
- Última actualización planes hidrológicos 2027-2033.
- El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX apoya al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para mantener actualizado este inventario.

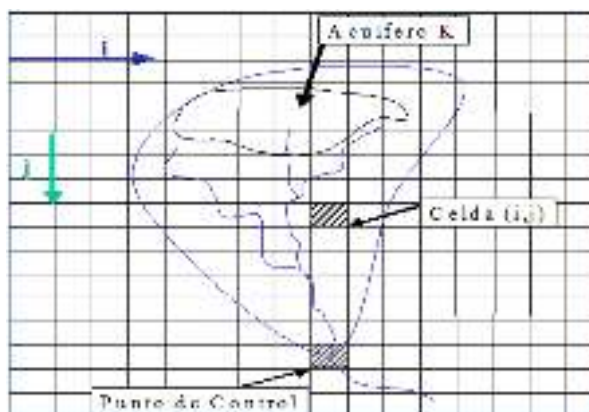


Mapas de variables estimadas en los planes hidrológicos (2009-2015)



Principales características del modelo

- Modelo de simulación continua precipitación – aportación SIMPA (Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación)
- Implementado SIG GRASS
- Paso de tiempo mensual
- Cálculo de forma distribuida: discretización en celdas de tamaño 500 m x 500 m (2.000.000 de celdas)
- Periodo de simulación: 1940/41 – 2023/24 (última revisión)

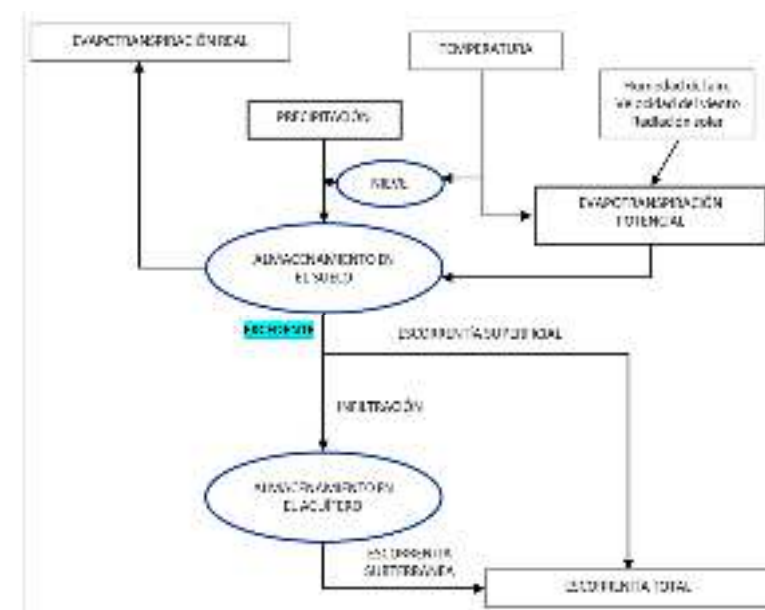


Parámetros del modelo (4 + 2 nieve):

- C, Hmax, lmax, alfa
- Tª base, factor de fusión de nieve

Tres leyes principales:

- Leyes de Témez: Excedente e infiltración
- Ley de descarga subterránea basada en modelo unicelular

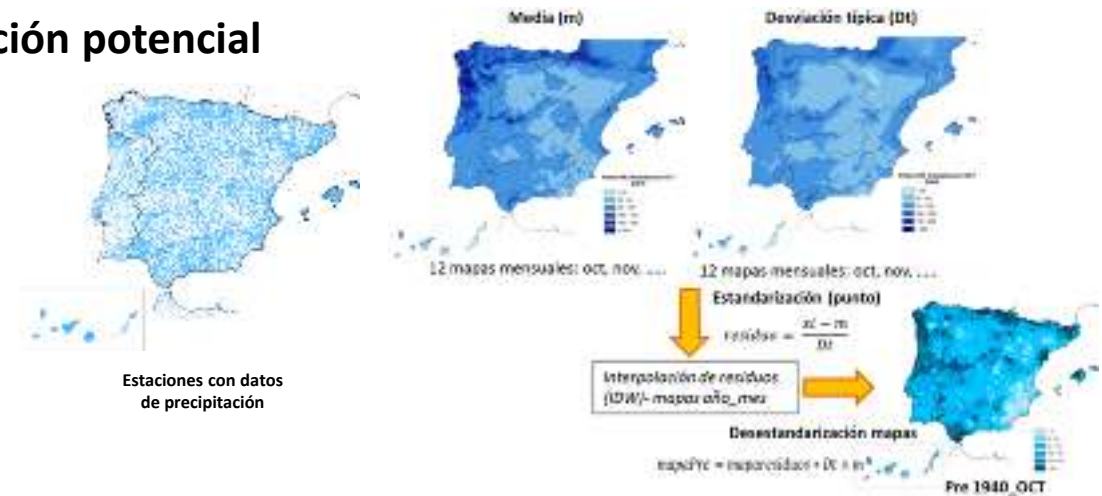


Fase atmosférica

Estimación de la precipitación y evapotranspiración potencial

Precipitación:

