



MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

2º Taller Hispano-Argentino de Seguridad de Presas
Madrid, julio 2019

Centro de Estudios Hidrográficos

EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN RELACIÓN CON LA GESTIÓN DE LOS EMBALSES

Federico Estrada
Centro de Estudios Hidrográficos



Cambio climático

Efectos en la gestión de embalses

Factores estudiados

- Aportaciones
- Evaporación
- Demandas

Otros factores

- Volumen máximo
- Volumen mínimo
- Calidad del agua



Cambio climático

Efectos en la gestión de embalses

Aportaciones

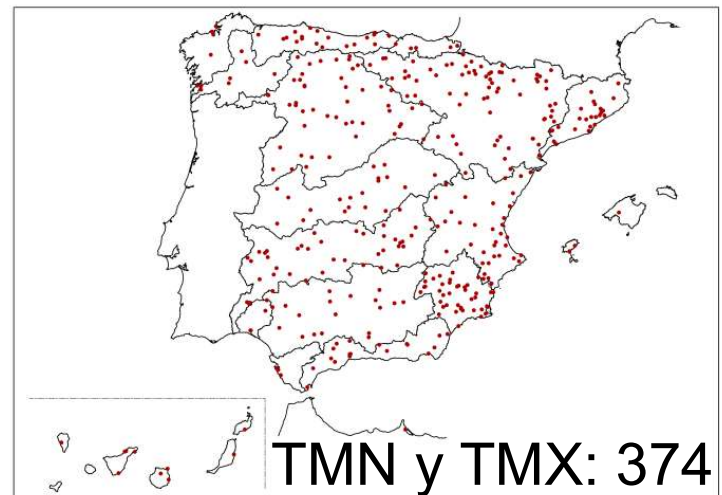
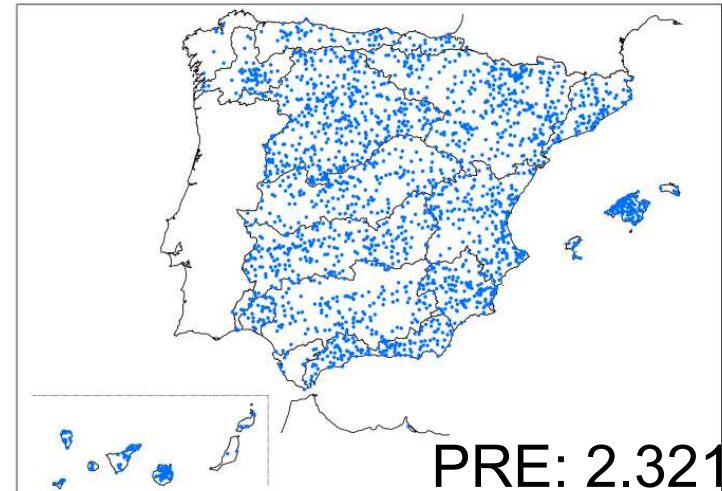
- Recursos naturales
- Sequías
- Recursos disponibles

12 proyecciones

Agencia Estatal de Meteorología
Método análogos

Sigla	Sigla	RCP	MCG
FA	F4A	4.5	CNRM-CM5 (Francia)
	F8A	8.5	
MA	M4A	4.5	MPI.ESM.MR (Alemania)
	M8A	8.5	
NA	N4A	4.5	inmcm4 (Rusia)
	N8A	8.5	
QA	Q4A	4.5	bcc-csm1-1 (China)
	Q8A	8.5	
RA	R4A	4.5	MIROC.ESM (Japón)
	R8A	8.5	
UA	U4A	4.5	MRI.CGCM3 (Japón)
	U8A	8.5	

Estaciones de simulación



- 55.242 ficheros con valores diarios para:
- 1961-2000
 - 2006-2100

Método

- Periodo de control
1961-2000
- Periodos futuros de impacto
2010-2040
2040-2070
2070-2100

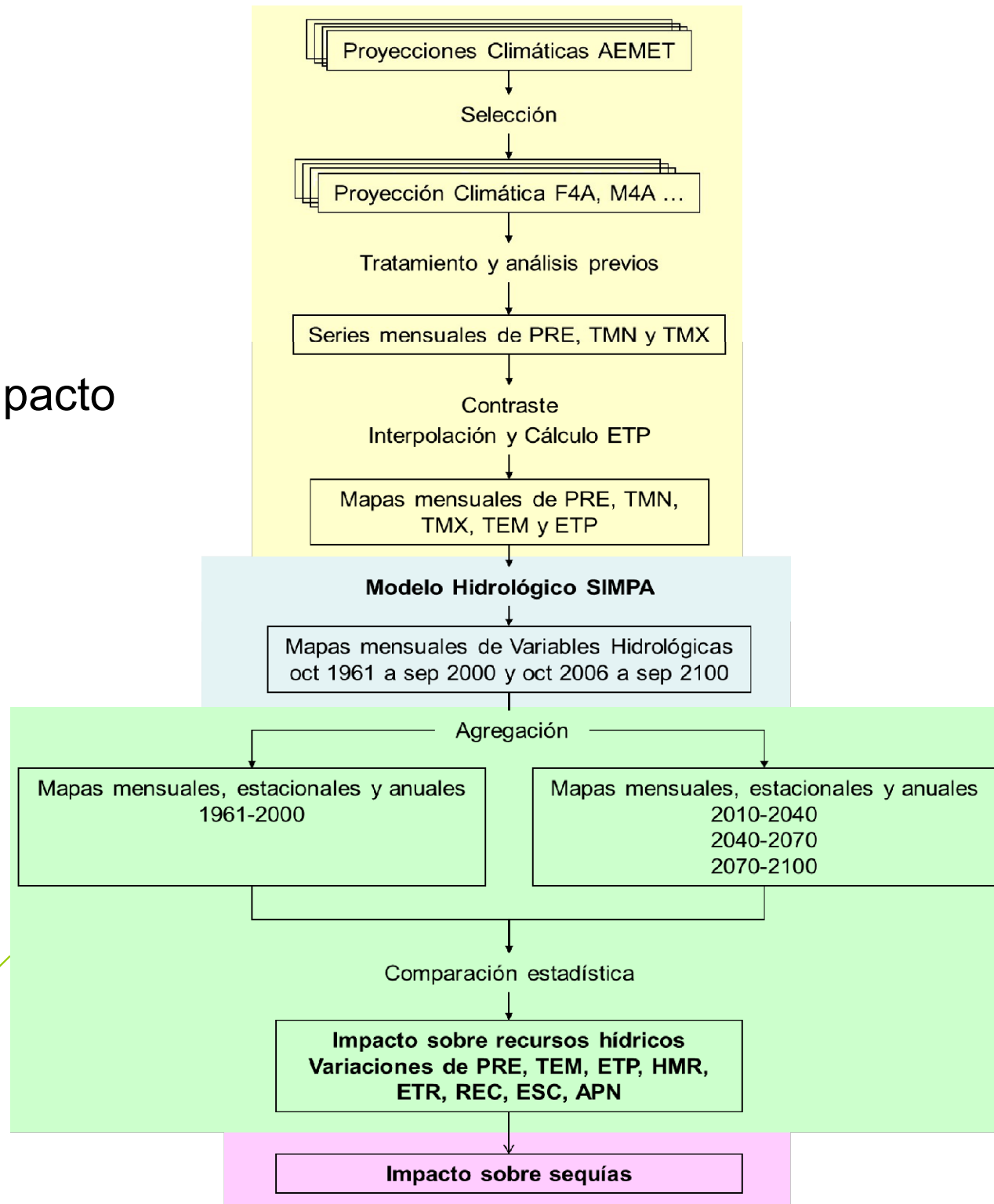
300.000 mapas

- 500.000 celdas (1 km)
- 2.000.000 celdas (0.5 km) APN

GRASS (QGIS)

