

CLIMATOLOGÍA DE TEMPERATURAS EXTREMAS EN LA ARGENTINA CONSISTENCIA DE DATOS. RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIONAL Y LA OCURRENCIA DE DÍAS EXTREMOS

Matilde M. Rusticucci, Mariana G. Barrucand

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria – Pab II – (1428) Buenos Aires, Argentina.

(Manuscrito recibido el 19 de diciembre de 2001, en su versión final el 12 de agosto de 2002)

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis sobre temperaturas extremas de la República Argentina para el período 1959 – 1998. Fue realizado a partir del estudio de series de temperaturas máximas y mínimas diarias de más de 60 estaciones meteorológicas del país, que fueron sometidas a exhaustivos análisis de consistencia detallados aquí. En esta primera etapa, que constituye un punto de partida para distintos estudios sobre la variabilidad de temperatura en la Argentina, se calcularon los valores medios, desviación estándar, asimetría y percentiles 5 y 95 de series de temperaturas máximas y mínimas diarias de verano (diciembre, enero y febrero) e invierno (junio, julio y agosto). Se analizó el grado de asociación entre la temperatura media estacional y la frecuencia de días extremadamente cálidos o fríos en cada estación. Esta relación presenta diferencias regionales y estacionales destacables. La temperatura media del verano se presenta más sensible que la del invierno respecto de la ocurrencia de temperaturas extremas diarias (tanto cálidas como frías). En particular un aumento de la temperatura media del verano en el sur del país estaría algo más afectada por la disminución de eventos fríos que por el aumento de eventos cálidos.

Palabras clave: extremos climáticos - temperatura diaria - consistencia - Argentina

EXTREME TEMPERATURES OVER ARGENTINA. QUALITY CONTROL. ASSOCIATION BETWEEN EXTREME DAILY TEMPERATURE FREQUENCY AND SEASONAL MEAN.

ABSTRACT

Extremes temperatures in Argentina from 1959 to 1998 are analysed in this paper. Maximum and minimum daily temperature series from more than 60 weather stations of all the country were used for this purpose. A quality control of the data was done and detailed here. In this first stage, a starting point for different studies about temperature variability in Argentina, averages, standard deviations, 5th and 95th percentiles of maximum and minimum daily temperatures of summer (December, January and February) and winter (June, July and August) were calculated. It was studied the association between the seasonal mean temperature and the extremely warm and cold days frequency. Outstanding regional and seasonal differences were found. In relation to the daily extreme warm and cold temperature occurrence, the summer mean temperature appear to be more sensitive than the winter one. Particularly in summer, a mean temperature increase at the south region of the country would be more affected by a decrease in the number of cold events than to a increase in warm event occurrence.

Key words: climate extremes – daily temperature – quality control – Argentina

1. INTRODUCCIÓN

Tanto los seres humanos como otros seres vivos son susceptibles a los efectos de las temperaturas extremas. Éstas pueden causar tensiones importantes en el cuerpo humano, afectando especialmente a ancianos, enfermos y niños. Los cultivos no escapan a los efectos adversos producidos por las temperaturas extremas, ya que éstas pueden afectar seriamente el proceso de crecimiento y rendimiento de los mismos, llegando en algunos casos, a la destrucción total. Las altas temperaturas en particular, aumentan el riesgo de incendios, aspecto que debe ser tenido en cuenta a la hora de encarar el problema de los incendios forestales en nuestro país. El transporte, el uso racional de la energía, son otros de los tantos aspectos vinculados con eventos extremos de temperatura. Cuanto más severa sea la situación, mayor serán los requerimientos de calefacción o refrigeración.

Dado que el aspecto económico es de vital importancia para el desarrollo de las naciones, no es un tema menor el de las pérdidas asociadas con eventos extremos de temperatura.

El International Panel on Climatic Change, (IPCC, 2001) en su informe producido por el grupo de trabajo II recomienda el estudio y modelado de eventos extremos, dada su gran relevancia en el cambio climático. Las suposiciones actuales llevan a un aumento de extremos cálidos con un aumento de la temperatura media.

En síntesis, es innegable el impacto social y económico asociado con los efectos producidos por las temperaturas extremas en el hombre y su medio ambiente. De allí deriva la importancia de estudiar estos eventos. A partir de un mejor conocimiento de la realidad, se pueden establecer mejores estrategias.

Entre los primeros trabajos en Argentina interesados en la ocurrencia de eventos extremos, se puede mencionar a Scian (1970) quien analizó la situación sinóptica relacionada con un episodio muy frío ocurrido en Junio 1967. Cerne y Rusticucci (1997) estudiaron un evento frío de verano, que alcanzó latitudes tropicales en febrero de 1996, favorecido por la presencia de una situación de bloqueo. Los efectos que producen los eventos fríos son distintos de acuerdo con la época del año, produciendo heladas en invierno u organizando la convección profunda en verano

(Garreaud, 1999). Estas situaciones intensas de aire frío penetran en algunos casos bajas latitudes afectando una gran parte del continente, como lo muestra Ronchail (1989). Ambrizzi and Bernardez (1999) realizaron una recopilación de trabajos en este tema. Vera y Vigliarolo (1998) estudiaron las irrupciones de aire frío en la región tropical de Sudamérica, desde un punto de vista dinámico y estadístico. Por su parte, Escobar y Bischoff (1998), además de estudiar situaciones meteorológicas asociadas con la disminución significativa de la temperatura en Buenos Aires, realizaron una aplicación vinculando el consumo de gas natural en los hogares y la temperatura.

Los eventos cálidos, aunque menos estudiados, presentan otro aspecto que afecta a las personas, a su salud o actividades cotidianas (Campetella and Rusticucci, 1998). Rusticucci y Vargas (1995) estudiaron la circulación de la atmósfera relacionada con situaciones extremas en verano e invierno, desde un punto de vista climático-sinóptico, determinando los patrones de circulación que favorecen su ocurrencia.

Para obtener un estudio confiable, y especialmente tratándose de valores extremos, es necesario contar con una base de datos con información debidamente consistida. Este aspecto ha sido especialmente tratado. Los datos provenientes de estaciones de observación no siempre se encuentran bien representados en las bases de datos calculadas a partir de análisis, especialmente los datos que representan eventos extremos (Rusticucci and Kousky, 2002).

El objetivo de este trabajo es el estudio de las temperaturas extremas en la Argentina y detalla los pasos seguidos en el análisis de consistencia de la información. Aborda el tema a partir de un análisis exploratorio de las temperaturas máximas y mínimas registradas en 60 estaciones meteorológicas del país durante el período 1959-1998. Además evalúa la relación entre la temperatura media estacional y los valores extremos, mediante el grado de asociación lineal entre la frecuencia de días con temperaturas extremas (máximas superiores al percentil 95 y mínimas inferiores al percentil 5) y la temperatura media de verano e invierno.