- Revisión y completado de las series (AEMET))
- Interpolación mediante el uso de patrones de medias y desviación típica



Temperatura:

- Revisión y completado de las series (AEMET)
- Interpolación mediante el uso de patrones de medias (tmin, tmax)
- Cálculo de la temperatura media (promedio de tmin y tmax)



Evapotranspiración potencial:

- Eto mediante el método de Hargreaves
- Corrección de la Eto mediante el método de Penman-Monteith (coeficientes correctores)
- Aplicación del coeficiente de vegetación variable en el espacio (Kc)



Fase terrestre

Parámetros del modelo

Capacidad máxima de almacenamiento de humedad (**Hmax**):

- Regula el almacenamiento de agua en el suelo
- A partir de usos de suelo, textura y pendientes

Coeficiente de excedente (**C**):

- Representa la proporcionalidad entre el déficit de almacenamiento de agua en el suelo y el umbral de escorrentía
- A partir de la pendiente del terreno, características litológicas y el índice de aridez. Varía entre 0,1 y 0,5

Capacidad de infiltración máxima (**I_{max}**):

- Regula el reparto del excedente de agua entre escorrentía superficial e infiltración al acuífero
- A partir de la litología

Coeficiente de recesión de los acuíferos (**α**):

- Regula el intercambio entre río y acuífero
- A partir de la descarga del flujo base en los puntos de control y de las propiedades hidrodinámicas del acuífero



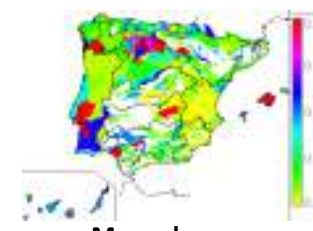
Mapa de Hmax



Mapa de C

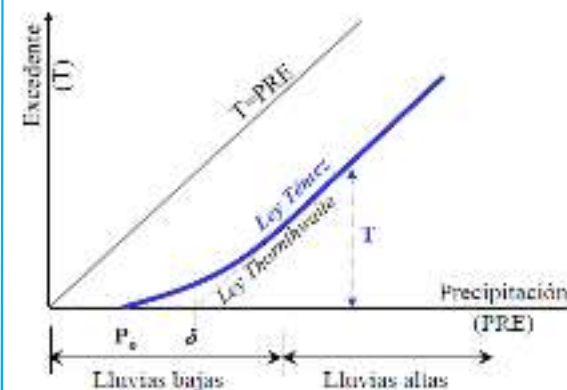


Mapa de I_{max}

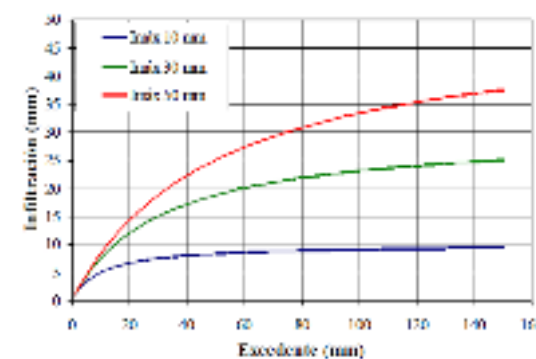


Mapa de α

Ley de excedente



Ley de infiltración

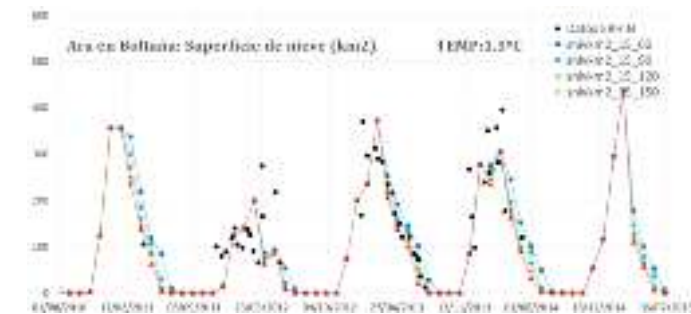


Ley de descarga del acuífero (modelo unicelular)

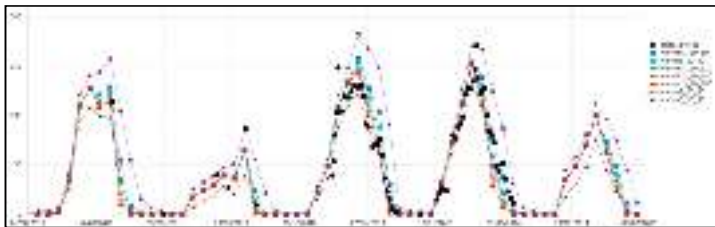
Tratamiento de la nieve

Cálculo del volumen acumulado en forma de nieve y fusión de nieve en cuencas navales