R stats

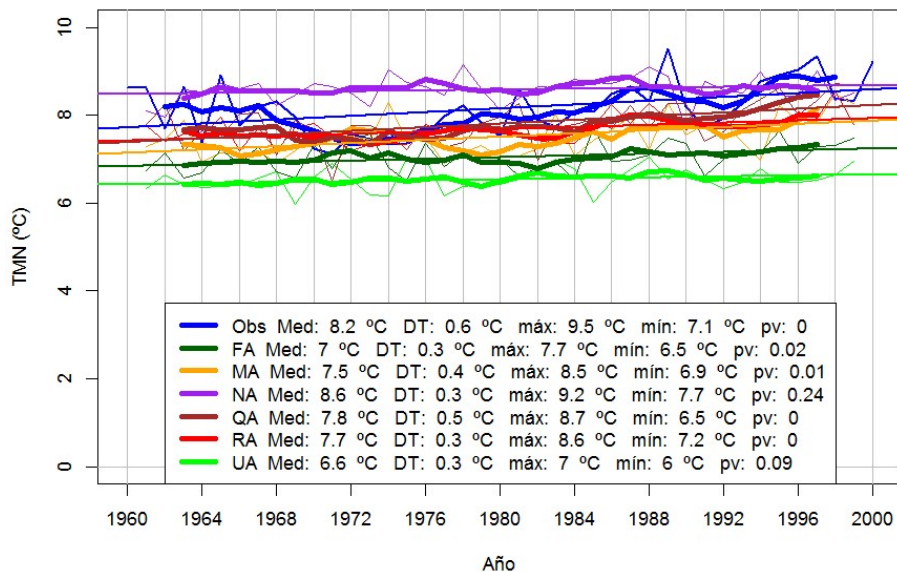
CAMREC



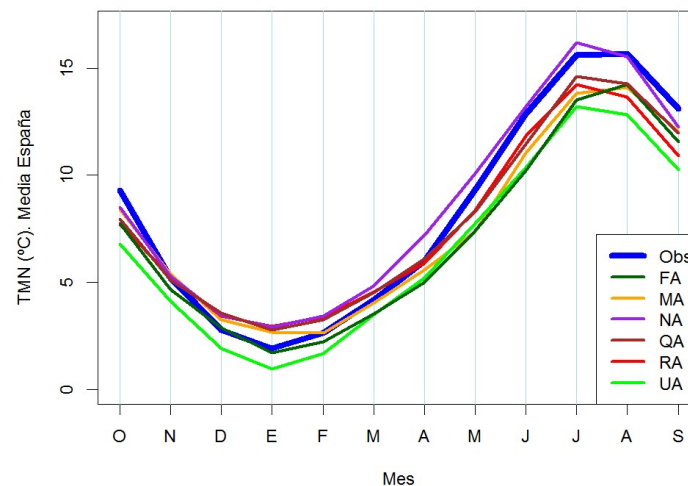


Periodo de control Temperatura

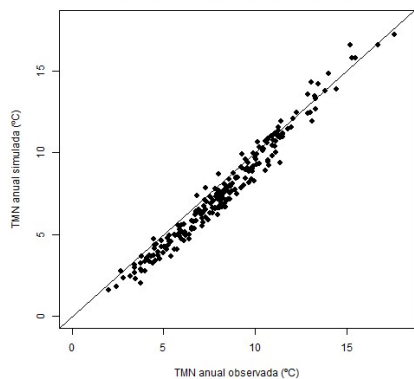
Evolucion de la TMN anual España



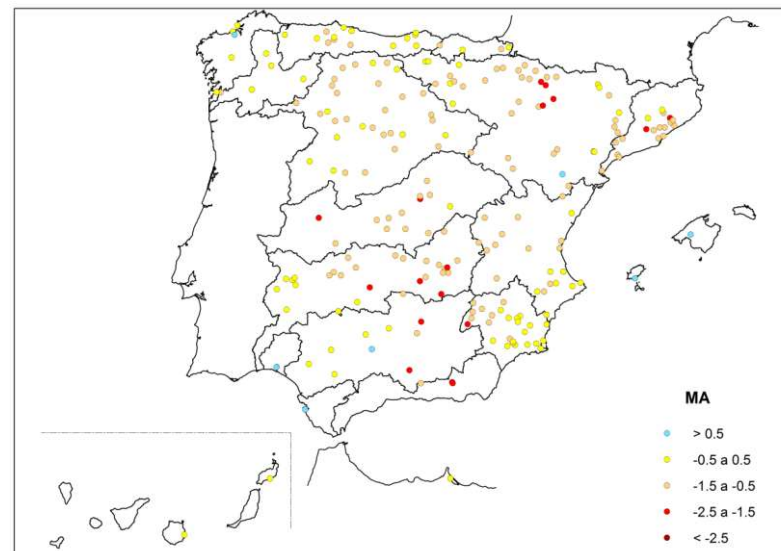
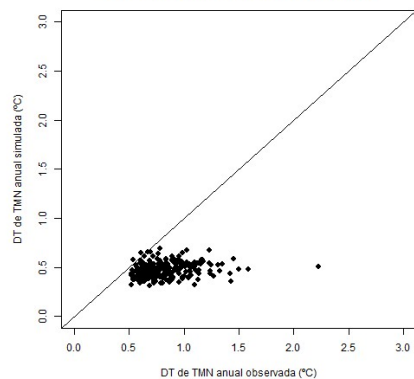
Contraste de TMN mensuales. España



Contraste de TMN anuales. España. MA



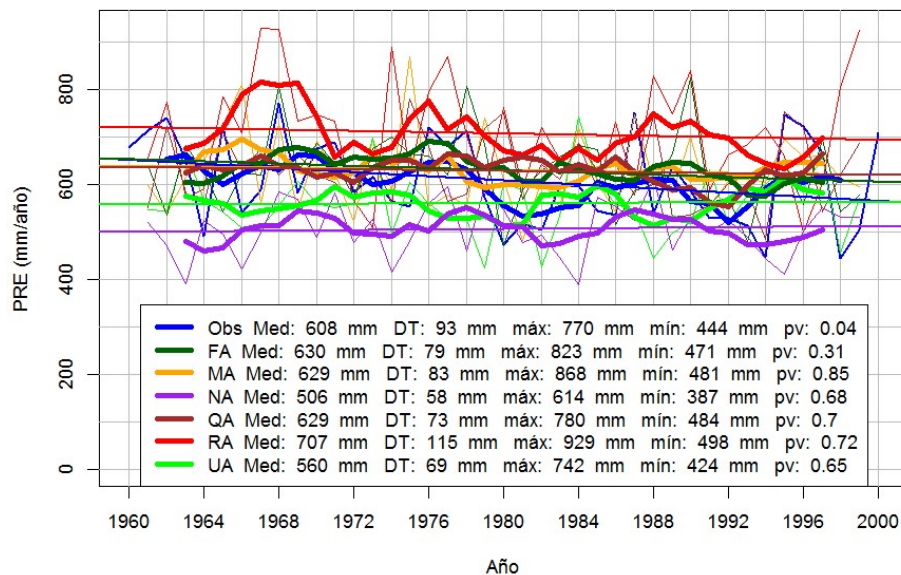
Contraste de DT de TMN anuales. España. MA



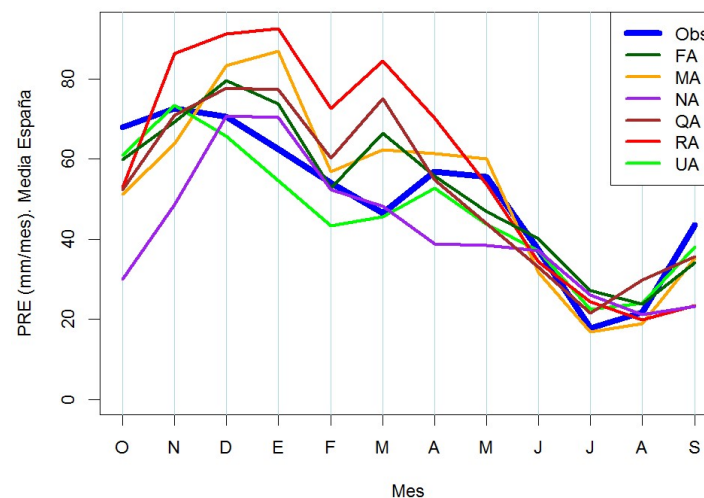


Periodo de control Precipitación

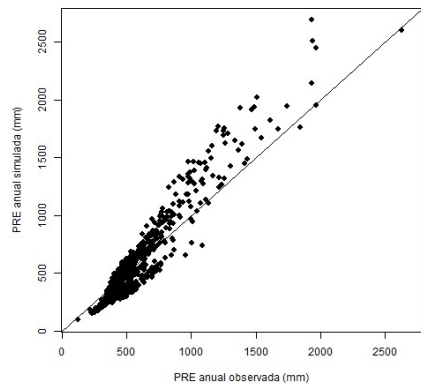
Evolucion de la PRE anual España



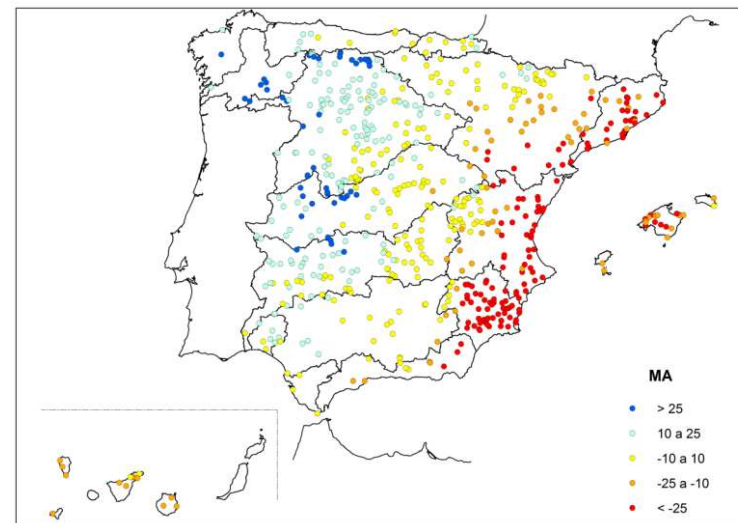
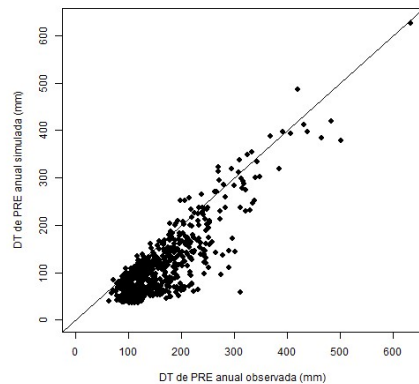
Contraste de PRE mensuales. España



Contraste de PRE anuales. España. MA



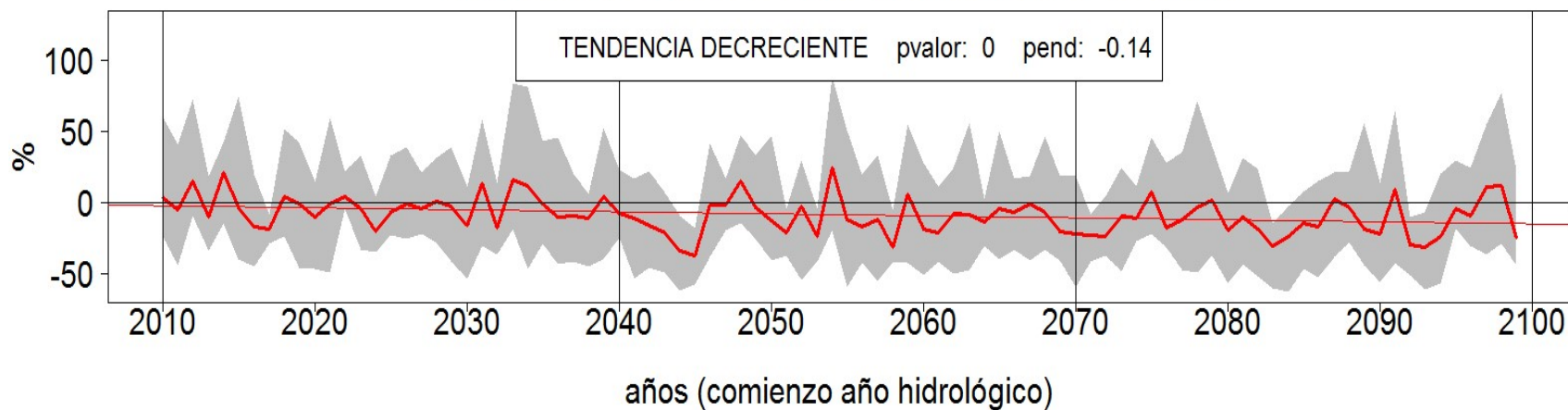
Contraste de DT de PRE anuales. España. MA



