



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible



COMUNICACIÓN TÉCNICA

Adaptación de la Metodología de generación de escenarios climáticos regionales al caso de Aragón.

Autor: M^a Rosa Pino Otín

Institución: Universidad San Jorge

E-mail: rpino@usj.es

Otros autores: Jaime Ribalaygua Batalla(Fundación para la investigación del Clima); Esther Roldán García(Universidad San Jorge); Luis Torres Michelena(Fundación para la investigación del Clima); María del Carre Díaz(Fundación para la investigación del Clima); Javier Portolés Marquina(Fundación para la investigación del Clima)

RESUMEN:

En este estudio se plantea la adaptación de la metodología estadística de generación de escenarios locales desarrollada por la FIC (Fundación para la Investigación del Clima) al ámbito geográfico de Aragón. La metodología de "downscaling" que se aplica en este estudio extrae de la información más fiable aportada por las simulaciones de los Modelos de Circulación General (MCGs) (información de baja resolución, en general de atmósfera libre) la información requerida por los modelos de impacto (información de alta resolución -local-, en superficie). En particular la utilizada en este caso es la metodología analógica que presentó mejores resultados en el Proyecto STARDEX. La cobertura y calidad de los bancos de datos históricos y de las series resulta determinante para maximizar la fiabilidad de los resultados finales. Por ello en este estudio se ha partido de las series climáticas históricas de las estaciones de la zona proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología, que se han cruzado con las series disponibles procedentes del Atlas Climático de Aragón de reciente publicación que han sufrido controles de calidad exhaustivos, relleno de lagunas y están homogeneizadas para la aplicación. La metodología de la FIC está totalmente desarrollada para las variables climáticas básicas (precipitación, temperaturas máximas y mínimas diarias) y también existen desarrollos para algunas de las variables derivadas (Integrales térmicas, índices de P/ETP, índice estandarizado de sequía pluviométrica, cambios en la distribución de pisos bioclimáticos), pero es necesario afrontar nuevos desarrollos para adaptar la metodología a los requerimientos de la evaluación de impactos. Esta tarea es una de las de mayor interés del proyecto desde el punto de vista de la innovación científica. En ella se realizarán las adaptaciones necesarias para permitir la inclusión de nuevos predictores, y la adecuación a las características requeridas para los escenarios. La adaptación de esta metodología permitirá la generación de escenarios climáticos regionales para Aragón que a su vez permitirán el estudio de impacto del cambio climático en Aragón como base para la propuesta de medidas y definición de políticas de adaptación a escala regional.

INDICE

- I- INTRODUCCIÓN
- II- MATERIAL Y METODODOS
 - 3.1. Aproximaciones del DOWNSCALING
 - 3.2. Incertidumbres asociadas a la simulación climática
 - 3.3. Consideraciones teóricas sobre el downscaling estadístico
 - 3.4. Descripción de la metodología
- III- RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN
- IV- BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

El cuarto y último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) presentado en París en febrero de 2007, mantiene que el calentamiento global es inequívoco y se atribuye a la acción del hombre con una certidumbre superior al noventa por ciento (IPCC, 2007).

Los Informes del IPCC son elaborados por más de 2600 científicos, en base a investigaciones científicas publicadas en revistas de impacto y avaladas científicamente. Todos los países que integran la ONU pueden exigir la participación en las revisiones de los científicos que elijan. Y al final, cada una de las frases del informe debe aprobarse, no por mayoría, sino por unanimidad.

Por tanto, la discusión sobre si hay cambio climático registrado, si su origen es humano, o si va a aumentar en el futuro, es ya obsoleta desde un punto de vista científico. Ahora el debate debe centrarse en cuáles van a ser los efectos de ese cambio, qué vamos a hacer para luchar contra esta problemática, y cuándo.

Además, como dice el Informe Stern del gobierno británico, el coste del cambio climático si no modificamos nuestra actitud actual será mucho mayor que el de adoptar medidas mitigadoras y de adaptación.

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el Protocolo de Kyoto ha sido un instrumento que ha supuesto un gran avance en este sentido. Pero esto no es suficiente; los efectos de las emisiones pasadas ya se están haciendo notar e irremediablemente van a tener consecuencias por mucho que se consiguiera reducir las emisiones de GEI. Por tanto es necesario adaptarse a los cambios que se están empezando a producir.

Para diseñar políticas de adaptación, buscando minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos, es necesario evaluar el impacto del cambio climático en cada uno de los sectores afectados (recursos hídricos, forestal, agrícola, ecología/biodiversidad, energía, turismo, salud, erosión, urbanismo, usos del suelo, transporte, presión migratoria, seguridad alimentaria...).

Es por ello que las distintas administraciones del estado Español, preocupadas por el cambio climático y sus posibles efectos están poniendo en marcha diversas actuaciones que permitan su evaluación y la definición de medidas mitigadoras para frenar en lo posible dicha tendencia.

A nivel estatal y como marco de referencia para la coordinación entre las administraciones Públicas en las actividades de este contexto, el Ministerio de Medio ambiente, a través de la Oficina Española de cambio Climático, puso en marcha el Plan nacional de Adaptación al Cambio Climático, que permitió la generación de un primer grupo de escenarios climáticos para España a la escala adecuada para su utilización por la comunidad de impactos.

En contra de lo que algunos sectores de la sociedad pueden pensar, la generación de escenarios climáticos debe consistir en un proceso repetitivo, no sólo porque los avances científicos permiten disminuir continuamente las incertidumbres asociadas a las

simulaciones, sino porque además conforme pasa el tiempo se modifican las hipótesis de trabajo sobre comportamientos socio económicos y de población que influyen en emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera.