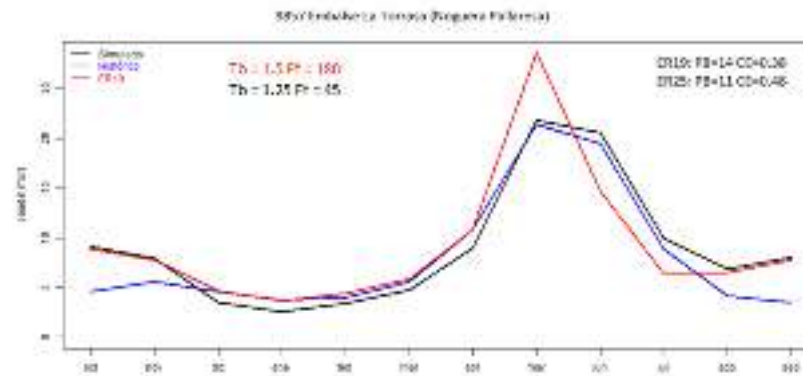
- Adaptación mensual del modelo grado-día del modelo hidrológico ASTER (Programa ERHIN de la DGA)
- Calibración a partir de la información del Programa ERHIN (DGA): superficie del manto nival, volumen de agua en forma de nieve
- Calibración de la distribución intraanual del caudal mensual en los puntos de cierre de las cuencas navales (Anuario de Aforos)
- Parámetros: Temperatura base y Factor de fusión



Calibración de la superficie de nieve
Cuenca del río Ara en Boltaña



Calibración del VAFN
Cuenca del río Ésera en Campo

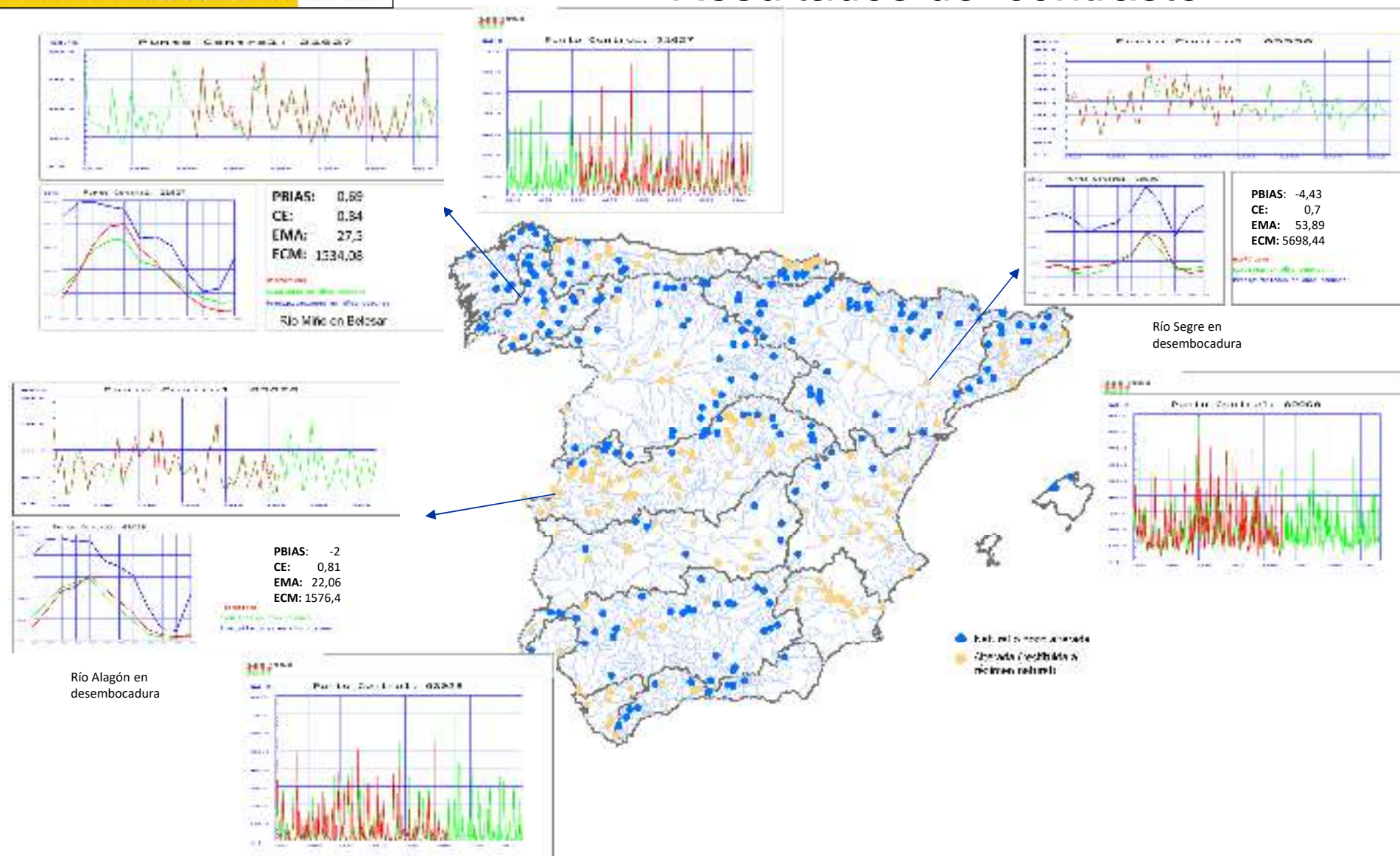


Calibración de la distribución del caudal promedio mensual
Embalse La Torrassa (río Noguera Pallaresa)