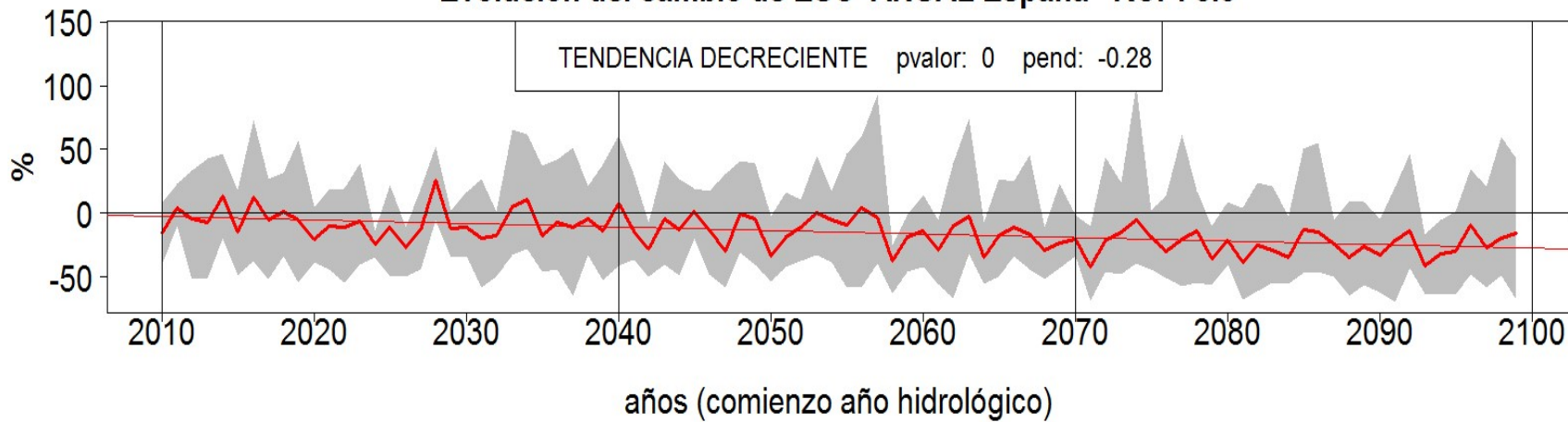


Tendencias escorrentía

Evolución del cambio de ESC ANUAL España RCP: 4.5



Evolución del cambio de ESC ANUAL España RCP: 8.5





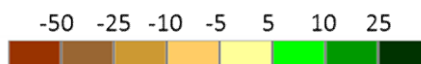
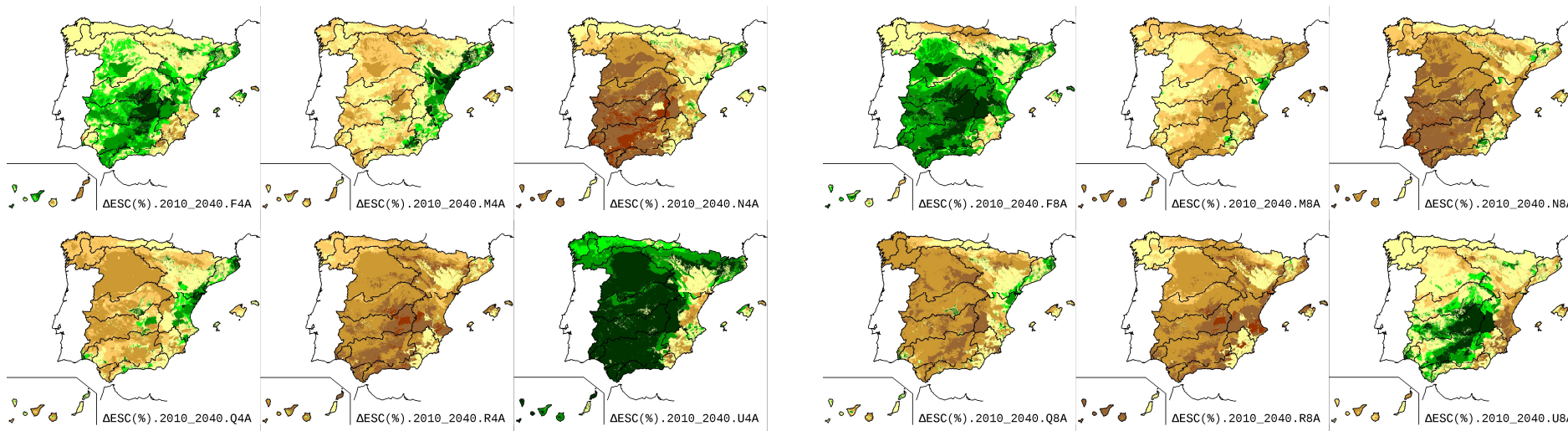
Cambios en escorrentía

Periodos 30 años / 1961-2000

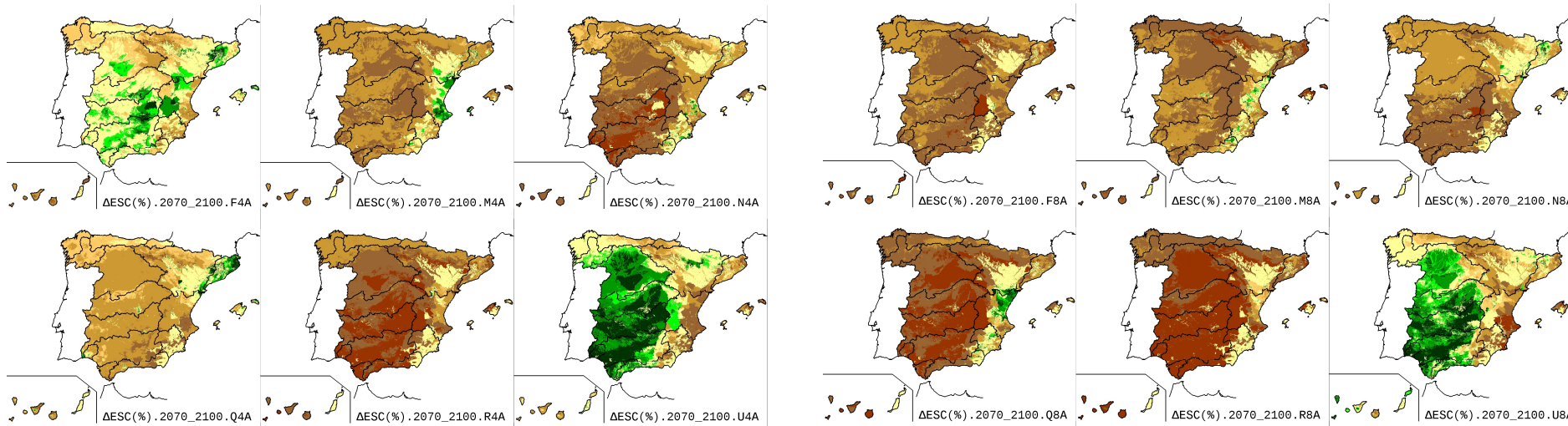
2010-40

RCP 4.5

RCP 8.5



2070-00

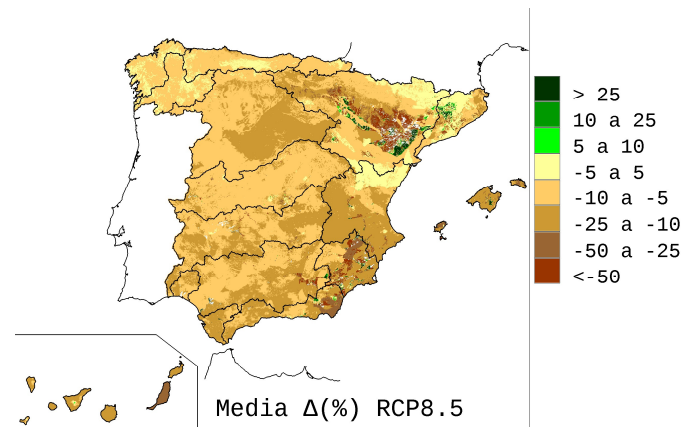
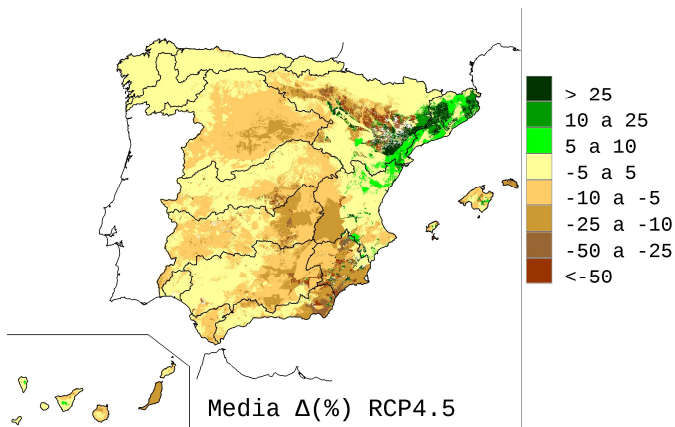