En este mismo sentido el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón ha adjudicado a la FIC, el “diseño, análisis y generación de los escenarios de cambio climático de Aragón”, cuya finalidad es “obtener escenarios climáticos para el siglo XXI, con los requerimientos necesarios para hacerlos utilizables en la modelización de impactos del cambio climático sobre múltiples sistemas: recursos hídricos, agricultura, demanda energética, salud, ecosistemas, turismo...”, en este proyecto se cuenta con la colaboración de la Universidad San Jorge por su conocimiento del territorio y la Dirección Técnica de la Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón.

Durante el desarrollo de dicho estudio se aplicará la metodología estadística de generación de escenarios locales desarrollada por la FIC, que ya ha sido verificada con éxito y aplicada en varios proyectos internacionales, nacionales y autonómicos, utilizando como información histórica la recogida en los observatorios meteorológicos del territorio Aragonés.

La metodología de la FIC está totalmente desarrollada para las variables climáticas básicas (precipitación, temperaturas máximas y mínimas diarias) y también existen desarrollos para algunas de las variables derivadas (Integrales térmicas, índices de P/ETP, índice estandarizado de sequía pluviométrica, cambios en la distribución de pisos bioclimáticos), pero es necesario afrontar nuevos desarrollos para adaptar la metodología a los requerimientos de la evaluación de impactos. Esta tarea es una de las de mayor interés del proyecto desde el punto de vista de la innovación científica.

La presente Comunicación Técnica Escrita se centra únicamente en los resultados de la primera fase del proyecto, durante la cual se ha realizado una nueva verificación de la metodología con los datos aportados y elaborados durante la generación del Atlas Climático de Aragón, editado por el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

MATERIAL Y METODOS

La principal herramienta para simular el clima de las próximas décadas son los denominados Modelos de Circulación General (MCGs). Estos modelos (Huebener et al., 2007) simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre los puntos de una red tridimensional que se extiende por la atmósfera, los océanos y las capas superiores de la litosfera y criosfera (ver figura 1). Mediante la integración temporal de estos flujos, se obtienen evoluciones simuladas de los estados atmosféricos.

Los MCGs más avanzados inician sus simulaciones en el siglo XIX con los forzamientos radiativos de la era preindustrial, y van modificando dichos forzamientos según los registros o estimas de las concentraciones históricas de GEI y aerosoles. Cuando la integración alcanza el presente y se interna en el futuro, las concentraciones de estos agentes se estiman en función de previsiones de la actividad humana (desarrollo económico, políticas energéticas y forestales...).

Estos MCGs muestran una capacidad notable para reproducir las principales características de la circulación general atmosférica (células de Hadley, cinturones extratropicales de borrascas...), pero si se analizan sus resultados a menor escala (escala regional), su funcionamiento difiere en general al observado, al menos para variables de superficie (Trigo y Palutikof, 2001).

Existen varias razones para explicar estas limitaciones (von Storch, 1994), derivadas de la insuficiente resolución espacial de estos modelos, que actualmente es de unos 2° o 3° de latitud x longitud. Una de las más importantes es la insuficientemente detallada descripción de la topografía (cordilleras, líneas de costa, etc.), y por tanto, de los forzamientos que ésta misma ejerce sobre el clima, de extraordinaria importancia a escala regional (ver figura 2).

Por otra parte, en la mayor parte de los estudios de evaluación de impactos se requieren escenarios climáticos con resolución local y además de variables cercanas a la superficie terrestre (temperatura a 2 m, precipitación...). Se hace por tanto necesario extraer de la información más fiable aportada por las simulaciones de los MCGs (configuraciones de baja resolución preferentemente de atmósfera libre) la información requerida por los modelos de impacto (información de alta resolución -local-, en superficie). Este proceso se denomina "downscaling".

2.1. APROXIMACIONES DE "DOWNSCALING"

La bibliografía (Murphy, 1999) apunta dos posibles aproximaciones al problema:

- 1) Aproximaciones estadísticas ("downscaling" estadístico) (Goodess et al., 2007; Gutiérrez et al., 2004). Se obtienen relaciones empíricas entre variables a gran escala (predictores), y las variables de las que queremos obtener la predicción (predictandos: precipitación, temperatura...). Los escenarios se construyen aplicando esas relaciones a los campos de gran escala generados por los MCGs.
- 2) Aproximaciones por modelización dinámica ("downscaling" dinámico) (Déqué et al., 2005). Consiste en incrementar la resolución del modelo sobre el territorio de interés, bien mediante una técnica de "zoom" de la propia rejilla del MCG, bien

mediante el anidamiento de un Modelo Regional del Clima (MRC), en las condiciones de contorno suministradas por el MCG.

Ambas aproximaciones tienen limitaciones, pero aportan una valiosa información.

2.2. INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LA SIMULACIÓN CLIMÁTICA

Existen distintos tipos de incertidumbre que afectan a toda simulación climática:

- Incertidumbre en la evolución de los forzamientos radiativo (GEI y aerosoles), dependiendo del modelo de desarrollo económico, energético y social. Esta incertidumbre se considera integrando el MCG varias veces, cada una de ellas con una evolución del forzamiento diferente (una continuista del actual esquema socioeconómico, otra en la que se disminuye fuertemente el consumo de combustibles fósiles...)
- Incertidumbre en la capacidad del MCG de simular el clima futuro. Se considera trabajando con futuros climáticos generados por varios MCGs.
- Incertidumbre por la variabilidad interna del sistema climático. Aún con el mismo forzamiento radiativo el clima presenta variaciones debido a su dinámica no-lineal. Se considera trabajando con diversas salidas del mismo MCG con el mismo forzamiento, pero variando las condiciones iniciales (simulaciones en "ensemble").
- Para el downscaling estadístico, incertidumbre en la estacionaridad de las relaciones estadísticas empleadas. Esta incertidumbre se intenta de disminuir buscando relaciones que consideren de forma eficaz la mayor parte de las relaciones físicas causa / efecto existentes entre predictores y predictandos.