2. DATOS

Se utilizaron series de temperaturas máximas y mínimas diarias de más de 60 estaciones meteorológicas del país del período 1959-1998. (ver distribución de estaciones en Figura 1). Los datos fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ya sea directa o indirectamente a través del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

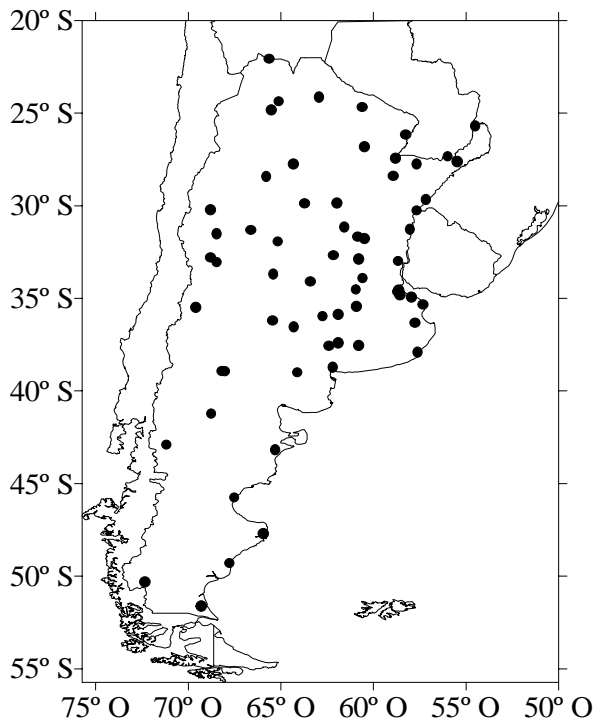


Figura 1: Ubicación de las estaciones utilizadas.

Si bien se encuentran antecedentes de estudios sobre extremos de temperatura diarios en nuestro país, la mayoría de ellos tratan sobre alguna situación particular (“estudios de caso”) o con menor cobertura espacial y/o temporal. Debido a la importante cantidad de estaciones utilizadas en este estudio, se consideró necesario realizar un análisis de consistencia de la información disponible. Los resultados obtenidos justificaron ampliamente la realización de este tipo de análisis.

Solo se consideraron en este estudio aquellas series que, luego del análisis de consistencia, resultaran completas en un 75% sobre el período total. Debe señalarse sin embargo, que en la mayoría de los casos las series utilizadas estaban completas en más del 90%.

3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

La determinación de tendencias climáticas de eventos extremos es más dificultoso que para variables medias (Nicholls, 1995). Es claro que al requerirse datos con una resolución temporal mayor a la mensual (datos diarios), la exigencia sobre la consistencia de los mismos es mayor. El hecho de trabajar con valores extremos dificulta esta tarea. Son muchos los casos en los que se plantea la incertidumbre sobre la veracidad del dato, siendo prácticamente imposible determinar si se trata de un valor extremo verdadero o un “outlier” (fuera del rango aceptable).

El exhaustivo análisis de consistencia sobre la base de datos utilizada, fue realizado siguiendo las pautas establecidas en la guía de control de calidad de datos climatológicos de superficie publicados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el Programa Mundial de Datos Climáticos (1984) y teniendo en cuenta experiencias previas.

El análisis de consistencia se dividió en tres etapas: lectura de datos y control de formatos, eliminación de errores “indiscutibles” (casos con temperatura máxima inferior a la mínima, secuencias de temperaturas de 0°C irreales y “ouliers”) y finalmente, controles sobre diferencias de temperaturas entre dos días consecutivos.

Los principales errores encontrados fueron los siguientes

a) *En la etapa 1 (primera lectura de datos y control de formatos):*

- Registros inexistentes (fechas salteadas)
- Registros repetidos
- Registros desordenados (ej.: fechas del 14 y 15 de agosto ubicadas antes del 8 de agosto del mismo año)
- Registros con códigos inexistentes (letra o en vez del número 0, letras y símbolos en lugar de números tales como j; }; s y x).
- Errores en la aparición de dato faltante (0-0- en vez de 0-)
- Varias combinaciones de los errores antes mencionados en forma simultánea

Además de este tipo de errores, también hubo un trabajo de unificación de clasificación ya que, en algunos casos, las estaciones meteorológicas

estaban identificadas con la numeración otorgada por el SMN, y en otros, por la clasificación de la OMM

b) En la etapa 2 (detección de errores indiscutibles):

Como se mencionó anteriormente, fueron tres las características consideradas como “errores indiscutibles”: casos con temperatura mínima mayor a la máxima, secuencias de “falsos ceros” y “outliers”.

Los errores del tipo “temperatura máxima inferior a la mínima” fueron importantes (en cuanto a la cantidad encontrada), en las estaciones 290, 293 y 303, encontrándose 836, 576 y 518 “errores” respectivamente. Las largas secuencias con temperatura máxima inferior a la mínima encontradas, podrían sugerir que las series estuviesen, en esos casos, intercambiadas en los archivos de datos. Para este estudio, por falta de confirmación de que esto haya ocurrido, no se hizo tal suposición y las secuencias fueron reemplazadas con código de datos faltante.

Se detectaron secuencias de tres o más ceros consecutivos en tres estaciones meteorológicas. Esto fue considerado como dato erróneo y por lo tanto, eliminado.

La detección de “outliers” fue, sin duda, el punto más discutido en esta evaluación. En especial por el hecho de que al tratarse de extremos de una variable, son muchos los casos en que no se puede saber con exactitud si se está ante la presencia de un dato real o no. Considerando la gran cantidad de datos utilizados, no se consideró viable un control manual, por lo que se realizaron dos tipos de controles sistemáticos. Se verificó que ninguna temperatura superara el límite arbitrario de 50° C. Este método, si bien era sencillo y sirvió para detectar unos 200 casos en el análisis, no era consistente para todo el país. Podía ser útil para las estaciones del norte, pero no serviría para las del sur, para las cuales ese valor arbitrario de control resultaba excesivamente alto. Tampoco se tenía en cuenta un valor tope para las mínimas, por lo que se debía recurrir a algún otro tipo de análisis.