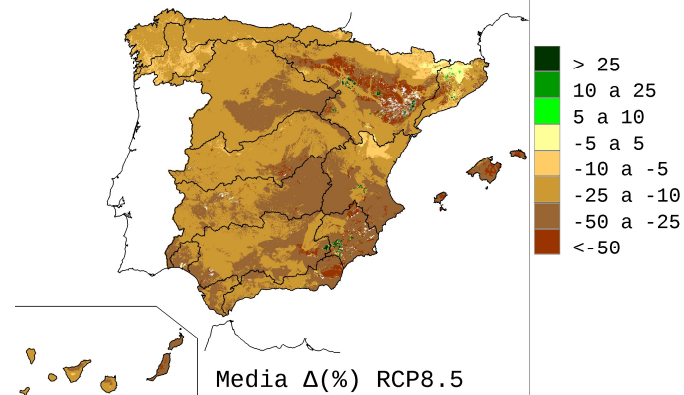
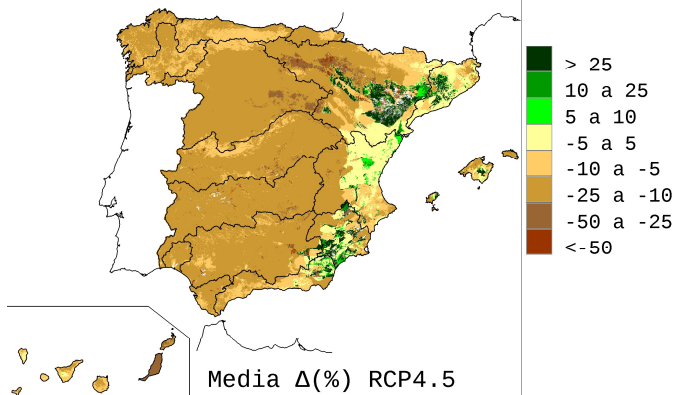
Cambios en escorrentía

Promedios

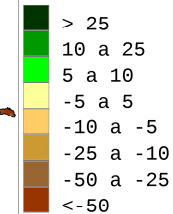
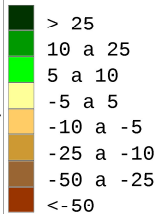
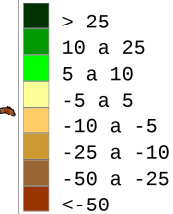
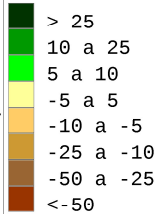
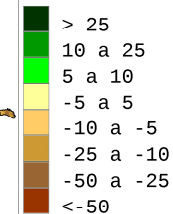
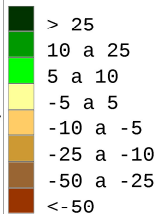
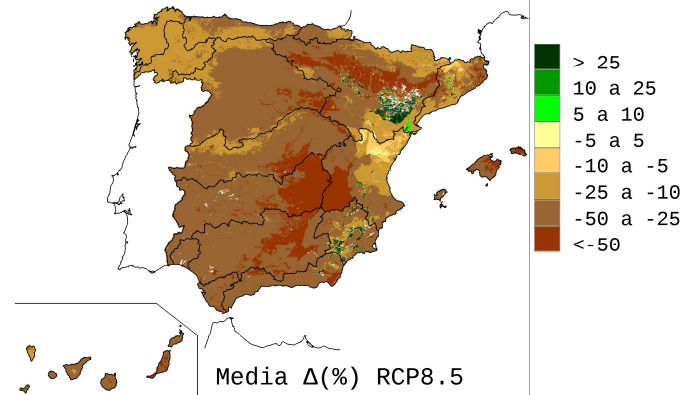
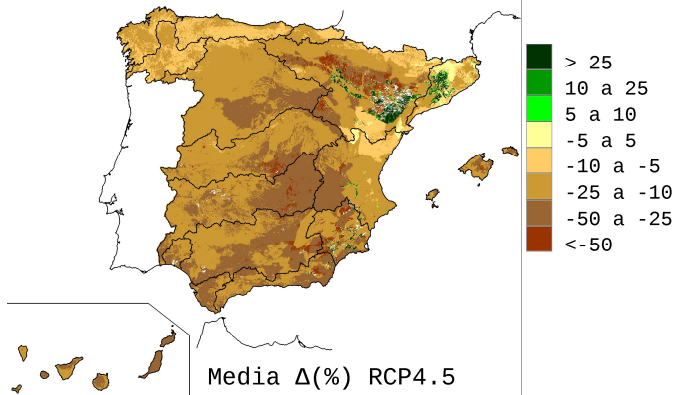
2010-40



2040-70



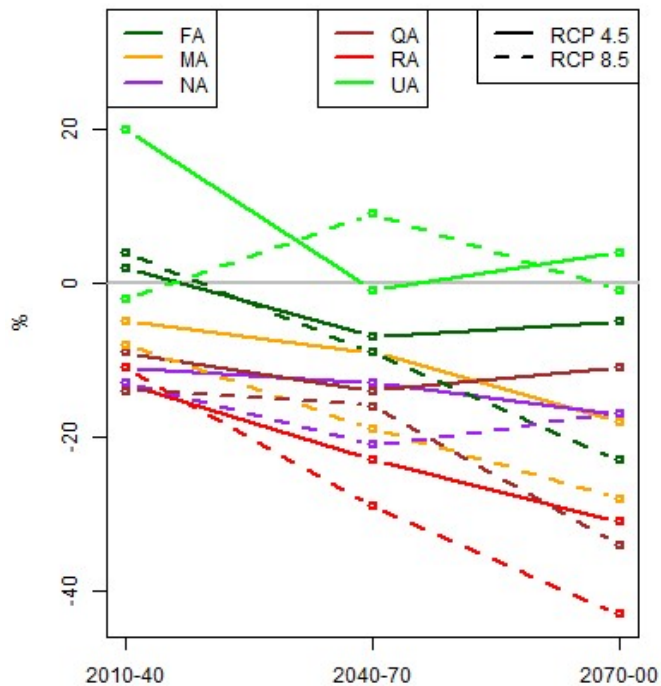
2070-00





Cambios en escurrentía España

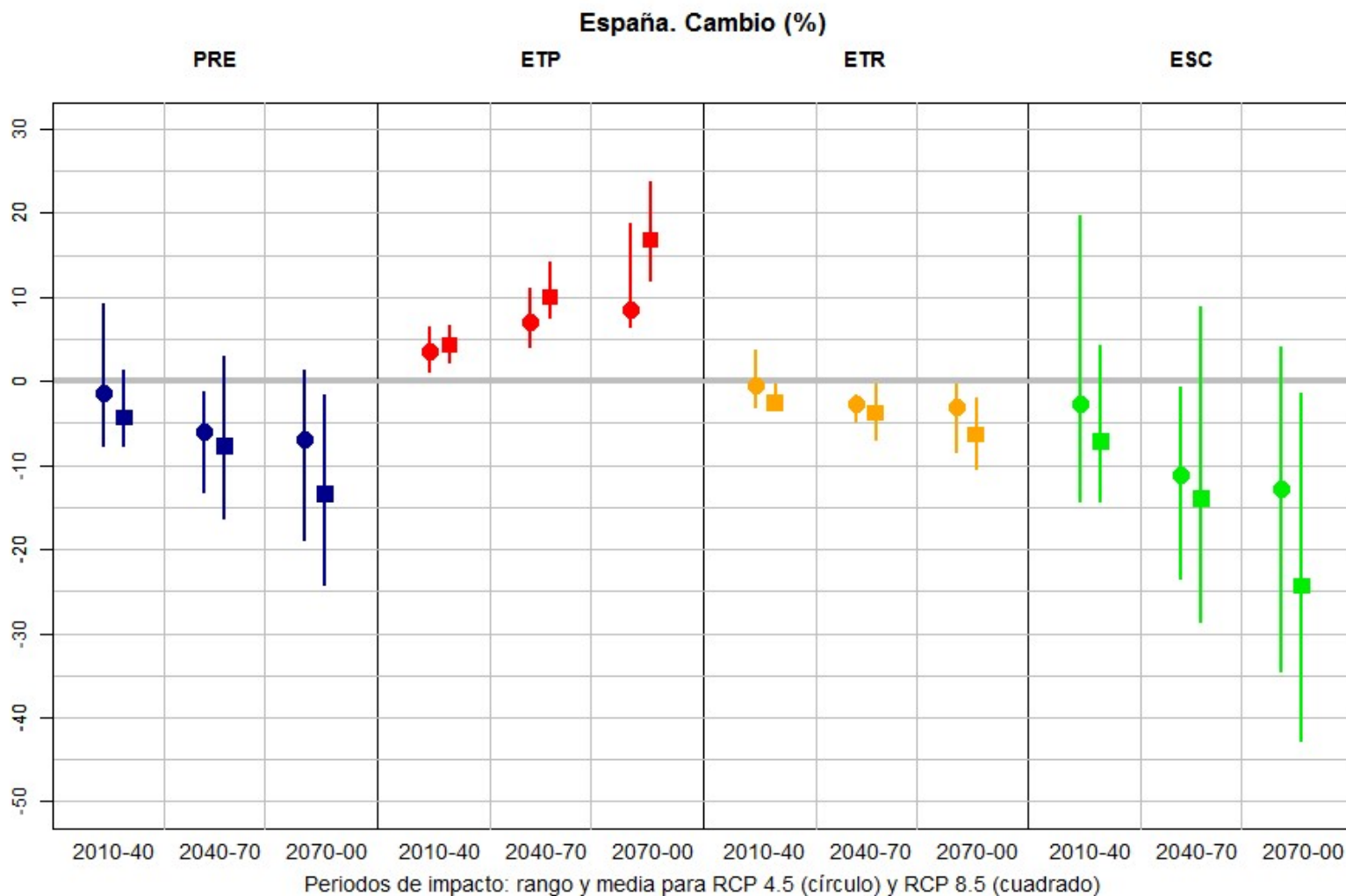
Cambio ESC ANUAL España



ESC ESPAÑA Δ Anual (%)	RCP 4.5									RCP 8.5								
	F4A	M4A	N4A	Q4A	R4A	U4A	Mx	Med	Mn	F8A	M8A	N8A	Q8A	R8A	U8A	Mx	Med	Mn
2010-2040	2	-5	-11	-9	-13	20	20	-3	-13	4	-8	-13	-14	-11	-2	4	-7	-14
2040-2070	-7	-9	-13	-14	-23	-1	-1	-11	-23	-9	-19	-21	-16	-29	9	9	-14	-29
2070-2100	-5	-18	-17	-11	-31	4	4	-13	-31	-23	-28	-17	-34	-43	-1	-1	-24	-43