Es muy importante considerar estas incertidumbres y tratar de cuantificarlas en los escenarios de clima futuro. La comunidad científica ha asumido esta necesidad, que está presente en todas los proyectos recientes (Hewitt, 2005). En este nuevo contexto, el downscaling estadístico toma mayor relevancia, ya que su bajo coste computacional permite aplicarlo a multitud de salidas de MCGs (diferentes MCGs, diferentes escenarios de emisiones, y diferentes miembros "ensemble")

2.3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE EL DOWNSCALING ESTADÍSTICO

Para superar las limitaciones del downscaling estadístico que la bibliografía sugiere, es importante hacer la selección de predictores bajo consideraciones teóricas, y teniendo en cuenta el uso final de la metodología. Por ello, en la selección o desarrollo de una metodología de downscaling estadístico deben tenerse siempre presentes las siguientes ideas:

1. El problema de las relaciones no-estacionarias y el "overfitting": los predictores deben ser forzamientos físicos de los predictandos (esos vínculos físicos no cambiarán)
2. Las características y limitaciones de los MCGs: usar predictores simulados con fiabilidad por el MCG. Considerar también la resolución espacial y temporal del MCG

3. No debe hacerse estratificación estacional en la búsqueda de relaciones, porque las características de las estaciones pueden variar en un escenario de cambio climático

De acuerdo con estas ideas, se pueden hacer algunas consideraciones generales sobre la selección de predictores:

- De acuerdo con la idea 1:
 - o Seleccionar predictores bajo consideraciones teóricas, más que análisis empíricos, que no garantizan relaciones físicas. Los predictores deben ser forzamientos físicos de los predictandos, y las relaciones a buscar deben ser las que mejor reflejen esos vínculos físicos, que se mantendrán en el futuro, incluso en un contexto de cambio climático.
- De acuerdo con la idea 2:
 - o Usar como predictores patrones espaciales mejor que valores puntuales (menos fiables en los MCGs). Además, los patrones aportan información sobre flujos, advecciones...
 - o Usar variables de atmósfera libre, mejor simuladas que las de superficie.
 - o Usar variables que sean fiablemente simuladas por los MCGs para el futuro: diferencias con la predicción operativa
 - o No ajustarse a la resolución temporal o espacial del MGC supone “perder información”. Muchos forzamientos físicos sólo se captan usando resoluciones finas. Por ello, debería trabajarse a escala diaria y sinóptica.
- De acuerdo con la idea 3:
 - o No hacer estratificación estacional en la búsqueda de relaciones
- Otras recomendaciones:
 - o Usar metodologías capaces de captar relaciones no-lineales entre predictores y predictandos
 - o Los predictandos obtenidos deben tener coherencia espacial y meteorológica. Existen técnicas para garantizar esta coherencia
 - o Se deben simular adecuadamente los valores extremos de los predictandos, evitando el “suavizado de extremos”. Para ello se puede incluir un postproceso.

2.4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología de downscaling de la Fundación para la Investigación del Clima (ver figura 1) es estadística. En un primer paso se seleccionan de un banco de datos de referencia del pasado, las situaciones atmosféricas de baja resolución más parecidas a la del día problema. En un segundo paso se realiza, entre la población de días análogos seleccionados, una regresión lineal múltiple con selección automática de predictores, y se aplica esa regresión a los valores de los predictores (p.ej. configuraciones simuladas por el MCG) del día problema, para estimar el valor del predictando (temperaturas máxima y mínima y precipitación diarias) en dicho día. La ejecución de este segundo paso (es decir, la búsqueda de relaciones predictores / predictando) tras una estratificación previa (la del paso 1), que selecciona días similares al día problema en cuanto a nubosidad y precipitación (la medida de similitud se ajustó con ese objetivo), permite reducir mucho la no linealidad en las relaciones entre predictores y predictandos.