Para determinar rangos de valores de temperaturas máximas y mínimas “aceptables”, se tomó como referencia valores extremos históricos de las estadísticas climatológicas decádicas elaboradas por el SMN. La última disponible al momento de la realización de este trabajo

correspondía al período 1981-1990 que, de acuerdo con lo estudiado por Rusticucci y Penalba (2000), es la década más caliente del período. Las estadísticas de décadas anteriores no eran tan completas como esta última, por lo que fue ésta la elegida para tomar los valores extremos de referencia (el “mayor valor de temperatura máxima de la década” y el “menor valor de temperatura mínima de la década” de cada estación). Hubo muy pocas excepciones en que esto no fue aplicable. Para esos casos se utilizó información de alguna década precedente. Ya que los valores de temperaturas extremas considerados no pueden tomarse como extremos absolutos dentro de los cuarenta años de estudio (se pudieron haber dado valores más altos de temperaturas máximas o valores más bajos de temperaturas mínimas), se sumó al valor de referencia de temperatura máxima un valor arbitrario de 2°C y, para la temperatura mínima, se le restó 2°C. De esta manera se amplió el rango de temperaturas “aceptable”. Todos los datos que resultaron fuera del rango establecido, fueron listados y analizados manualmente, teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la estación, su altura y época del año.

c) Etapa 3: (consistencia interna de las series):

Se analizaron las diferencias interdiurnas de temperatura por estación y por mes, tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima y, a partir de las desviaciones estándar, se determinaron los rangos de aceptación de la variable que se estaba controlando (“diferencias de temperaturas entre un día y el anterior”). Se decidió controlar aquellos casos donde la diferencia interdiurna superara cinco veces la desviación estándar del mes correspondiente. Estos casos, estadísticamente de muy baja probabilidad de ocurrencia, fueron analizados puntualmente.

El número de casos detectados como “fuera del rango aceptable” (FRA) fueron unos doscientos (el 40% en casos de diferencias de temperaturas máximas y 60% en mínimas), un número reducido si se tiene en cuenta el total de datos del período para casi cien estaciones meteorológicas del país. Un aspecto para destacar es que hubo varias fechas que el programa detectó como “FRA” en más de una estación. Esto se dio más marcadamente en las temperaturas máximas. Se pensó que estos casos corresponderían a valores

reales y no con error, y la diferencia de temperatura tan grande se debería a algún fenómeno sinóptico. Esta conjetura se planteó más claramente en un caso particular: 25 de agosto de 1996. Ese día, diez estaciones tuvieron una diferencia de la temperatura máxima respecto de la anterior mayor a 5 veces la desviación estándar. En algunos casos esto implicaba diferencias del orden de los 20 °C. Al analizar las secuencias de temperaturas anteriores a la fecha en cuestión, se nota una ola de calor inusual para el mes de agosto, que llegó a alcanzar valores muy altos de temperatura máxima el día anterior. Evidentemente, esta ola de calor fue interrumpida abruptamente, posiblemente por la irrupción de una masa de aire frío muy intensa, y eso provocó una disminución brusca de la temperatura. La conclusión que se obtiene en este análisis, es que puede haber diferencias entre los valores de temperatura máxima de dos días consecutivos del orden de los 20 °C, por tanto, hay que ser cuidadoso al establecer rangos de aceptación para la consistencia de información.

4. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE TEMPERATURAS EXTREMAS

Una vez que se consideró que la base de datos estaba suficientemente consistida, libre de todos los errores mencionados, se realizó una estadística básica de las series de temperatura máxima y temperatura mínima para el período 1959-1998. Se calcularon valores medios, desviación estándar, asimetría y percentiles 5 y 95 (Figuras 2-3-4-5 y 6 respectivamente). La asimetría fue calculada como el momento de tercer orden estandarizado por la desviación estándar elevada al cubo. Los percentiles indican los valores extremos, por su posición en la serie ordenada de menor a mayor. El valor de temperatura que determina el percentil 5 (95) indica que por debajo (encima) de dicho valor, se encuentra el 5% de los datos de la serie, a partir de los cuales se determinan los valores extremos, con un valor de probabilidad asociada. Aquí se presentan los resultados correspondientes a las dos estaciones del año extremas: verano (diciembre, enero y febrero) e invierno (junio, julio y agosto). Las líneas punteadas están asociadas con valores negativos (ya sean valores de temperatura o asimetría) y las

líneas llenas, con valores positivos. Los valores iguales a cero han sido remarcados.

4.1 Promedios

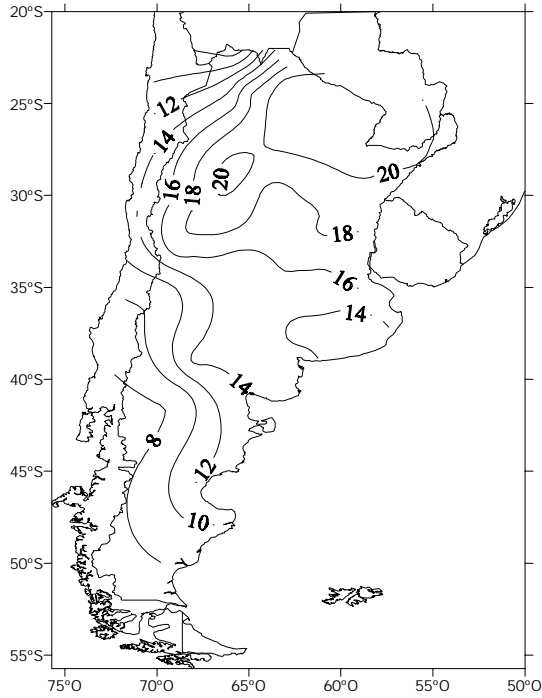
En los cuatro casos estudiados (temperatura mínima de verano, temperatura máxima de verano, temperatura mínima de invierno y temperaturas máximas de invierno) puede apreciarse claramente la influencia de la latitud (las temperaturas van disminuyendo de norte a sur) y la altura (la temperatura disminuye de este a oeste, por la presencia de la cordillera) (Figura 2). Los promedios de temperaturas mínimas de verano oscilan, en términos generales, entre los 7 °C en el sur del país y los 20 °C en el norte y noreste y las máximas entre 20 °C y 35 °C respectivamente. En el invierno, estos valores disminuyen 10 °C en ambos casos, excepto en el noroeste, donde la disminución es un poco más marcada para el caso de las mínimas. Esto muestra las características del clima de la región, donde la nubosidad presente influye sobre la temperatura mínima. Esta región, con lluvias estivales e inviernos secos, tiene, en invierno, una pérdida neta mayor de radiación terrestre durante la noche, que provoca mayores descensos de temperatura que en regiones con nubosidad presente.

4.2 Desviación estándar

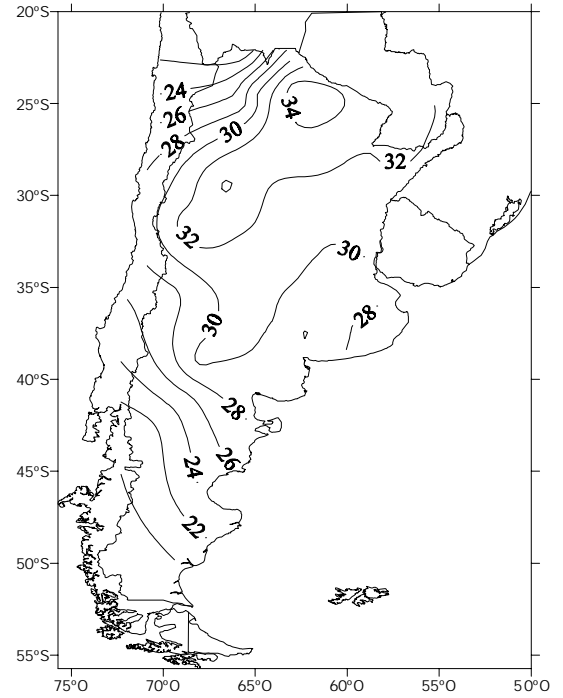
En la Figura 3 puede observarse que el valor máximo de desviación típica de los valores diarios se encuentra en el norte del país durante el invierno, alcanzando valores cercanos a 6°C. Durante el verano se produce un corrimiento de este máximo (algo más debilitado) hacia el sur, evidenciándose el desplazamiento de la zona de mayor variabilidad con los sistemas de circulación. Estas características se dan en ambas variables (temperaturas máximas y mínimas).