Cambios en variables hidrológicas





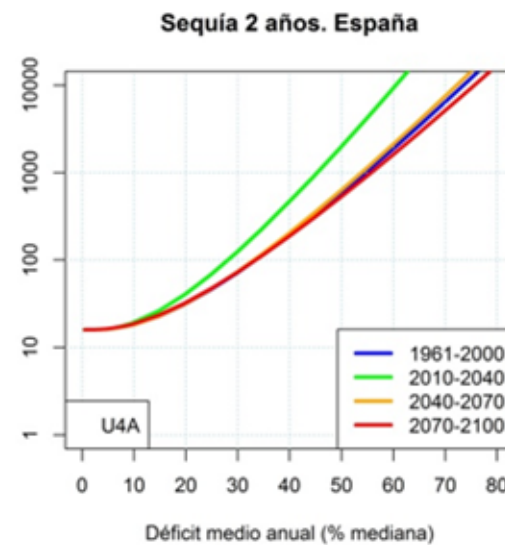
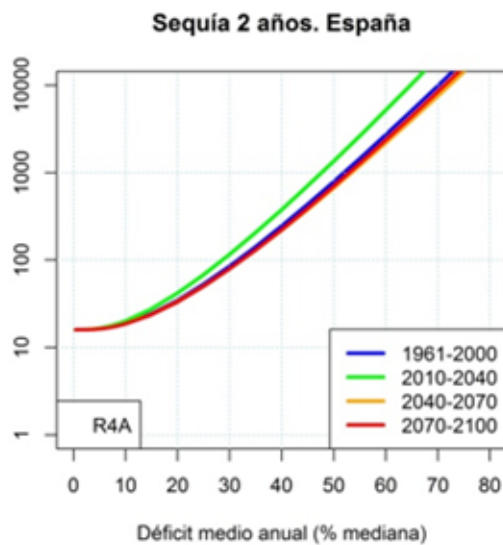
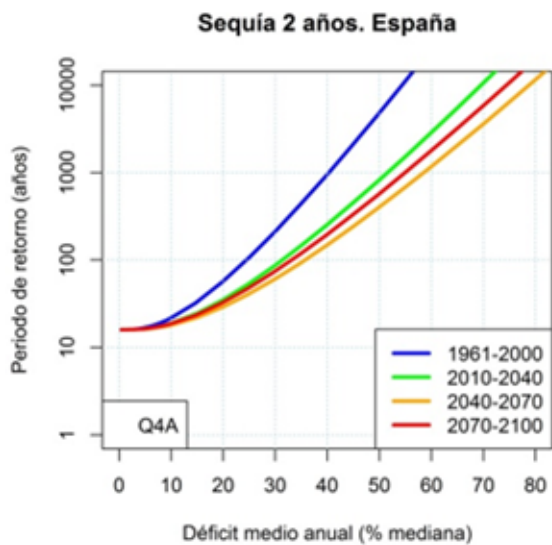
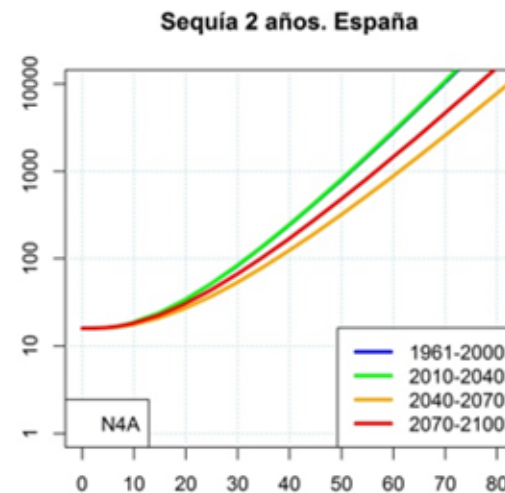
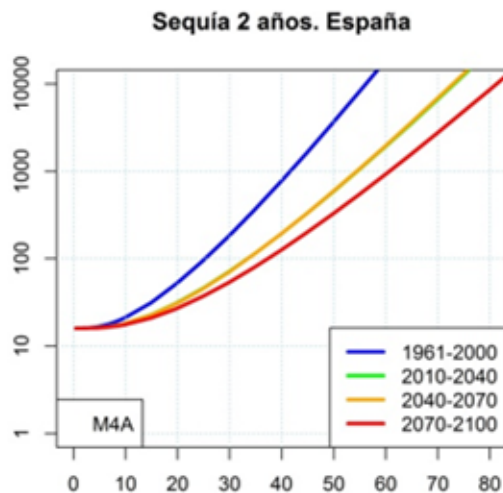
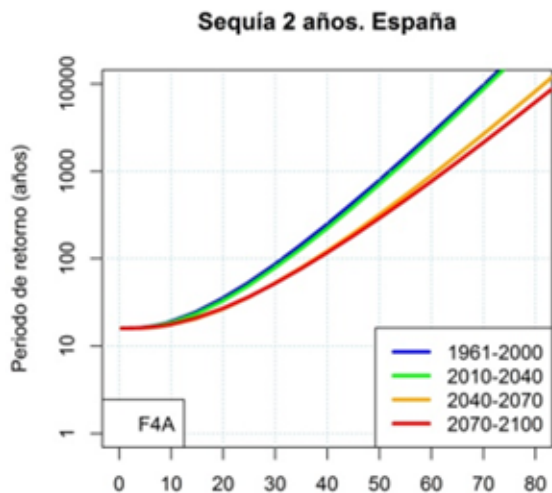
Cambios en escorrentía

Demarcaciones hidrográficas

ESC ΔAnual (%)		RCP 4.5									RCP 8.5								
		F4A	M4A	N4A	Q4A	R4A	U4A	Mx	Med	Mn	F8A	M8A	N8A	Q8A	R8A	U8A	Mx	Med	Mn
Miño-Sil	2010-2040	1	-5	-7	-10	-7	11	11	-3	-10	2	-6	-10	-14	-5	-3	2	-6	-14
	2040-2070	-8	-9	-12	-16	-16	-3	-3	-11	-16	-8	-15	-13	-14	-18	4	4	-11	-18
	2070-2100	-6	-17	-10	-9	-21	4	4	-10	-21	-18	-25	-13	-29	-29	-2	-2	-19	-29
Galicia Costa	2010-2040	0	-6	-4	-10	-6	10	10	-3	-10	1	-6	-8	-14	-4	-3	1	-6	-14
	2040-2070	-8	-10	-11	-16	-16	-4	-4	-11	-16	-8	-17	-11	-15	-17	2	2	-11	-17
	2070-2100	-8	-17	-10	-9	-19	2	2	-10	-19	-18	-26	-13	-29	-26	-4	-4	-19	-29
Cantábrico Oriental	2010-2040	-4	-8	2	-3	-10	5	5	-3	-10	-12	-11	-5	-1	-12	-1	-1	-7	-12
	2040-2070	-8	-18	-12	-10	-14	-7	-7	-12	-18	-10	-18	-11	-12	-21	-6	-6	-13	-21
	2070-2100	-7	-12	-12	-5	-17	-10	-5	-10	-17	-24	-38	-20	-25	-36	-15	-15	-26	-38
Cantábrico Occidental	2010-2040	0	-5	-1	-7	-8	8	8	-2	-8	-5	-9	-4	-7	-8	-2	-2	-6	-9
	2040-2070	-6	-13	-10	-12	-14	-3	-3	-10	-14	-8	-17	-13	-13	-21	-3	-3	-12	-21
	2070-2100	-4	-14	-12	-7	-18	-4	-4	-10	-18	-21	-34	-17	-27	-32	-9	-9	-23	-34
Duero	2010-2040	2	-7	-15	-12	-14	25	25	-3	-15	6	-5	-17	-19	-11	-5	6	-9	-19
	2040-2070	-10	-8	-14	-17	-27	1	1	-13	-27	-12	-20	-23	-19	-31	15	15	-15	-31
	2070-2100	-6	-21	-18	-13	-36	9	9	-14	-36	-23	-28	-15	-40	-46	3	3	-25	-46
Tajo	2010-2040	5	-4	-22	-10	-17	31	31	-3	-22	12	-5	-20	-20	-13	-4	12	-8	-20
	2040-2070	-6	-3	-14	-13	-29	3	3	-11	-29	-8	-19	-31	-16	-34	19	19	-15	-34
	2070-2100	-2	-20	-23	-13	-40	12	12	-14	-40	-23	-23	-18	-41	-51	7	7	-25	-51
Guadiana	2010-2040	9	-5	-35	-12	-23	46	46	-3	-35	18	-8	-30	-22	-20	5	18	-9	-30
	2040-2070	-6	-3	-21	-13	-36	9	9	-12	-36	-9	-23	-45	-19	-45	33	33	-18	-45
	2070-2100	1	-25	-37	-15	-50	22	22	-17	-50	-27	-26	-27	-50	-63	15	15	-30	-63
Guadalquivir	2010-2040	10	-4	-38	-11	-24	52	52	-2	-38	18	-10	-30	-22	-21	8	18	-10	-30
	2040-2070	-3	-2	-22	-10	-37	15	15	-10	-37	-6	-24	-51	-17	-48	35	35	-18	-51
	2070-2100	2	-22	-43	-16	-51	18	18	-19	-51	-30	-27	-32	-49	-67	13	13	-32	-67
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2010-2040	6	-4	-33	-6	-25	43	43	-3	-33	12	-11	-25	-18	-23	-1	12	-11	-25
	2040-2070	-4	-3	-15	-2	-36	11	11	-8	-36	-5	-25	-47	-17	-46	20	20	-20	-47
	2070-2100	0	-21	-39	-16	-49	6	6	-20	-49	-29	-25	-29	-42	-65	4	4	-31	-65
Guadalete y Barbate	2010-2040	10	-7	-38	-11	-25	48	48	-4	-38	15	-13	-31	-21	-21	6	15	-11	-31
	2040-2070	-2	-2	-21	-8	-37	14	14	-10	-37	-5	-27	-51	-18	-47	31	31	-20	-51
	2070-2100	1	-24	-43	-16	-52	12	12	-20	-52	-31	-27	-31	-49	-67	7	7	-33	-67
Tinto, Odiel y Piedras	2010-2040	1	-4	-36	-8	-21	54	54	-2	-36	14	-5	-36	-17	-22	-1	14	-11	-36
	2040-2070	-8	-6	-19	-4	-37	15	15	-10	-37	-14	-26	-51	-16	-46	34	34	-20	-51
	2070-2100	-1	-25	-44	-12	-50	25	25	-18	-50	-26	-24	-35	-48	-65	21	21	-29	-65
Segura	2010-2040	6	-4	-21	-13	-22	15	15	-7	-22	12	-13	-19	-23	-19	7	12	-9	-23
	2040-2070	-1	-7	-10	-18	-32	-1	-1	-11	-32	-10	-17	-37	-23	-48	-3	-3	-23	-48
	2070-2100	-6	-19	-28	-17	-43	-9	-6	-20	-43	-36	-30	-34	-44	-63	-17	-17	-38	-63
Júcar	2010-2040	5	1	-17	-7	-26	21	21	-4	-26	15	-12	-20	-20	-25	-4	15	-11	-25
	2040-2070	-6	-4	-7	-11	-34	-8	-4	-12	-34	-12	-21	-34	-22	-49	-7	-7	-24	-49
	2070-2100	-7	-16	-26	-18	-46	-11	-7	-21	-46	-36	-28	-26	-41	-62	-20	-20	-36	-62
Ebro	2010-2040	0	-6	-3	-7	-12	15	15	-2	-12	-3	-9	-7	-9	-10	-2	-2	-7	-10
	2040-2070	-9	-12	-10	-13	-19	-5	-5	-11	-19	-9	-19	-14	-16	-25	4	4	-13	-25
	2070-2100	-7	-16	-12	-10	-25	-3	-3	-12	-25	-25	-33	-14	-32	-40	-10	-10	-26	-40
Cuencas Internas de Cataluña	2010-2040	5	7	3	4	-9	24	24	6	-9	6	-17	-3	0	-8	-4	6	-4	-17
	2040-2070	-4	-8	1	6	-13	-6	6	-4	-13	3	-22	-11	-7	-15	4	4	-8	-22
	2070-2100	3	-15	-10	8	-20	-10	8	-8	-20	-20	-31	-3	-25	-27	-7	-3	-19	-31
Islas Baleares	2010-2040	1	-15	0	-7	-26	8	8	-7	-26	-3	-21	-12	-14	-40	-6	-3	-16	-40
	2040-2070	6	-17	-10	-7	-39	-13	6	-13	-39	-20	-35	-34	-21	-56	-19	-19	-31	-56
	2070-2100	-4	-19	-33	-10	-52	-24	-4	-24	-52	-28	-54	-28	-40	-69	-32	-28	-42	-69
Canarias	2010-2040	6	-10	-27	-9	-18	25	25	-6	-27	7	-22	-24	-4	-32	-11	7	-14	-32
	2040-2070	-10	-22	-22	-1	-26	22	22	-10	-27	-19	-29	-46	-27	-41	14	14	-25	-46
	2070-2100	-22	-22	-38	-18	-44	-11	-11	-26	-44	-33	-39	-25	-50	-60	3	3	-34	-60