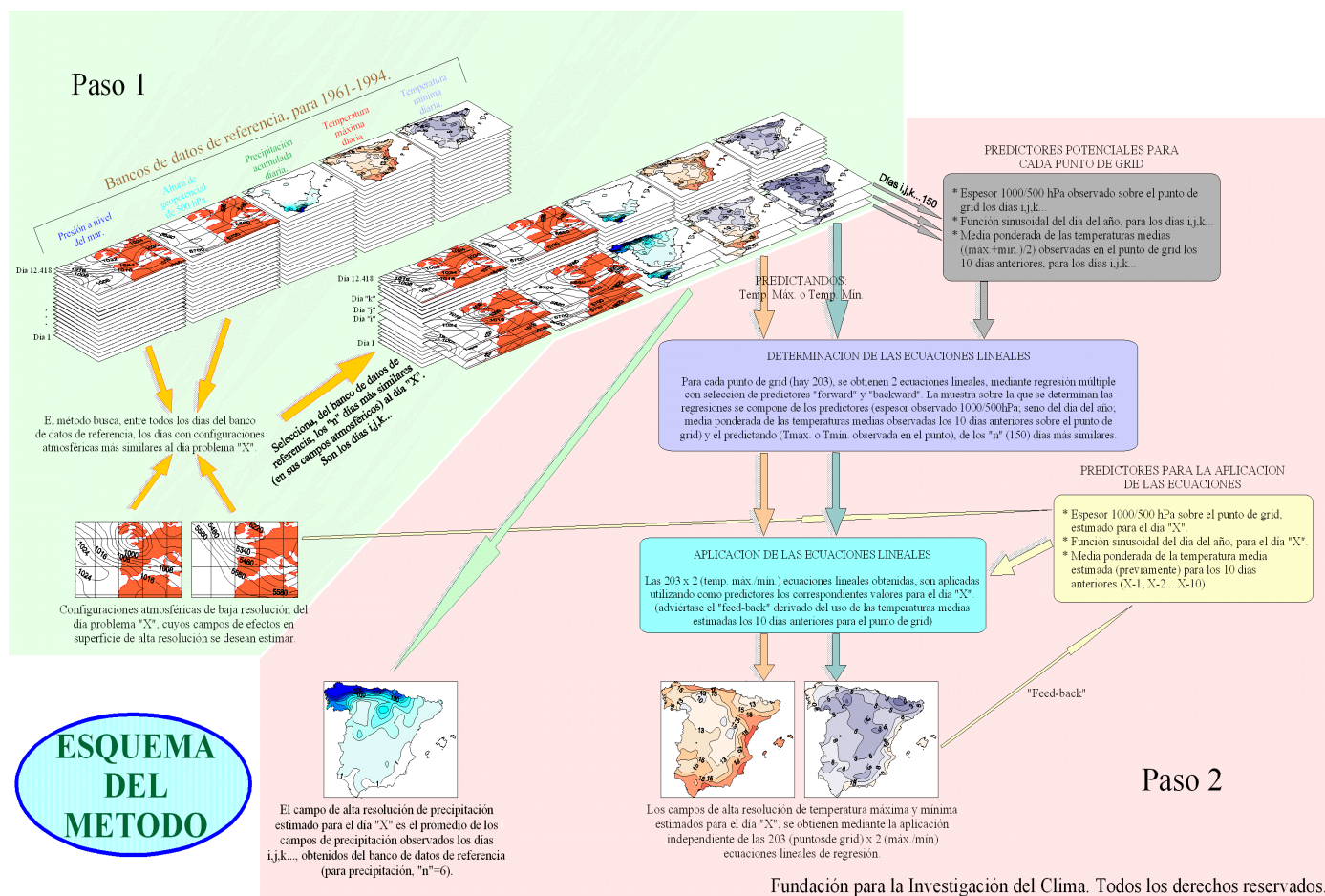


Figura 1: Esquema de la metodología de downscaling estadístico de la Fundación para la Investigación del Clima

Esta metodología es muy robusta desde el punto de vista teórico, y aporta soluciones muy eficaces y relativamente innovadoras. Por ejemplo, se ha incorporado una aproximación probabilística que ha permitido mejorar la capacidad de la metodología para simular fenómenos extremos de precipitación, como pudo comprobarse en el proyecto STARDEX, enfocado precisamente a extremos meteorológicos. La selección de predictores y el resto de fases de desarrollo de la metodología se realizaron tras un detallado análisis teórico, intentando dar respuesta a las consideraciones anteriores.

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN

La capacidad de una metodología de downscaling se evalúa a través del denominado proceso de verificación, que consiste en aplicar aquella a campos atmosféricos de baja resolución "observados" (llamados "análisis atmosféricos"), y comprobar que se simulan adecuadamente los efectos en superficie de alta resolución observados. La verificación de esta metodología (en su versión más evolucionada) ha sido realizada con éxito en varias ocasiones (Goodess et al., 2007). La figura 4 muestra, por ejemplo, la verificación realizada en el marco de la primera fase del Programa Nacional de Generación de Escenarios Climáticos Regionales (ver www.inm.es, noticias). Los resultados de esta verificación son excelentes para temperatura (con errores menores a 0,1°C), y claramente peores para precipitación (con errores entorno al 15% de infraestima).