En el verano, las temperaturas máximas diarias presentan mayor variabilidad media que las temperaturas mínimas, mientras que la desviación estándar de las temperaturas mínimas presentan la mayor homogeneidad regional. La temperatura máxima presenta la mayor dispersión en el sur del país, y un segundo máximo relativo coincidente con la región de la Baja del Noroeste Argentino.

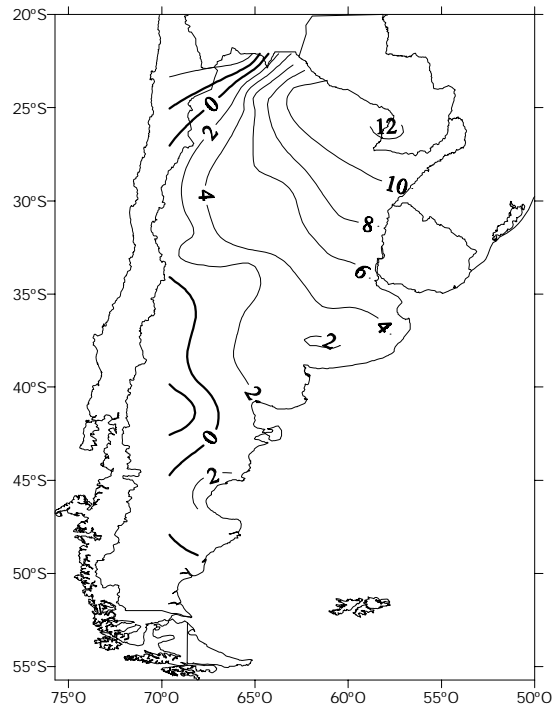
MINIMAS DE VERANO



MAXIMAS DE VERANO



MÍNIMAS DE INVIERNO



MÁXIMAS DE INVIERNO

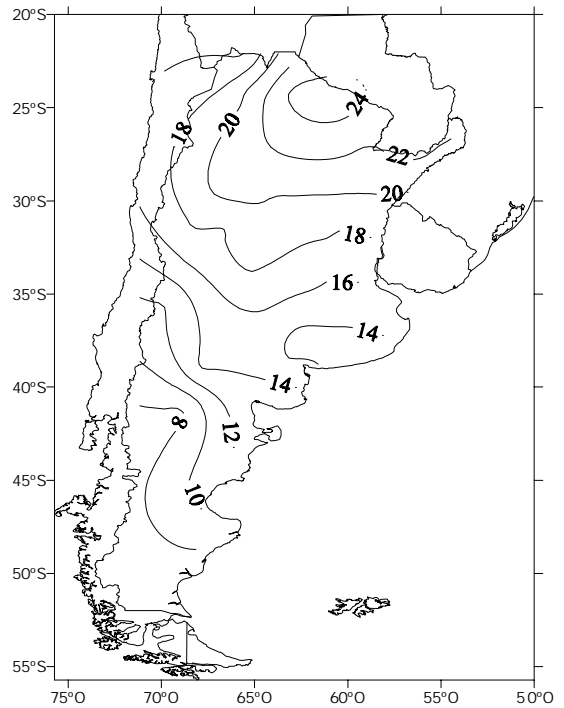


Figura 2: Valores medios de la Temperatura Mínima y Temperatura Máxima de las series consistidas, para Verano (diciembre a febrero) e Invierno (junio a agosto), expresados en °C. 1959/98.