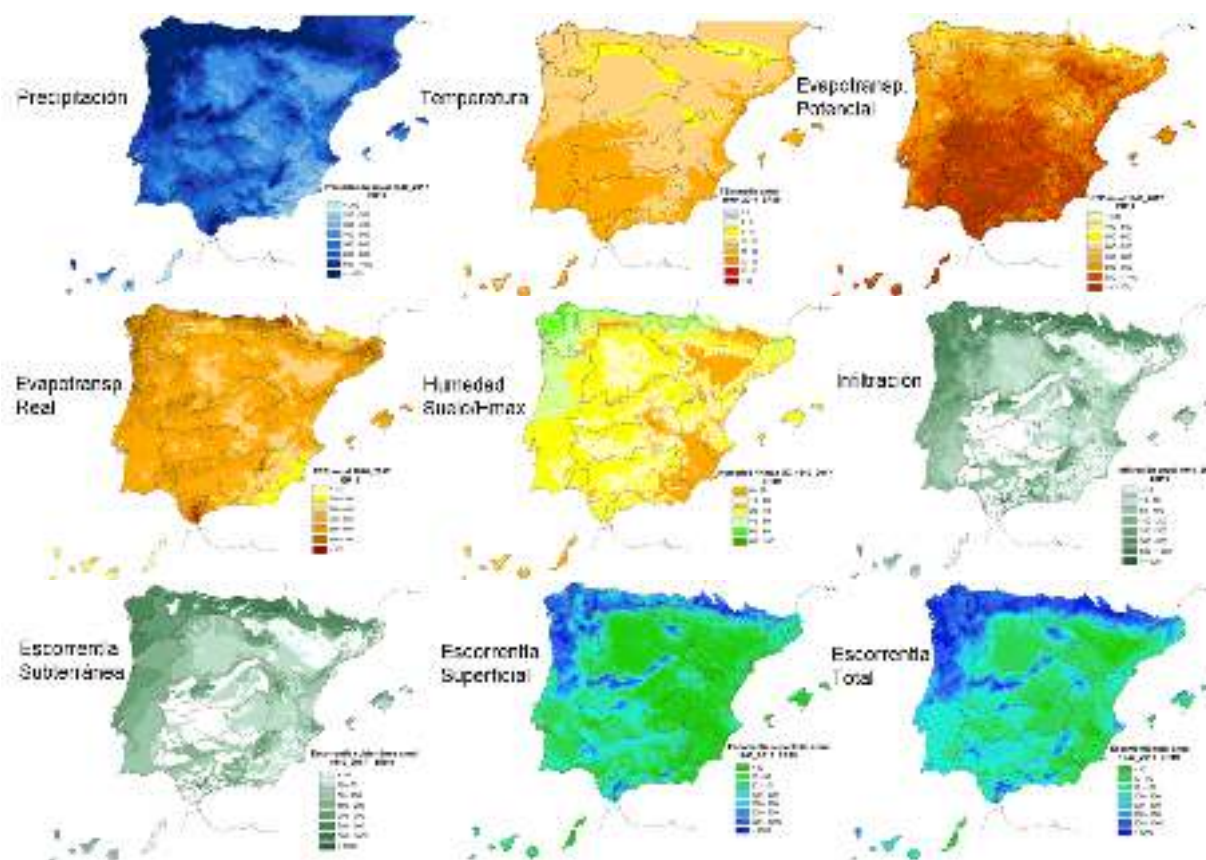
Cuencas navales
programa ERHIN

Resultados del contraste

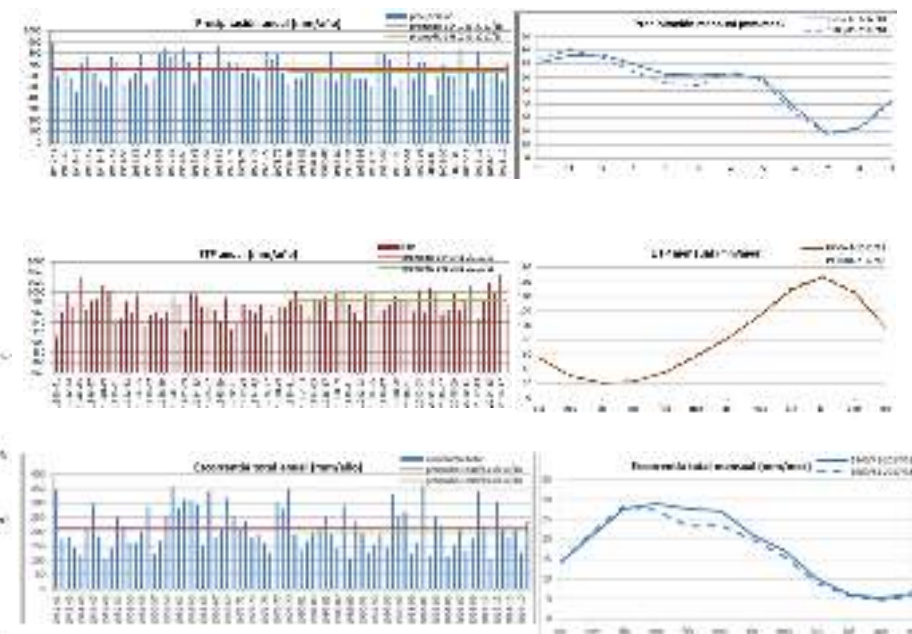


Resultados de la evaluación de recursos hídricos

Aplicación de las leyes del modelo a las variables climáticas, calibración y obtención de los mapas mensuales de las principales variables hidrológicas