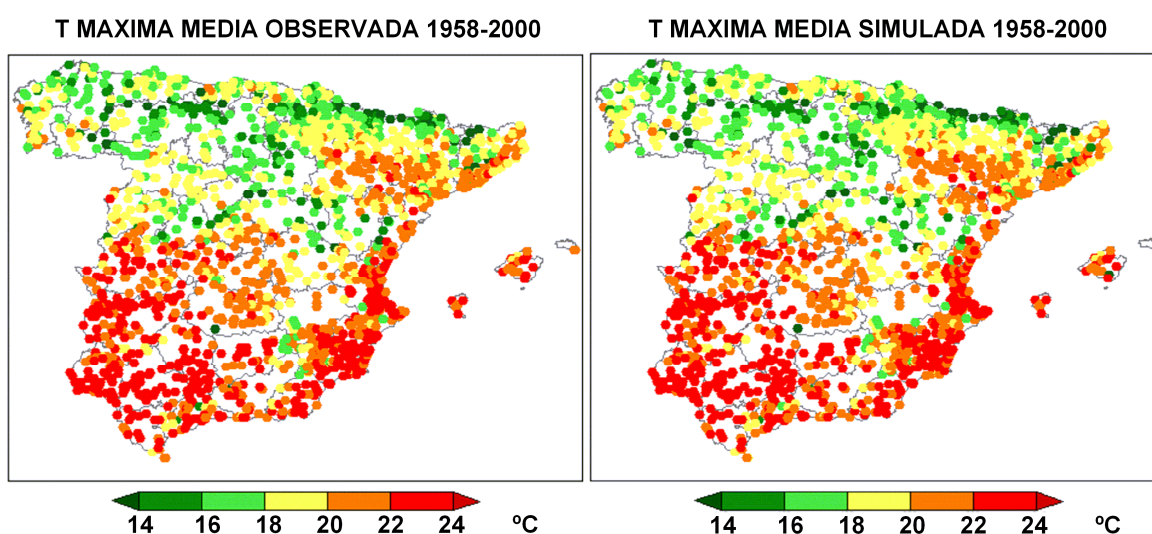
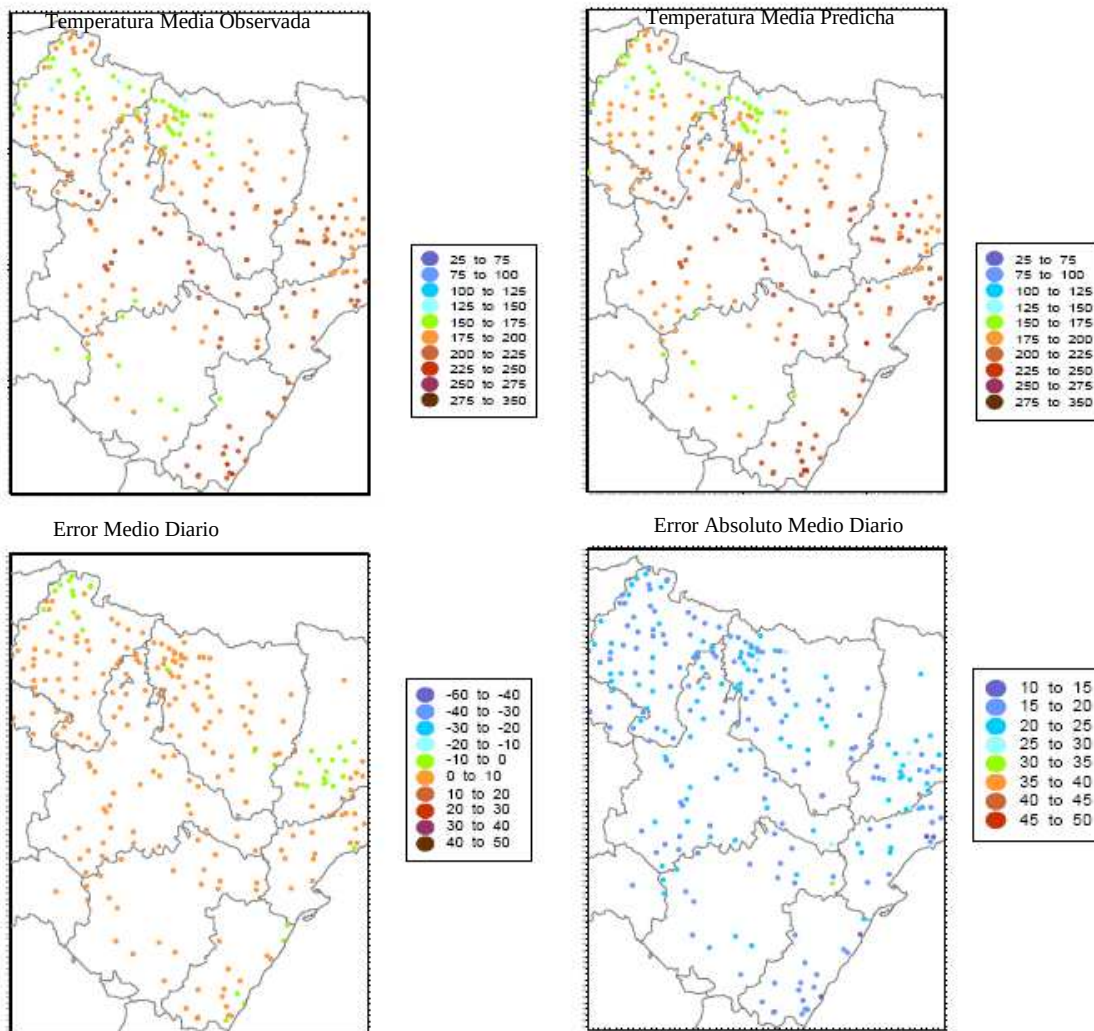


Figura 2: Comparación entre los valores observados y simulados de la media anual de temperatura máxima del periodo 1958-2000

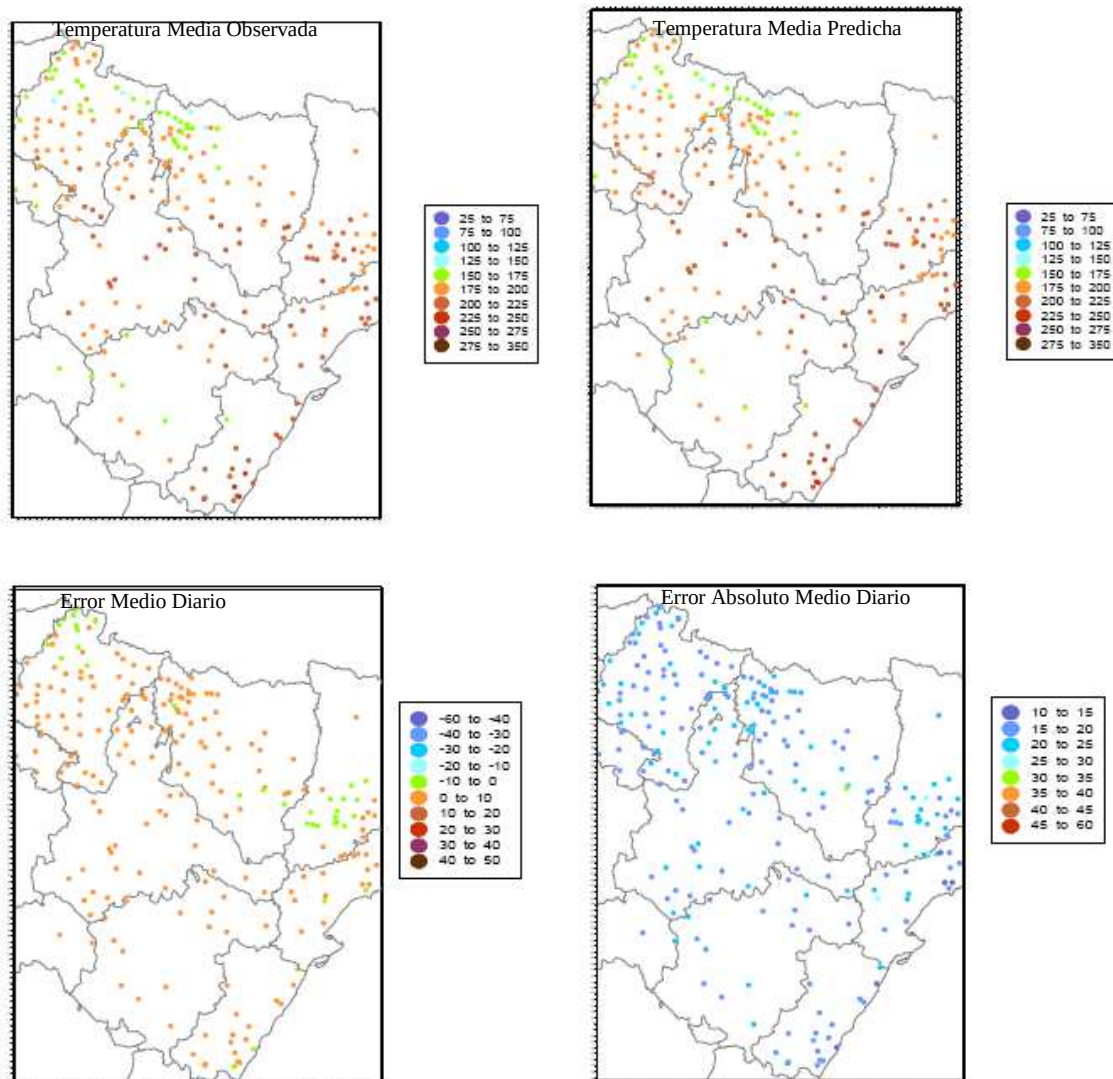
Una de las incertidumbres que a priori se plateaban en el estudio era la posibilidad de utilizar los datos del Atlas de Aragón en lugar de las observaciones del INM. Los datos del Atlas amplían la longitud de las series observadas y corrigen lagunas en las mismas mediante el uso de observaciones en otros observatorios cercanos. Hasta ahora nunca se había verificado la metodología con series reconstruidas y se planteaba la duda sobre el posible comportamiento de la misma con este tipo de series en lugar de las series reales.