Régimen de sequías España

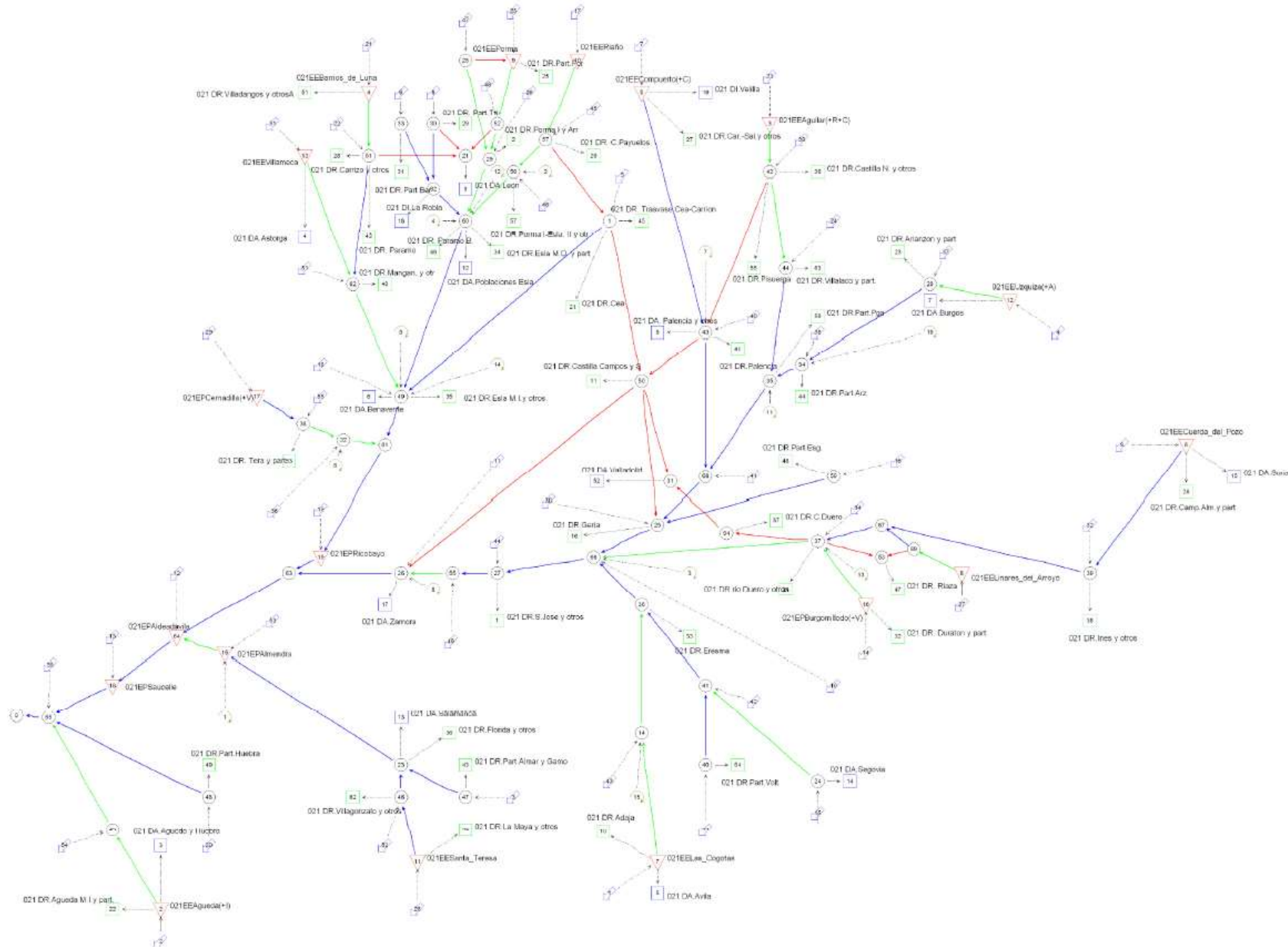




Cambio climático

Recursos disponibles

Centro de Estudios Hidrográficos



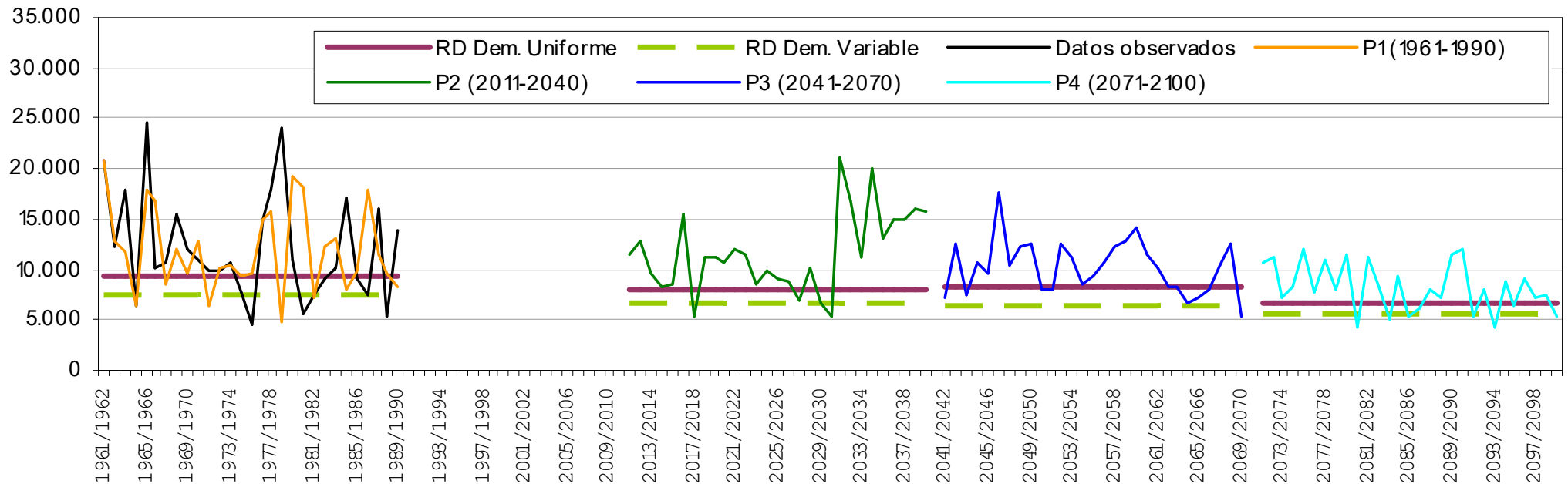
Esquema de optimización de la demarcación hidrográfica del Duero

Cambio climático

Recursos disponibles

Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible en la demarcación hidrográfica del Duero. CGCM2-FIC-A2

Centro de Estudios Hidrográficos



Efectos del cambio climático en recursos hídricos disponibles (2012)