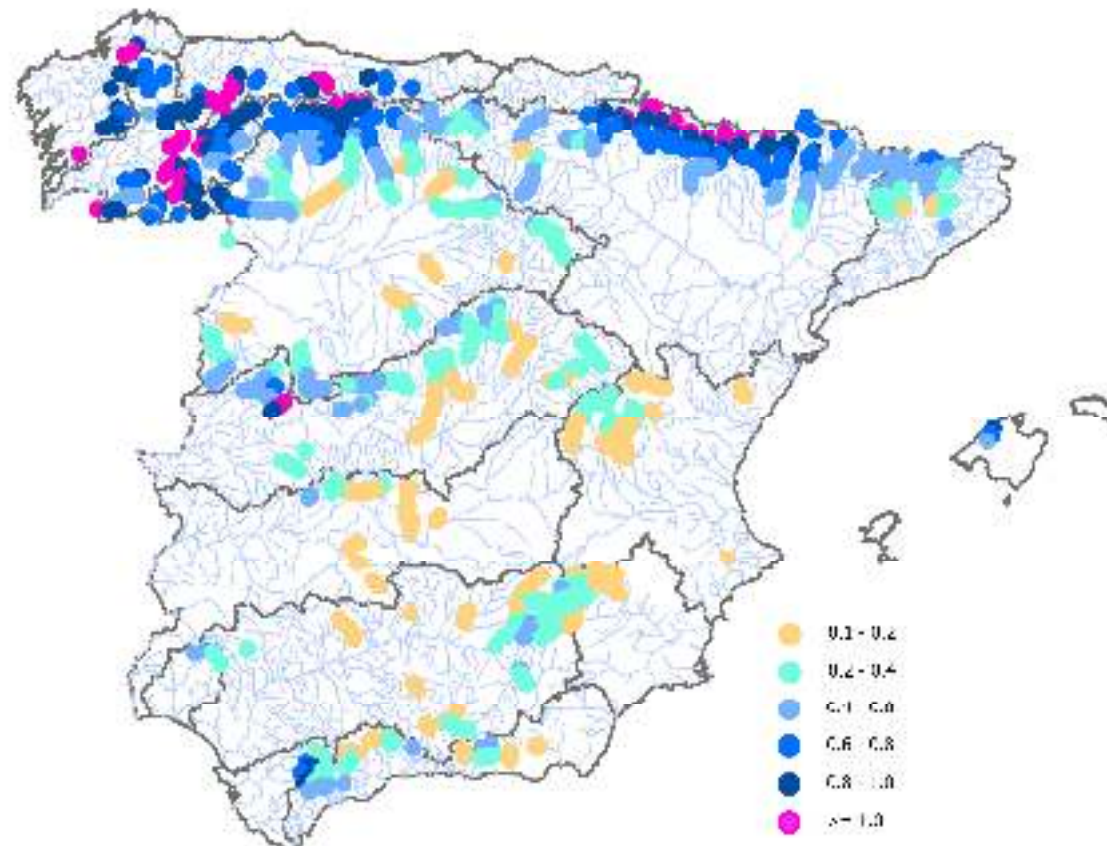


Mapas de las distintas variables



Evapotranspiración real
 Humedad en el suelo
 Infiltración – recarga a los acuíferos
 Escurrimiento subterráneo
 Escurrimiento superficial
 Escurrimiento total

Aportación promedio anual (1940-2022) (hm³/año) /superficie cuenca (km²):



Reservas hidrológicas

		Fluviales		Lacustres		Subterráneas	
D.H. Inter	Acuerdo CM	nº	Long (km)	nº	Sup. (km ²)	nº	Sup. (km ²)
	20/11/2015	82	1.755,23	---	---	---	---
	10/02/2017	53	928,74	---	---	---	---
	29/11/2022	26	518,37	19	12,34	22	1.077,11
D.H. Intercomunitarias		161	3.202,34	19	12,34	22	1.077,11
D.H. Intracomunitarias		87	646,17	0	0,00	0	0,00
Total		248	3.848,51	19	12,34	22	1.077,11