Las figuras siguientes muestran los resultados de la verificación realizada con datos del Atlas y con series de datos sin reconstruir.

Verificación con datos del Atlas. Valores medios anuales.



Verificación con series no reconstruidas. Valores medios anuales.



En estas figura se observa que la distribución espacial tanto de valores medios como de errores tipo es muy similar en ambos casos.

Un análisis más detallado puede obtenerse analizando los percentiles de error en los dos casos.

Comparación entre valores medios Observados y Predichos para Temperaturas Máximas

Valores con series no reconstruidas

	Temperaturas Promedio Observadas					Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	106,1	176,9	280,9	193,7	190,0	108,9	177,1	281,7	194,5	191,2
Percentil 10	84,99	146,22	251,27	170,48	165,15	87,37	146,48	251,71	172,87	165,31
Percentil 25	94,42	162,69	269,48	182,00	178,99	96,80	163,14	269,69	183,87	179,92
Percentil 50	102,84	179,28	284,04	193,87	191,10	105,75	179,66	284,66	194,54	191,98
Percentil 75	114,79	193,82	296,45	205,74	204,01	118,19	193,87	296,74	205,97	204,90
Percentil 90	134,99	203,21	308,71	217,37	213,12	139,16	204,14	310,06	218,36	214,81

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	2,8	0,2	0,8	0,8	1,2	19,7	19,9	18,9	18,8	19,3
Percentil 10	1,13	-2,33	-1,41	-1,40	-0,19	16,50	17,00	14,76	15,90	16,53
Percentil 25	1,99	-0,97	-0,22	-0,62	0,49	17,66	18,15	16,31	16,96	17,58
Percentil 50	2,80	0,30	0,89	0,54	1,10	19,06	19,33	18,40	18,41	18,84
Percentil 75	3,67	1,34	1,96	1,95	1,70	21,19	21,12	21,04	20,33	20,79
Percentil 90	4,61	2,62	2,79	3,43	2,38	23,51	22,92	23,45	22,03	22,23

Valores con series reconstruidas

	Temperaturas Promedio Observadas					Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	105,6	175,5	279,8	192,9	189,1	108,5	175,6	280,7	194,1	190,3
Percentil 10	85,89	148,07	252,09	172,14	167,33	87,61	146,57	251,87	174,40	168,37
Percentil 25	93,85	161,72	268,17	181,97	178,56	96,47	163,10	269,17	184,29	179,79
Percentil 50	103,18	179,08	284,41	194,17	191,44	105,94	179,50	285,16	194,50	192,22
Percentil 75	114,20	194,42	296,45	205,35	204,32	117,99	194,15	297,27	206,33	204,92
Percentil 90	133,41	203,84	309,13	217,38	213,39	136,83	204,63	310,47	218,03	214,75

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	2,8	0,0	0,9	1,2	1,2	20,1	20,6	19,8	19,3	19,9
Percentil 10	1,15	-3,01	-1,43	-1,29	-0,23	16,73	17,21	15,24	16,26	16,83
Percentil 25	1,94	-1,31	0,05	-0,48	0,50	17,92	18,39	16,92	17,45	17,91
Percentil 50	2,84	0,11	0,97	0,70	1,10	19,50	19,72	19,14	18,74	19,29
Percentil 75	3,72	1,26	1,96	2,01	1,70	21,86	21,92	21,82	20,85	21,35
Percentil 90	4,49	2,82	2,83	3,72	2,91	23,89	23,95	24,08	23,29	23,56

Comprobación cruzada

	Temperaturas Promedio Observadas					Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	106,1	176,9	280,9	193,7	190,0	108,9	176,7	281,8	194,9	191,2
Percentil 10	84,99	146,22	251,27	170,48	165,15	87,41	146,12	251,53	173,57	167,20
Percentil 25	94,42	162,69	269,48	182,00	178,99	96,57	162,28	269,96	183,92	179,65
Percentil 50	102,84	179,28	284,04	193,87	191,10	105,90	179,25	285,02	193,63	191,46
Percentil 75	114,79	193,82	296,45	205,74	204,01	116,45	193,87	297,35	205,90	204,23
Percentil 90	134,99	203,21	308,71	217,37	213,12	139,16	204,31	310,00	217,63	215,12