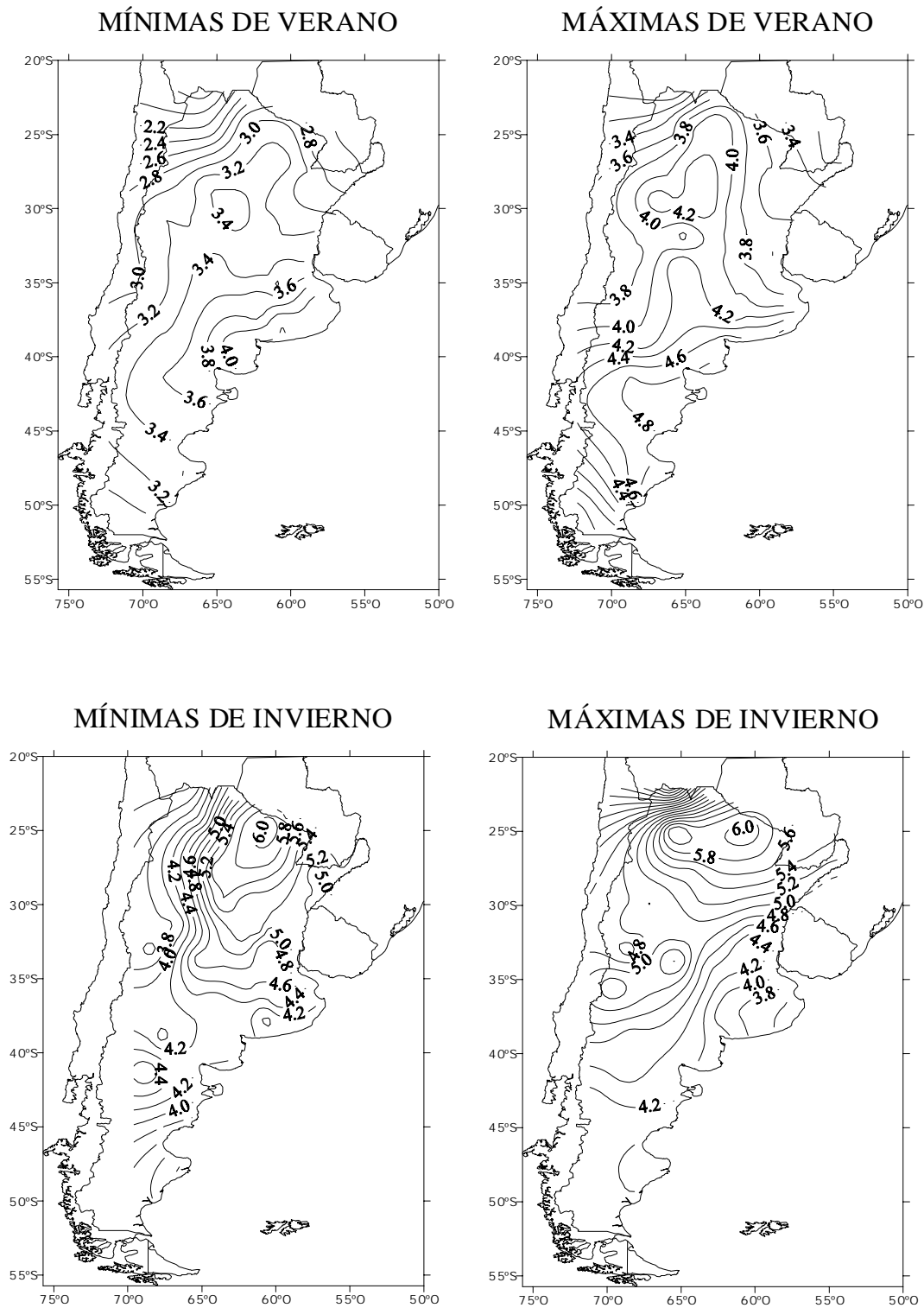


Figura 3: Desviación standard de las variables analizadas en figura 2, expresado en °C. 1959/98.

4.3 Asimetría

Se observa que las series de temperaturas máximas y mínimas son notablemente asimétricas en casi todo el país (Figura 4). Durante el verano, excepto en el centro y sur de la Patagonia, ambas variables presentan asimetría negativa. Una asimetría negativa está indicando que los valores máximos de la distribución están definidos con más precisión al no tener cola positiva la distribución. La cola negativa puede ser el producto del ingreso de pocas masas de aire muy frías (ver por ejemplo Cerne y Rusticucci, 1997) o por situaciones poco frecuentes, como bloqueos, que aporten aire frío en la región. Durante el invierno el signo de la asimetría se invierte en gran parte del país, conformándose dos zonas: una con asimetría positiva, sujeto al establecimiento de olas de calor intensas (centro y oeste del país), y otra con asimetría negativa (Patagonia y noreste en el caso de las mínimas y centro-oeste y norte en el caso de las máximas). Debe destacarse que la región del noreste presenta asimetría negativa en las dos variables estudiadas y en ambas épocas del año (verano e invierno). Esta región, con gran variabilidad interdiurna, se encuentra en una zona de transición climática. Es un clima subtropical, con algunas irrupciones de aire frío intensas provenientes de climas de latitudes medias.

4.4 Percentiles

En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados de los percentiles 5 y 95 de las temperaturas máximas y mínimas de verano e invierno. Cada uno de esos valores constituyen umbrales de temperatura. La probabilidad de que se den valores inferiores al percentil 5 (superiores al percentil 95) es del 5%. Estos umbrales se utilizarán para definir series de temperaturas extremas.

Los mapas de la figura 5 en los que se representa el percentil 5 de temperaturas mínimas y máximas de verano muestran valores siempre superiores a 0°C para las temperaturas mínimas y siempre superiores a los 10°C en el caso de las máximas, aún en las estaciones más australes.

En el mapa correspondiente al percentil 5 de temperaturas mínimas de invierno, se observan valores negativos en todo el país (sólo queda exceptuada una pequeña zona del norte del litoral). Esto pone en evidencia que cualquier parte del país puede estar expuesta a temperaturas bajo cero con una probabilidad menor al 5%.

Aunque aquí no se presentan mapas con los valores del percentil 1, debe destacarse que los correspondientes a temperaturas máximas de invierno son negativos en el sur y sudoeste del país, lo que estaría indicando, con una probabilidad de 1%, temperaturas bajo cero durante todo el día para esta región.

Los mapas del percentil 95 son presentados en figura 6. En el verano hay una probabilidad del 5% de que la temperatura máxima supere los 30 °C en el sur y los 40 °C en el norte. Este último umbral se reduce relativamente poco en el invierno, apenas 6 °C. En el sur, la reducción del umbral es mucho mayor (15 °C aproximadamente). Como ejemplo podemos mencionar el caso de la estación Comodoro Rivadavia, donde el percentil 95 de temperatura máxima es de 32.6 °C en el verano y 17.7 °C en el invierno. En ambos casos hay una probabilidad del 5% de que se den temperaturas máximas superiores a esos valores en el verano e invierno respectivamente. Cabe recordar que el 5% de los días de verano o invierno equivale a 4.5 días de cada estación del año.

Los percentiles 95 de las temperaturas mínimas son aproximadamente 14°C menores que los de las temperaturas máximas en casi todo el país tanto para el verano como para el invierno. La excepción está dada en el sur para el caso de las temperaturas mínimas de invierno, donde esta diferencia es menor (8 °C aproximadamente), indicando una variabilidad térmica diaria menor. La diferencias entre los percentiles 95 de las temperaturas mínimas de verano respecto de los del invierno siguen un patrón similar al de las temperaturas máximas. Las menores diferencias se dan en la zona norte del país (6°C), siendo un poco más pronunciadas en el centro y sur (10 °C mayores en el verano), determinante del efecto de la latitud en las estaciones.