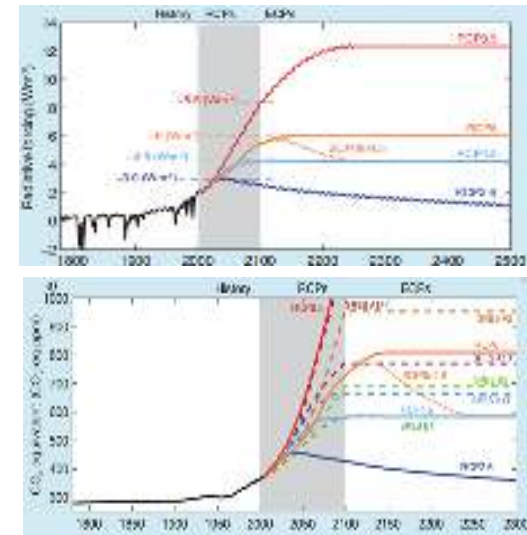
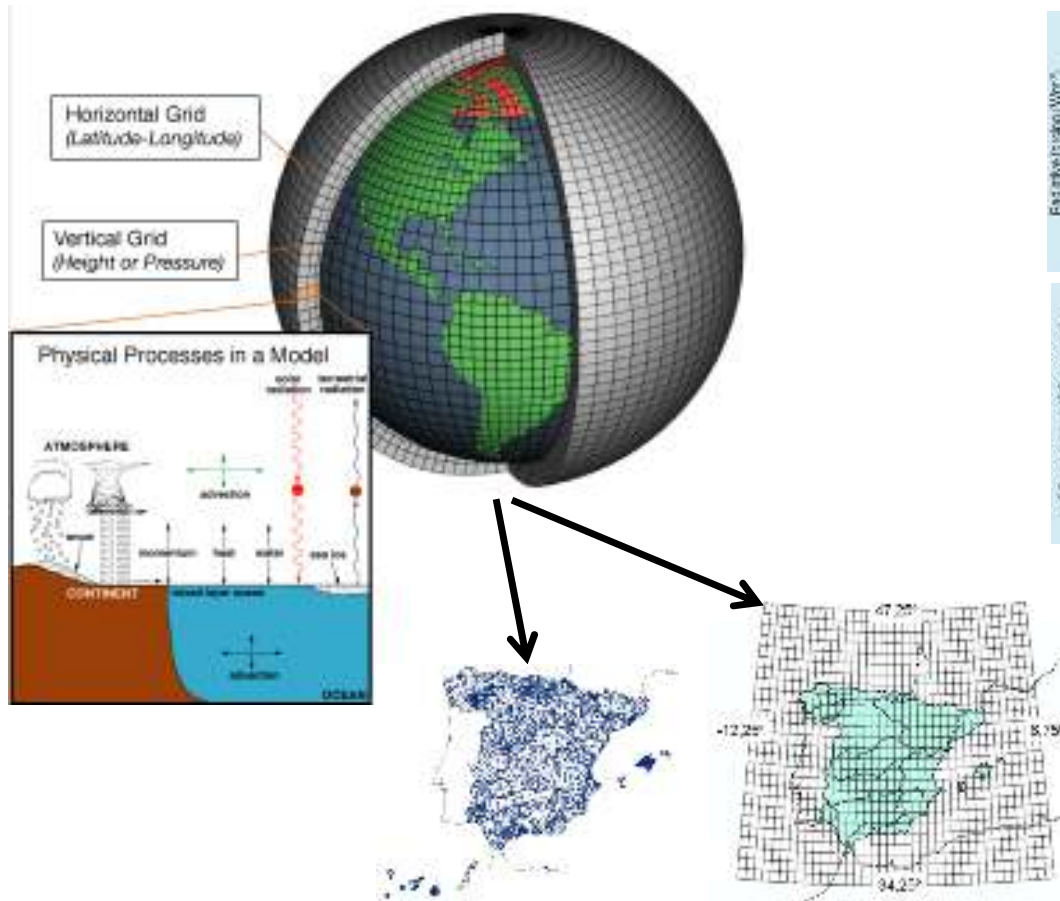
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas.html>