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	2,8	-0,1	0,9	1,2	1,2	19,8	20,1	19,1	18,9	19,5
Percentil 10	0,73	-3,49	-2,02	-2,01	-1,05	16,55	16,95	14,88	15,90	16,43
Percentil 25	2,03	-1,13	-0,58	-0,51	0,36	17,69	18,15	16,32	16,97	17,54
Percentil 50	3,07	0,43	0,93	0,72	1,12	19,04	19,37	18,53	18,38	18,83
Percentil 75	3,99	1,67	2,24	2,19	2,03	21,44	21,10	21,01	20,38	20,82
Percentil 90	5,00	3,43	3,56	4,97	3,45	23,66	23,46	23,48	22,22	22,75

Como puede observarse comparando los resultados mostrados en las tablas anteriores, el comportamiento del método con series reconstruidas o no reconstruidas es, en todos los casos, muy parecido no sólo en promedio sino también para los diferentes percentiles. Por otra parte, un análisis espacial de los errores absolutos muestra que el comportamiento en cada punto de observación es coherente en ambos casos, esto es, el error cometido al predecir en un punto utilizando la serie no reconstruida es similar al obtenido utilizando la serie reconstruida.

Comparación entre valores medios Observados y Predichos para Temperaturas Mínimas

Valores con series no reconstruidas

	Temperaturas Observadas					Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	14,1	58,2	141,9	83,3	74,9	14,6	59,3	140,7	82,9	74,9
Percentil 10	14,26	28,35	107,58	51,55	44,42	13,62	28,57	104,75	52,11	44,32
Percentil 25	0,02	44,45	125,08	68,41	60,44	-0,32	44,86	124,22	69,75	60,31
Percentil 50	14,60	61,00	143,83	84,95	77,30	15,50	62,43	142,67	84,84	77,36
Percentil 75	25,83	69,35	157,92	94,14	85,18	26,79	71,79	157,67	93,26	86,18
Percentil 90	41,92	85,18	172,30	113,06	102,81	42,48	86,29	170,17	111,19	102,92

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	0,6	1,1	-1,3	-0,4	0,0	19,9	17,4	15,7	18,3	17,8
Percentil 10	-1,62	-1,27	-2,66	-1,99	-1,35	16,32	13,97	11,92	14,60	14,47
Percentil 25	-0,34	-0,15	-1,91	-1,11	-0,59	17,84	15,39	13,58	16,03	15,76
Percentil 50	0,71	0,94	-1,22	-0,50	-0,06	19,89	17,36	15,23	18,37	17,85
Percentil 75	1,75	1,97	-0,64	0,25	0,53	21,86	18,99	17,13	19,98	19,30
Percentil 90	2,59	3,84	0,14	1,10	1,32	23,42	20,56	19,74	22,30	21,15

Valores con series reconstruidas

	Temperaturas Observadas					Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	13,2	57,1	140,7	82,1	73,8	13,8	58,1	139,5	82,0	73,9
Percentil 10	14,72	28,30	108,90	51,22	43,15	14,09	27,57	106,50	52,35	44,69
Percentil 25	0,29	44,56	124,34	68,52	60,55	-0,80	44,68	124,35	69,36	60,22
Percentil 50	14,63	61,31	144,13	85,22	77,23	15,42	62,05	143,02	84,95	77,47
Percentil 75	25,18	69,01	158,22	93,80	85,31	25,55	70,80	157,54	93,35	85,45

Percentil
90 41,29 83,68 172,82 111,31 102,77 42,27 84,53 171,20 110,90 102,54

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	0,6	1,0	-1,2	-0,1	0,1	20,4	18,1	16,4	18,9	18,4
Percentil 10	-1,67	-1,54	-2,60	-1,56	-1,31	16,93	14,52	12,51	15,17	14,95
Percentil 25	-0,28	-0,42	-1,89	-0,96	-0,57	18,12	15,99	14,18	16,92	16,51
Percentil 50	0,61	0,83	-1,19	-0,30	-0,03	20,49	17,88	15,72	18,75	18,28
Percentil 75	1,60	1,82	-0,54	0,45	0,54	22,21	19,50	17,82	20,44	19,79
Percentil 90	2,38	3,98	0,35	1,42	1,40	24,12	21,63	20,44	22,67	21,97

Comprobación cruzada

	Temperaturas Observadas					Promedio	Temperaturas Promedio Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual		DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	14,1	58,2	141,9	83,3	74,9		14,7	59,1	141,0	83,3	75,0
Percentil 10	-	14,26	28,35	107,58	51,55	44,42	-	12,94	27,98	105,98	52,27
Percentil 25	0,02	44,45	125,08	68,41	60,44		-0,68	44,68	123,85	69,33	60,06
Percentil 50	14,60	61,00	143,83	84,95	77,30		15,31	62,65	143,28	85,17	77,28
Percentil 75	25,83	69,35	157,92	94,14	85,18		26,02	71,47	157,78	93,81	86,00
Percentil 90	41,92	85,18	172,30	113,06	102,81		42,97	85,25	171,06	113,56	103,93

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	0,6	0,9	-0,9	0,0	0,2	19,9	17,4	15,8	18,4	17,9
Percentil 10	-2,74	-2,42	-3,22	-2,36	-2,02	16,37	14,08	12,04	14,59	14,44
Percentil 25	-0,61	-0,24	-2,00	-1,31	-0,73	17,68	15,41	13,68	16,16	15,78
Percentil 50	0,95	1,04	-1,10	-0,43	0,11	19,92	17,35	15,28	18,43	17,81
Percentil 75	1,88	2,26	-0,08	0,84	0,93	21,92	18,97	17,36	20,00	19,55
Percentil 90	3,27	4,20	1,42	2,56	2,16	23,83	20,96	19,79	22,41	21,55