Cambio climático

Efectos en la gestión de embalses

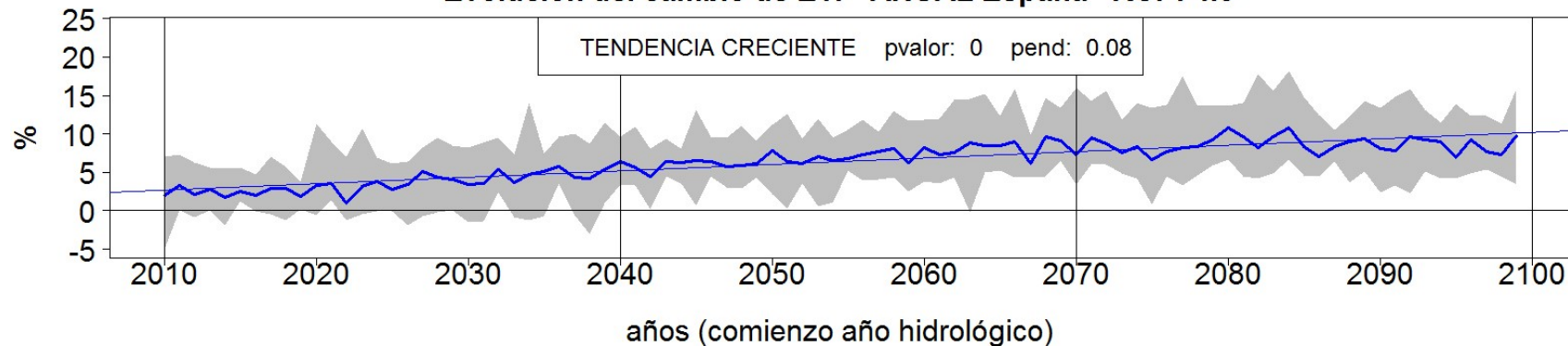
Evaporación



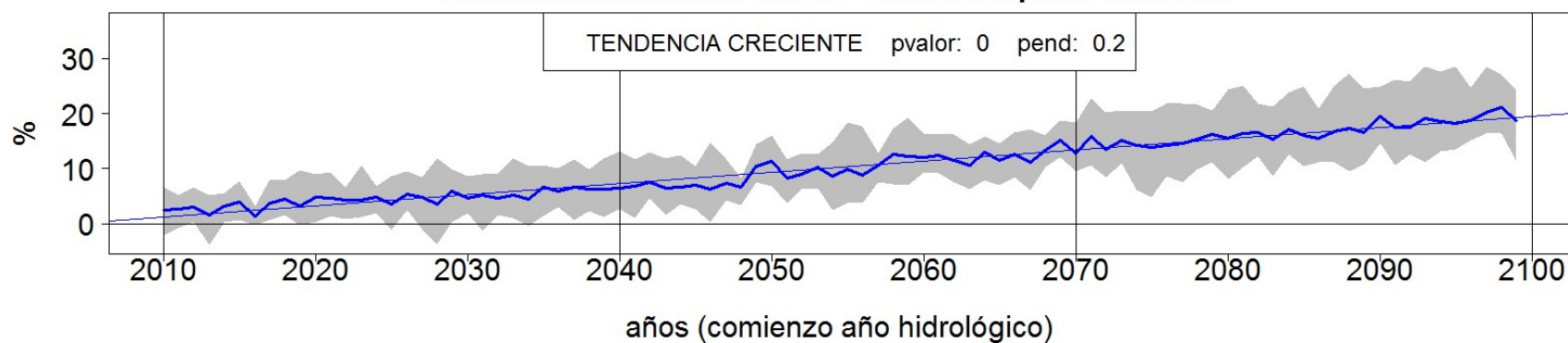
Tendencias

Evapotranspiración potencial

Evolución del cambio de ETP ANUAL España RCP: 4.5



Evolución del cambio de ETP ANUAL España RCP: 8.5





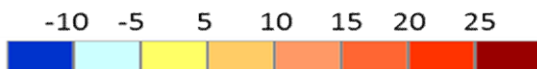
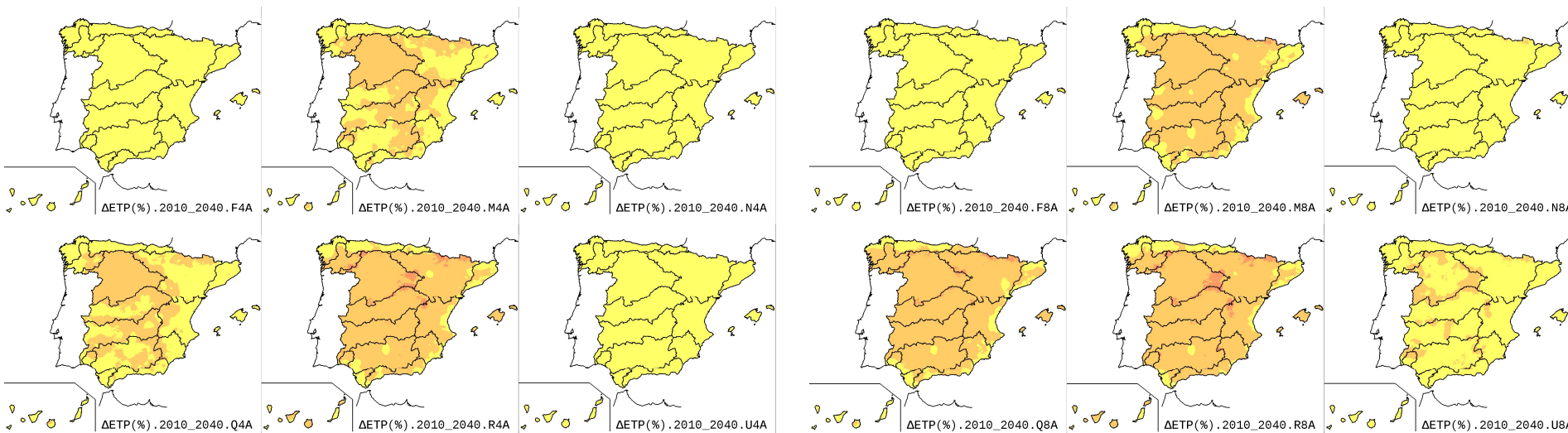
Cambios en ETP