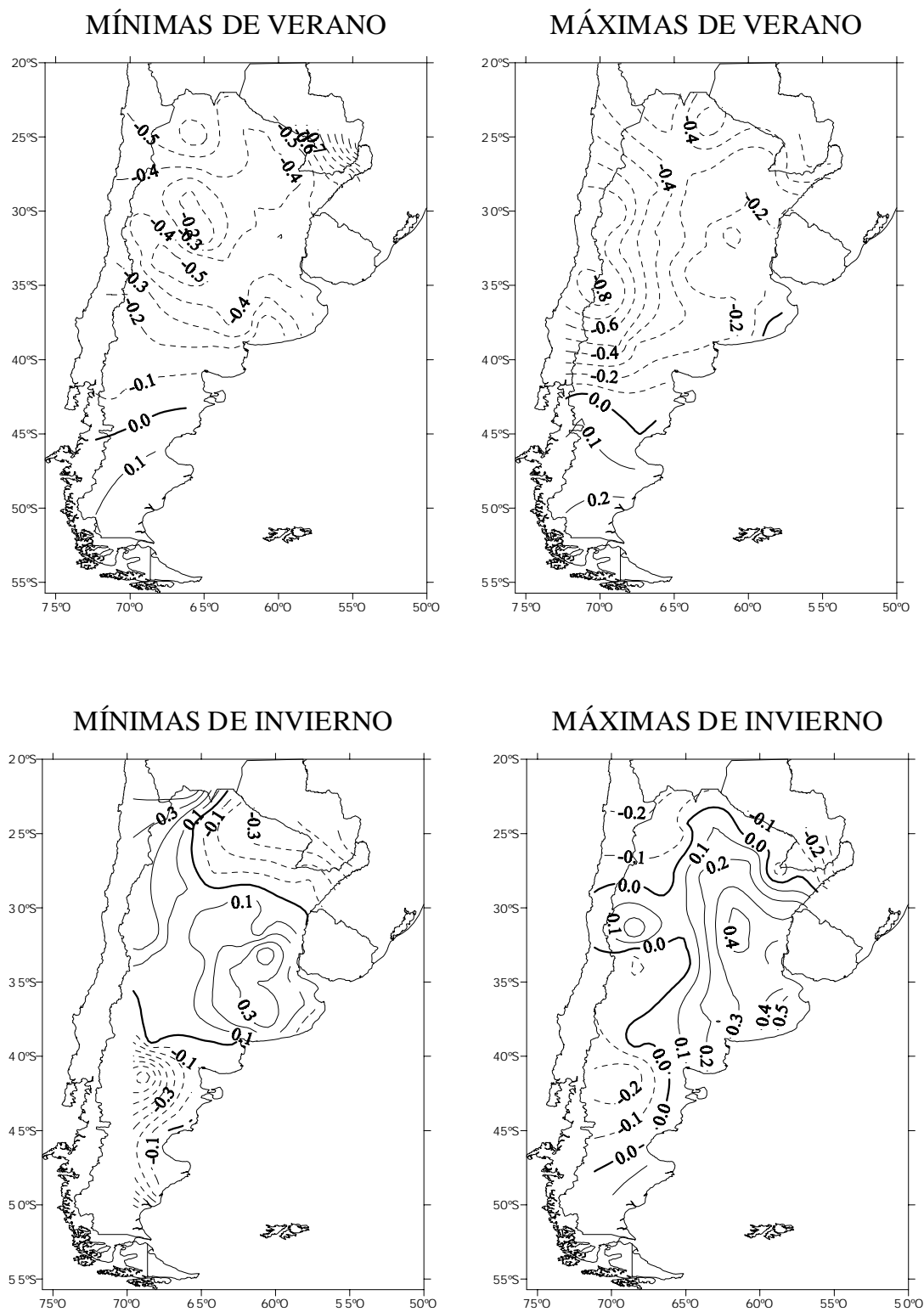


Figura 4 Coeficiente de asimetría de las variables analizadas en la Figura 2. Las líneas llenas son valores positivos, las punteadas, negativos.

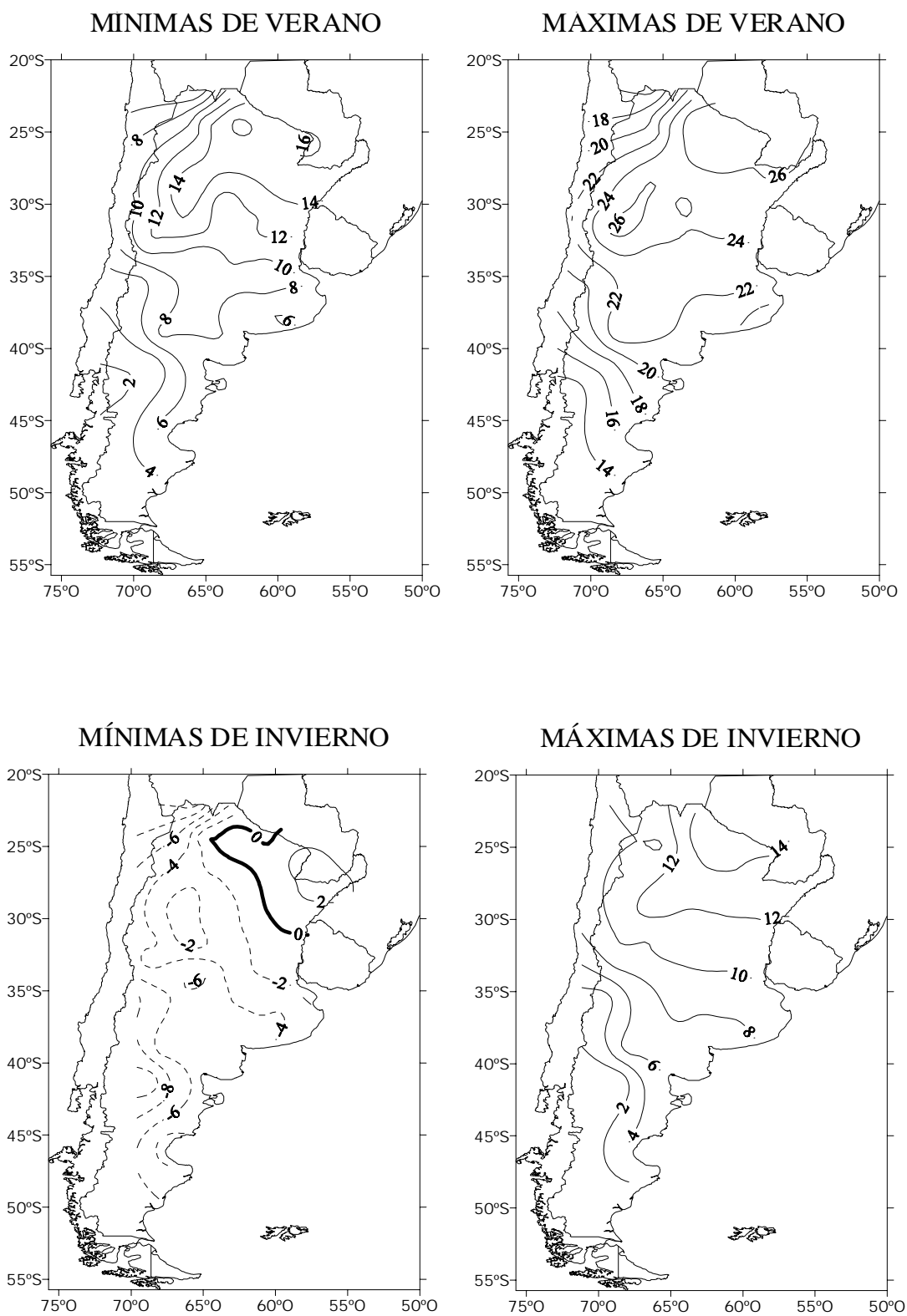


Figura 5: Percentil 5 de las variables analizadas en la Figura 2. Las líneas llenas son valores positivos, las punteadas, negativos.