Comparación entre valores medios Observados y Predichos para Precipitación

Valores con series reconstruidas

	Precipitación Observada					Precipitación Predichas				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	17,32	17,033	18,784	12,665	20,844	15,542	17,009	17,559	11,91	15,745
Percentil 10	10,22	7,88	11,51	7,41	12,10	8,85	8,15	10,27	7,23	8,81
Percentil 25	11,68	9,56	12,81	8,69	13,71	10,06	9,43	11,73	8,16	10,10
Percentil 50	14,04	12,93	15,33	10,72	17,05	12,27	12,78	13,98	9,90	12,63
Percentil 75	18,99	18,69	20,07	14,14	23,36	17,25	18,83	19,12	13,06	17,02
Percentil 90	30,59	30,60	31,34	21,87	36,35	28,43	30,83	30,68	20,08	28,09

	Error Medio o Sesgo					Error Absoluto Medio Diario				
	DJF	MAM	JJA	SON	Anual	DJF	MAM	JJA	SON	Anual
Promedio	11,562	5,3634	9,5367	8,7626	25,501	21,417	28,423	28,587	41,678	46,469
Percentil 10	5,98	0,83	1,79	1,98	16,43	14,08	17,63	17,62	31,25	29,66
Percentil 25	8,90	2,02	4,63	4,03	21,07	18,04	22,44	23,62	36,01	37,36
Percentil 50	12,04	4,38	8,97	8,05	25,61	21,77	28,41	28,75	41,35	45,05
Percentil 75	14,41	7,36	14,05	12,13	30,00	24,76	34,11	33,76	47,61	53,69
Percentil 90	16,21	11,31	17,41	15,91	34,80	27,43	38,35	37,78	52,27	64,03

No se muestran los valores con series no reconstruidas porque todavía están en elaboración, pero los errores obtenidos son del mismo orden a los calculados en otros procesos de verificación por lo que es de esperar que el comportamiento del modelo con las series reconstruidas sea, como ocurre en temperatura, similar al obtenido con series no reconstruidas.

Como puede observarse en las tablas, las estimaciones de precipitación presentan mayores errores que las de temperatura y a lo largo del proyecto se van a probar varias modificaciones al método actual para tratar de mejorar su comportamiento. No obstante los errores cometidos en precipitación son del orden de los mejores métodos de

dowscaling estadístico, como se demostró durante el proyecto Stardex, y no se esperan por tanto mejoras muy significativas.

Como resultado final de esta comparación, se puede concluir que es indiferente el uso de un conjunto u otro de series (reconstruidas o no) para utilizar como banco de datos de referencia a la hora de obtener las predicciones. Las series reconstruidas presentan además la ventaja de que los promedios climáticos se obtienen con datos de todo el periodo considerado y sin lagunas, permitiendo por tanto su comparación directa con datos predichos para periodos futuros.

BIBLIOGRAFÍA

Déqué, M., R.G. Jones, M. Wild, F. Giorgi, J.H. Christensen, D.C. Hassell, P.L. Vidale, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, F. Kucharski and B. van den Hurk, 2005: Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results. *Clim. Dyn.*, 25(6), 653-670.

Fernando López Martín, Matilde Cabrera Millet, José María Cuadrat Prats; 2007: Atlas climático de Aragón. Gobierno de Aragón, 2007. ISBN 978-84-8380-071-3

Goodess, C.M., Anagnostopoulou, C., Bárdossy, A., Frei, C., Harpham, C., Haylock, M.R., Hurrell, J., Maheras, P., Ribalaygua, J., Schmidli, J., Schmith, T., Tolika, K., Tomozeiu, R. and Wilby, R.L., 2007: An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions – assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. *Climatic Change*, submitted.

Gutiérrez, J.M., R. Cano, A.S. Cofiño, and C. Sordo, 2004: "Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas", Monografías del Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, ISBN: 84-8320-281-6

Hewitt, C.D., 2005: The ENSEMBLES Project: Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts. Published article appears in the EGGS newsletter, 13, 22-25. <http://www.the-eggs.org/?issueSel=24>

Huebener, H., Cubasch, U., Langematz, U., Spangehl, T., Nierhorster, F., Fast, I. and Kunze, M., 2007: "Ensemble climate simulations using a fully coupled ocean-troposphere-stratosphere General Circulation Model (GCM)". *Phil. Trans. R. Soc. A* 365. (doi:10.1098/rsta.2007.2078)

IPCC, 2007: "Climate Change 2007, Fourth Assessment Report of the IPCC - The Physical Science Basis (contribution of Working Group I); Impacts, Adaptation and Vulnerability (contribution of Working Group II); Mitigation of Climate Change (contribution of Working Group III); The Synthesis Report", Cambridge University Press.

Murphy, J., 1999: An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate, *Journal of Climate*, 12, 2256-2284.

Trigo, R.M. and Palutikof, J.P., 2001: 'Precipitation scenarios over Iberia: A comparison between direct GCM output and different downscaling techniques', *Journal of Climate*, 14, 4422-4446.



von Storch, H., 1994: Inconsistencies at the Interface of Climate Impact Studies and Global Climate Research. Report 122, Max-Planck-Institut für Meteorologie.

von Storch, H., 2004: A global problem - Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure (Buchbesprechung). Nature. Vol. 429 (2004) 6989, 244 - 245.

von Storch, H. and N. Stehr, 2006: Anthropogenic climate change - a reason for concern since the 18th century and earlier. Geogr. Ann., 88 A (2): 107–11