Periodos 30 años / 1961-2000

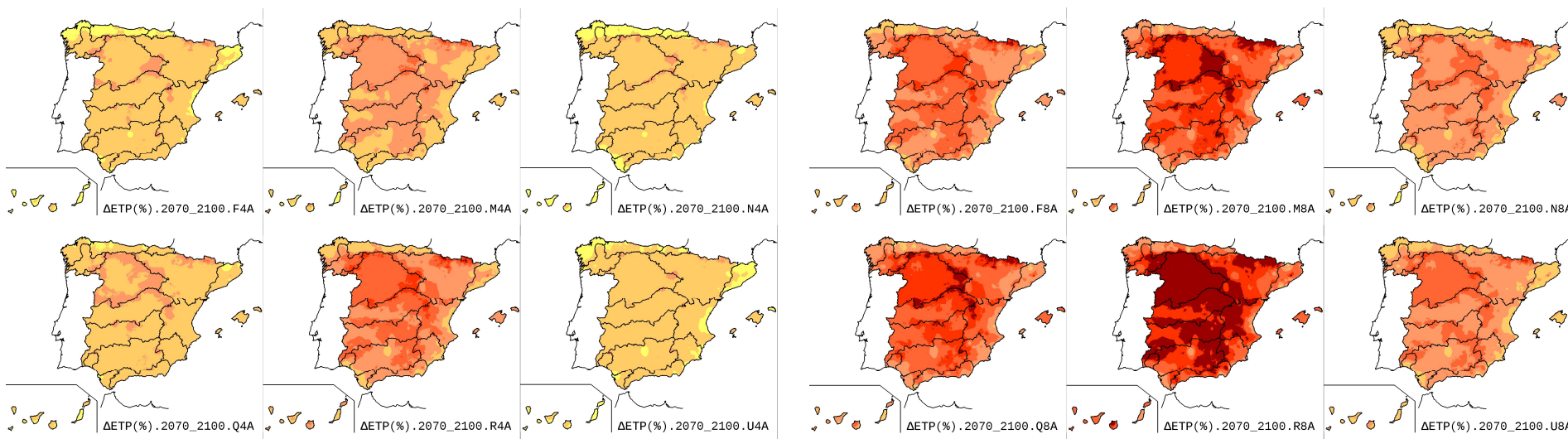
RCP 4.5

RCP 8.5

2010-40



2070-00





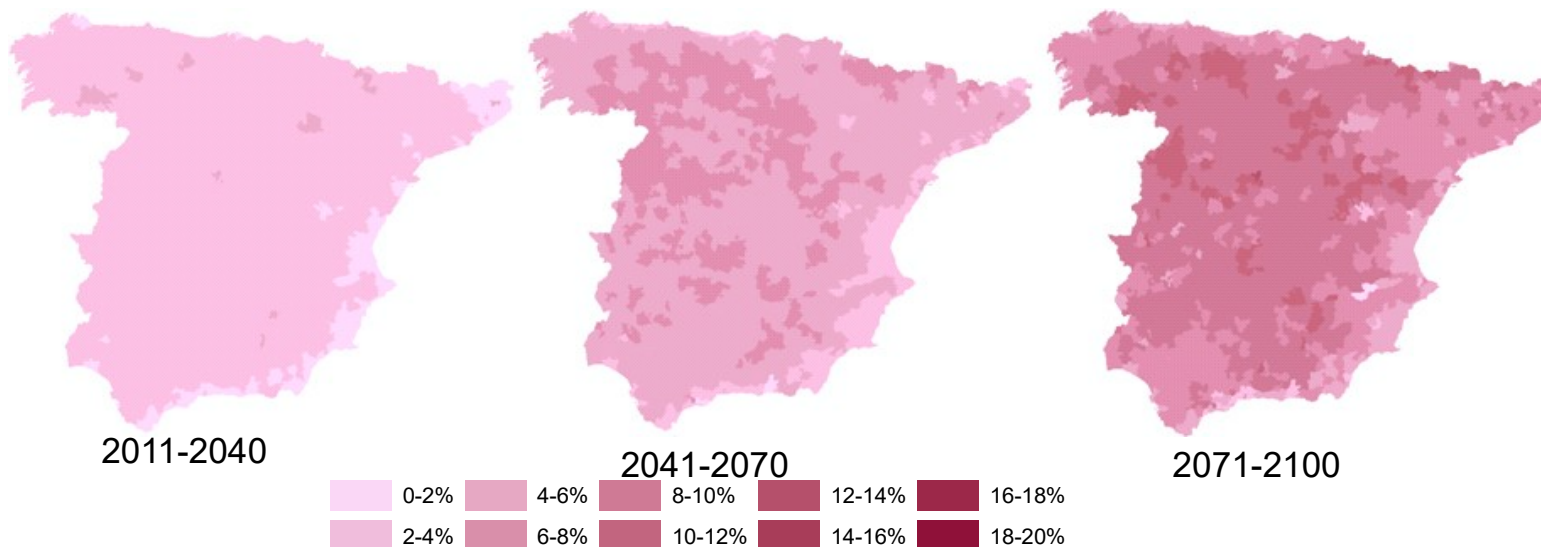
Cambio climático

Efectos en la gestión de embalses

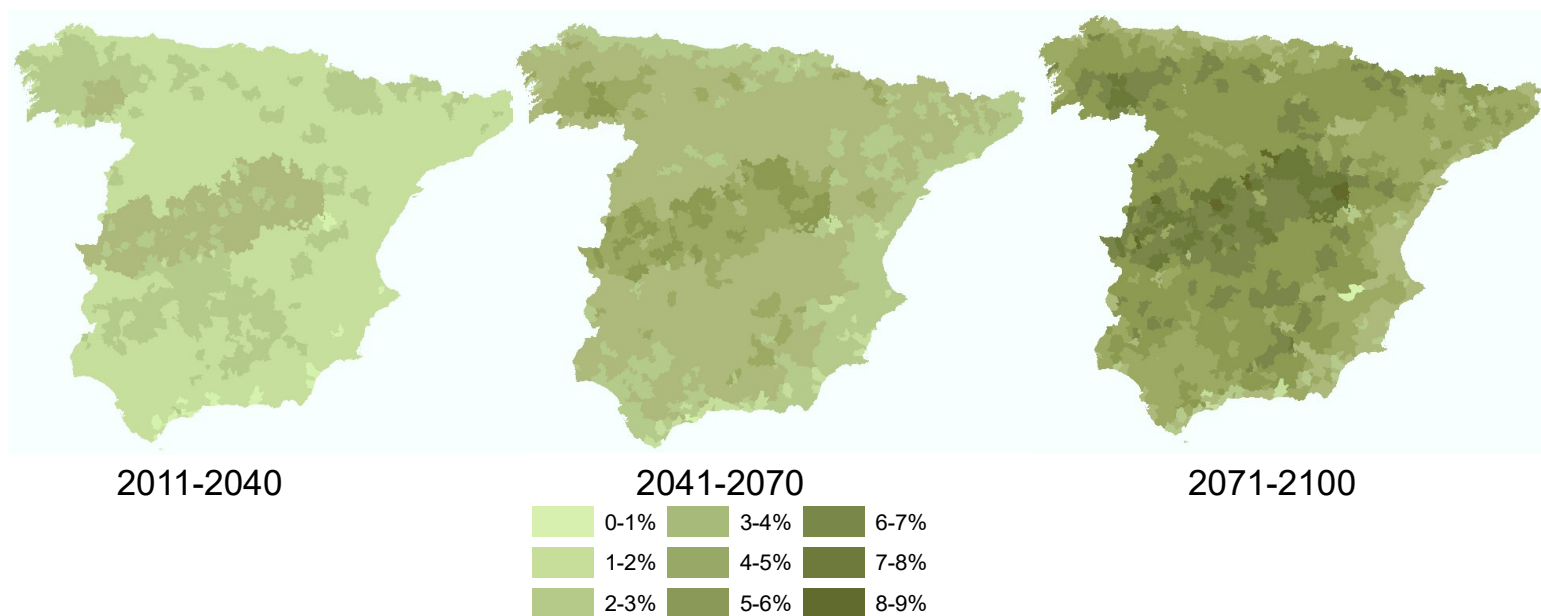
Demandas

Cambio climático

Abastecimiento urbano



Incremento de dotación en viviendas unifamiliares (ECHAM4 A2)



Incremento de dotación en viviendas plurifamiliares (ECHAM4 A2)

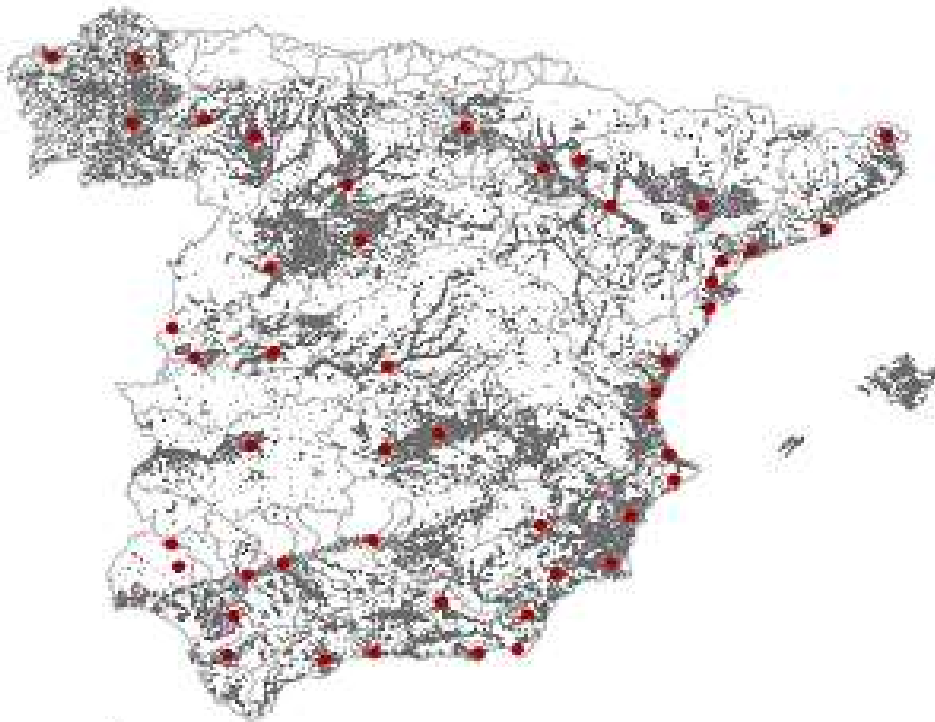
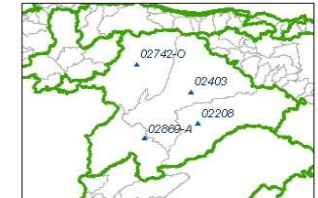
Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua (2012)



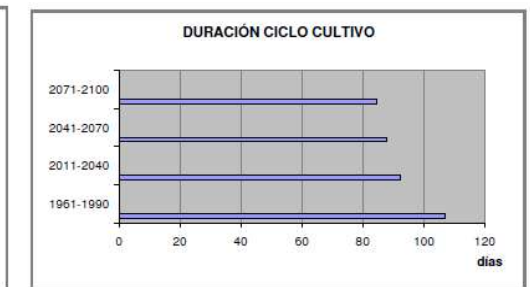
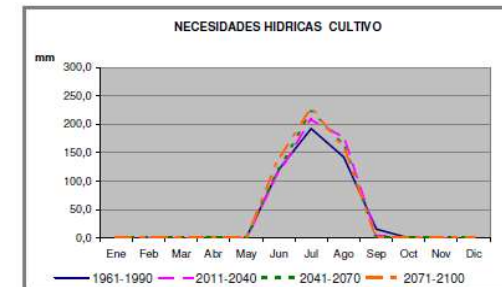
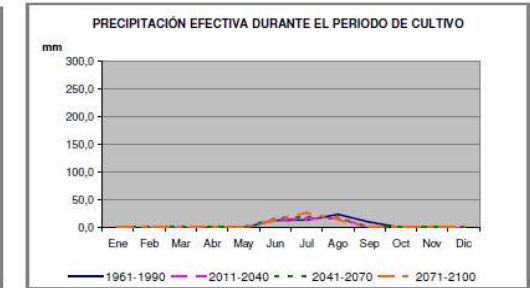
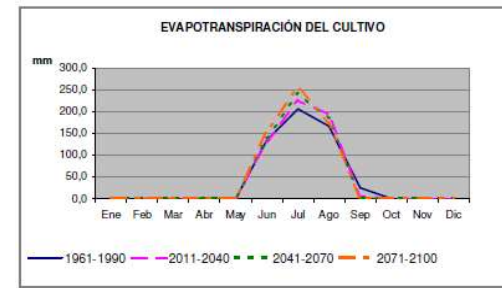
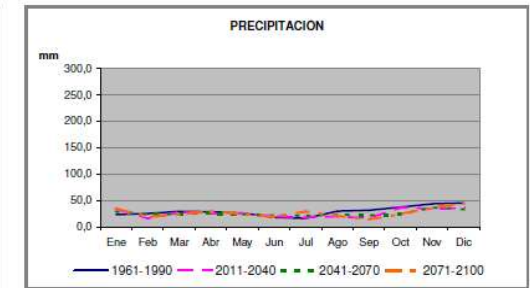
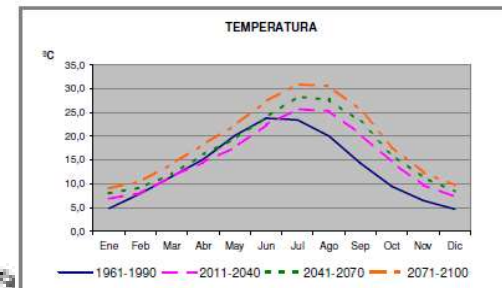
Cambio climático

Regadío

DEMARCAACION HIDROGRAFICA:	DUERO
SISTEMA DE EXPLOTACIÓN:	PISUERGA-CARRION-ARLANZA- DUERO INFERIOR
ESTACION REPRESENTATIVA:	2403
CULTIVO:	MAIZ
TÉCNICA REGIONALIZACIÓN:	FIC
MODELO CLIMÁTICO:	ECHAM4
ESCENARIO EMISIÓN:	A2
AREA DE RIEGO:	311501



Zonas de riego y estaciones de cálculo seleccionadas



Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua (2012)



Cambio climático

Efectos en la gestión de embalses

Otros factores

- Volumen máximo del embalse por control de crecidas (resguardos)
- Volumen mínimo por acumulación de sedimentos
- Gestión de la calidad del agua



Cambio climático

Referencias

- **Libro Blanco del Agua en España (2000)**

http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/LB_LibroBlancoAgua.htm

- **Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua (CEDEX, 2010-2012)**

http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/ImpactosCC_2012.htm

- **Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y las sequías en España (CEDEX, 2017)**

http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/EvaluacionimpactoCCsequiasEspaña2017.htm