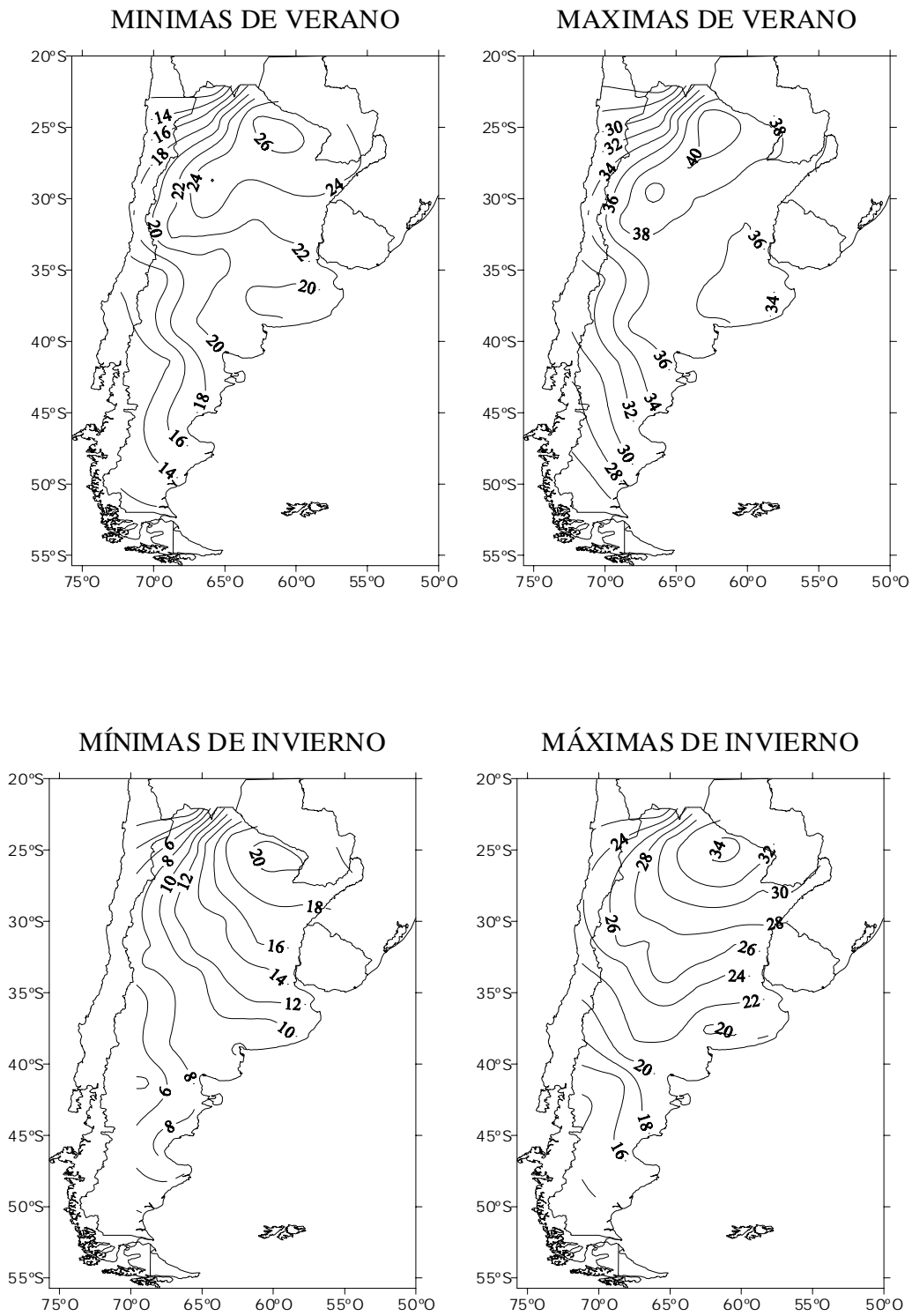


Figura 6: Percentil 95 de las variables analizadas en la Figura 2.

5 RELACIÓN ENTRE LA FRECUENCIA DE TEMPERATURAS EXTREMAS Y LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIONAL

En esta etapa del trabajo, se buscó investigar en qué medida los extremos de temperatura diaria “afectan” o están relacionados con el valor de la temperatura media. En particular se buscó determinar el grado de sensibilidad de la temperatura media estacional frente a una mayor o menor cantidad de días con temperaturas extremas. Esto, además de ser un aporte al conocimiento de los extremos climáticos, tiene varias aplicaciones. El análisis de pronósticos climáticos, al evaluar la relación entre la temperatura de los meses más cálidos o más fríos con la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos diarios, es sólo un ejemplo. La relación entre la temperatura media estimada por los pronósticos climáticos a partir de los escenarios futuros relacionados con el cambio climático y la ocurrencia de extremos, otro. Para estudiar estas características, se optó por un modelo de regresión lineal.

El estudio de extremos se basó en el análisis de los mayores valores de temperatura máxima y los menores valores de temperaturas mínimas. Para este propósito, se consideraron situaciones extremas: el percentil 5 de temperaturas mínimas (“las mínimas más frías”) y el percentil 95 de temperaturas máximas (“las máximas más cálidas”), ambos calculados para el período 1959-1998 para todas aquellas estaciones meteorológicas del país que tuvieran por lo menos el 75% de la totalidad de registros del periodo. La densidad de estaciones disponible año a año varía porque no todas cumplen con este requisito cada año en particular (aunque sí lo cumplen para el período total).

Para cada año y para cada estación meteorológica que cumpliera los requisitos antes mencionados, se calculó el porcentaje de días en los que la temperatura mínima fuese inferior al valor del percentil 5 (“mínimas frías”) y el porcentaje de días en los que la temperatura máxima fuese superior al valor del percentil 95 (“máximas cálidas”). Los cálculos fueron realizados tanto para el verano como para el invierno. En particular, el verano de 1959 fue conformado solamente por los meses de enero y febrero. Se tomaron “porcentajes de días” y no “número de días” para salvar el problema de los

datos faltantes. De esta forma, los valores de los distintos años y estaciones resultan comparables. En definitiva se obtuvieron cuatro series de porcentajes de días de temperaturas extremas por cada estación meteorológica estudiada: porcentaje de días con temperaturas “mínimas frías” (inferiores al valor del percentil 5) de verano e invierno y porcentaje de días con temperaturas “máximas cálidas” (superiores al valor del percentil 95) de verano e invierno.

En total quedaron conformadas 242 series. Cada una de ellas compuesta por cuarenta datos (un valor por año) o algo menos, si el número de datos faltantes no permitió el cálculo de alguno de los valores necesarios para la correlación lineal en algún año determinado

Las series de temperaturas medias fueron construidas de la siguiente manera: se calculó un valor diario de temperatura media a partir de la temperatura máxima y mínima de cada día, para todos los meses de verano e invierno, según:

$$T_{med\ ij} = (T_{min\ ij} + T_{max\ ij}) / 2$$

donde: $T_{med\ ij}$ = temperatura media del día i , año j
 $T_{min\ ij}$ = temperatura mínima del día i , año j
 $T_{max\ ij}$ = temperatura máxima del día i , año j

A partir de estos valores diarios, para cada uno de los cuarenta años, se calculó un valor medio de los mismos (para el verano y el invierno).

$$T_{m\ j} = \sum_{i=1}^n T_{med\ ij} / n$$

donde: $T_{m\ j}$ = Temperatura media de verano (invierno) del año j
 n = número de días de verano (invierno) para los cuales se dispone del valor de temperatura media diaria

Siguiendo el mismo criterio de decisión frente a datos faltantes, sólo se consideró válido un dato de temperatura media de verano o invierno de un año y época del año en particular si se disponía de, por lo menos, el 75% del total de datos.