Reservas hidrológicas



Cambio climático: modelos y escenarios

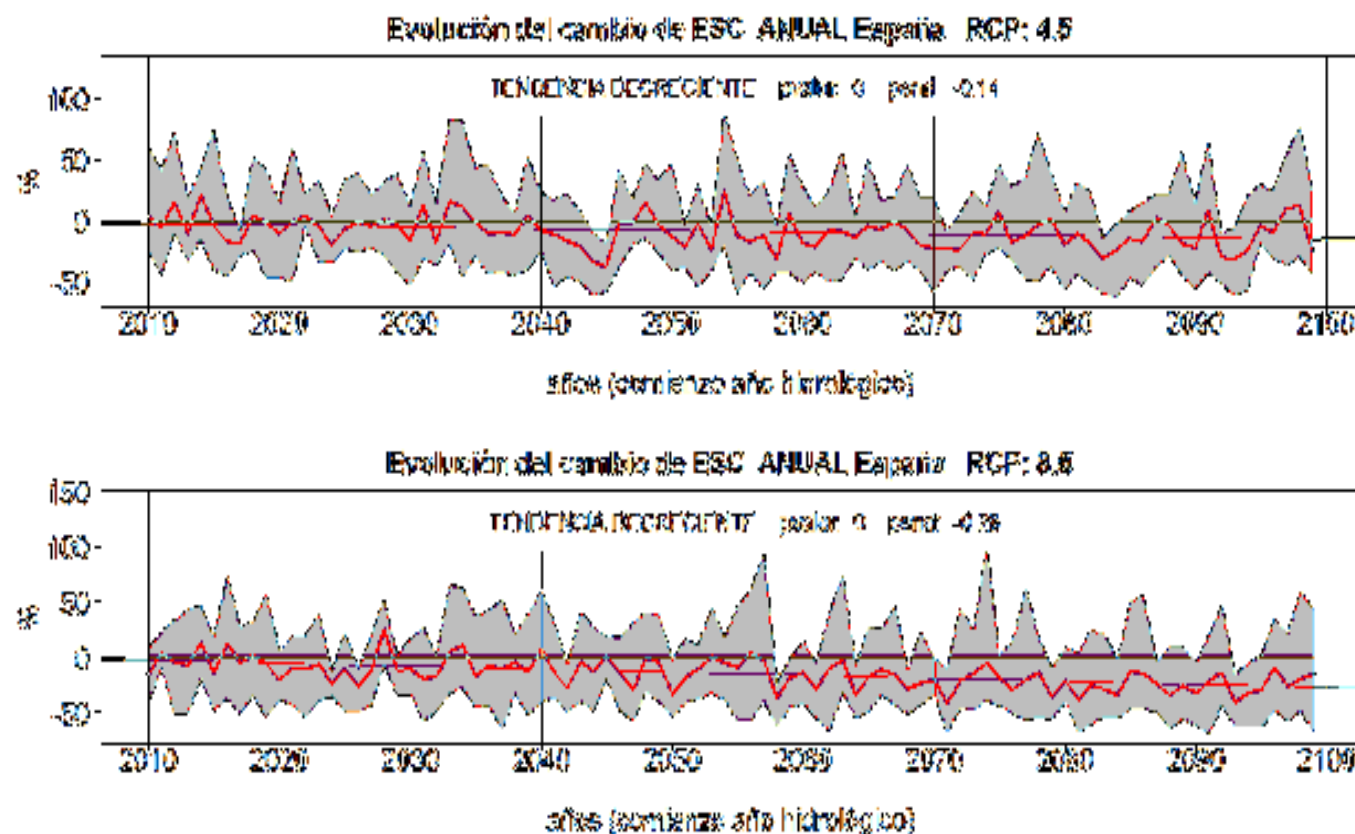
Modelos de Circulación General



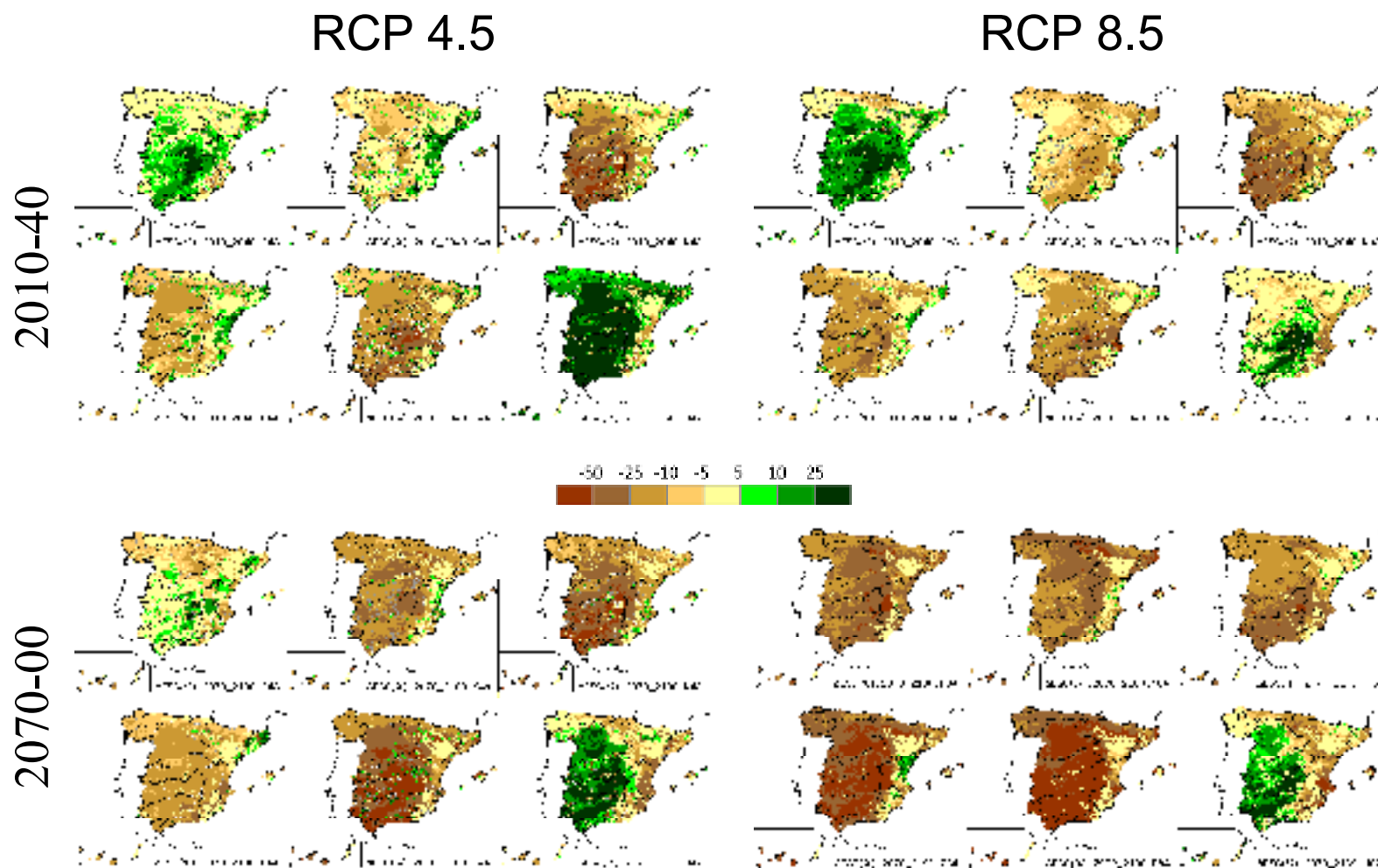
Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero

Regionalización (*downscaling*) para España

Cambio climático: tendencias escorrentía

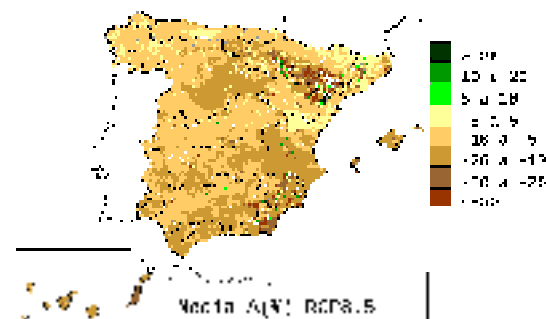
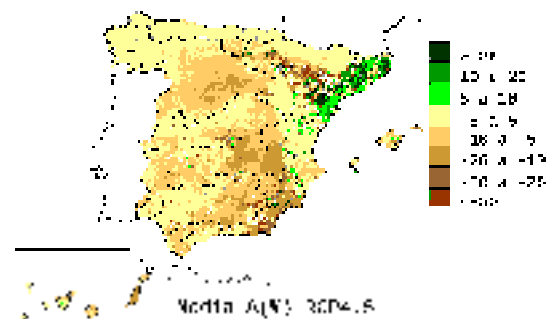


Cambio climático: impacto en escorrentía

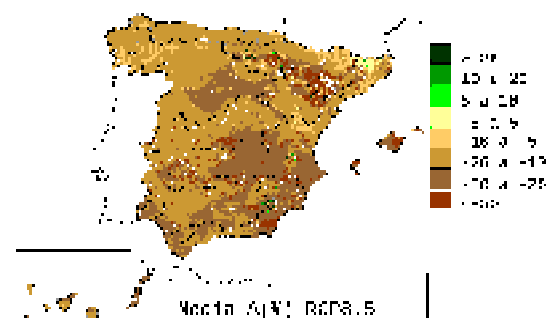
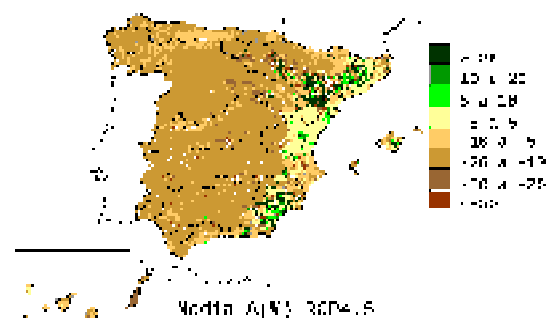


Cambio climático: impacto en escorrentía

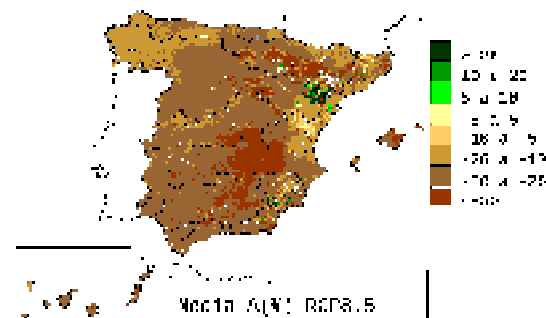
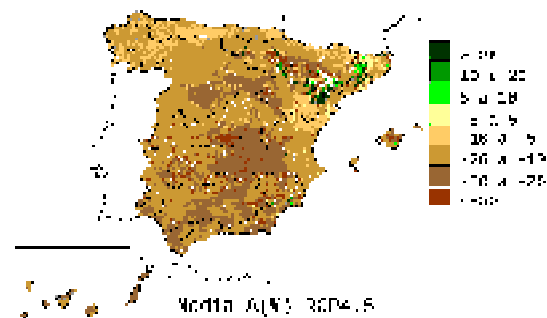
2010-40



2040-70



2070-00





www.cedex.es
www.ceh.cedex.es
ceh_comunicacion@cedex.es