Se obtuvieron así dos series de temperaturas medias (una para el verano y otra para el invierno) por estación. Éstas fueron correlacionadas con las series de porcentajes, obteniéndose los coeficientes de correlación lineal (r). Los mismos fueron graficados en el mapa de la figura 7.

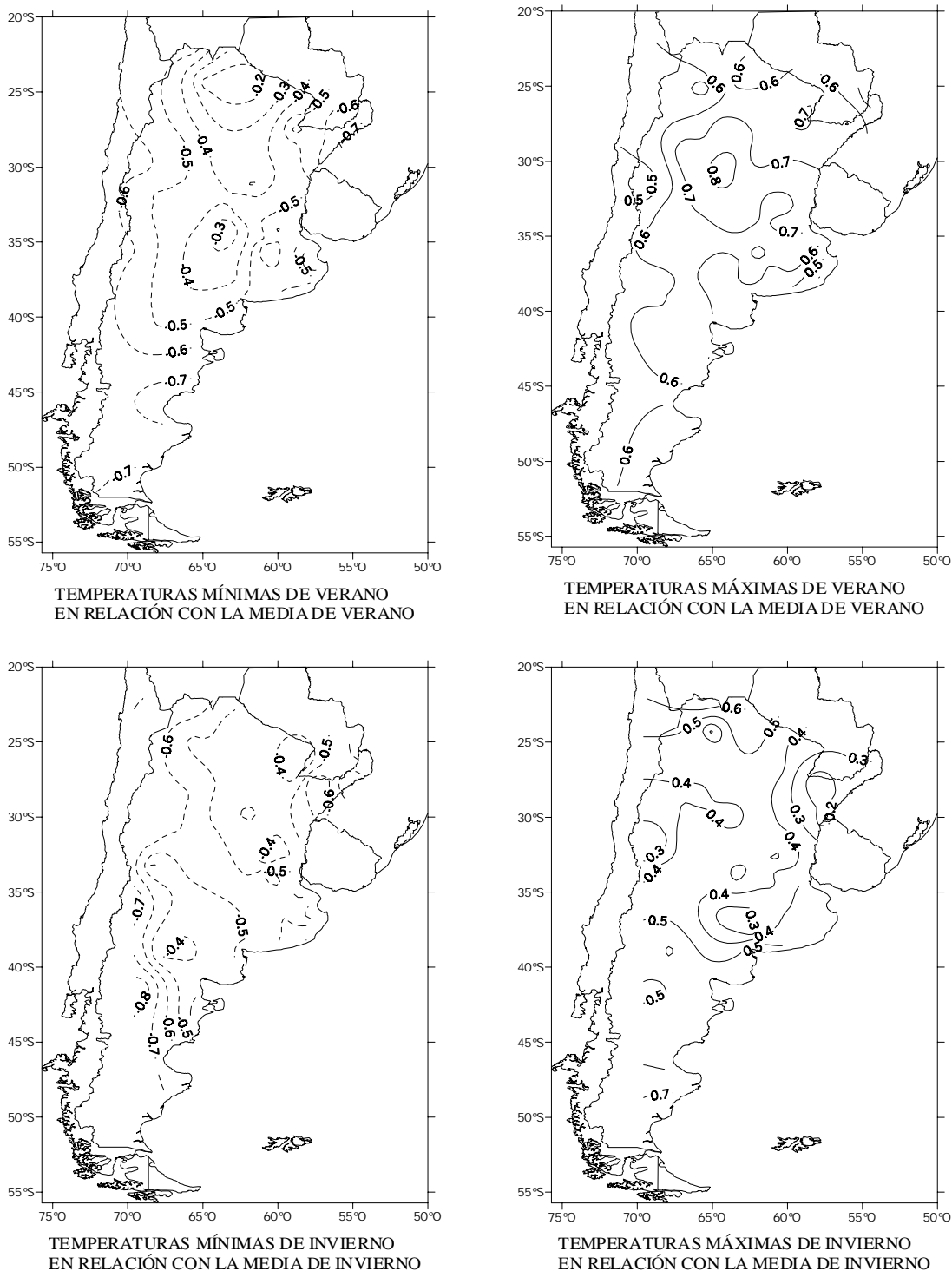


Figura 7: Coeficiente de correlación lineal entre las temperaturas medias estacionales y el porcentaje de días en cada estación con temperaturas extremas. Verano (diciembre a febrero) e Invierno (junio a agosto). Las líneas llenas indican valores positivos, las punteadas, negativos.

Las correlaciones se realizaron entre las temperaturas medias de verano y las dos series de porcentajes de temperaturas extremas de verano y las temperaturas medias de invierno con las series de porcentajes de temperaturas extremas de invierno.

Si se analizan los mapas de coeficientes de correlación, puede observarse el grado de asociación lineal de las variables. El signo está indicando si la relación entre variables es directa o inversa. En línea llena se han representado los valores positivos, mientras que en línea punteada, los valores negativos.

La relación entre la temperatura media estacional de verano e invierno resultó directa en el caso de las correlaciones con eventos cálidos (a mayor cantidad de días con temperaturas máximas cálidas, aumenta la temperatura media) e inversa para el caso de las correlaciones con eventos fríos (a mayor número de días con temperaturas mínimas frías, disminuye la temperatura media). Sin embargo el grado de influencia es diferente para el verano y el invierno, y varía según la región, tal como se puede apreciar en la figura 7.

La temperatura media del verano está fuertemente correlacionada en forma directa con la ocurrencia de temperaturas máximas muy cálidas en el centro y norte del país. En la Patagonia, la correlación (negativa) con la frecuencia de temperaturas mínimas frías es levemente superior a la correlación (positiva) con la frecuencia de temperaturas máximas cálidas. Esto indicaría que un aumento de la temperatura media de verano en el sur del país estaría algo más afectada por la disminución de eventos fríos que por el aumento de eventos cálidos.

La temperatura media de invierno es, en términos generales, menos sensible a la frecuencia de temperaturas extremas. Solamente en la Patagonia alcanza valores de correlación altos similares al verano ($r= 0.7$), aunque hay que recordar que la densidad de estaciones en la zona es baja, y esto afecta a la representatividad real de los resultados. La región cordillerana y el norte de la Mesopotamia son las únicas zonas en donde la temperatura media del invierno se ve más relacionada con la frecuencia de eventos fríos respecto a la frecuencia de eventos cálidos.

En síntesis, la temperatura media de verano está mucho más afectada por la frecuencia

de días con temperaturas extremas (principalmente cálidas) que la temperatura media de invierno, la que probablemente se vea más afectada por los valores puntuales extremos de temperaturas mínimas, más que por "la frecuencia de días con mínimas inferiores al percentil 5".

6. CONCLUSIONES

Fue justificado el exhaustivo análisis de consistencia de los datos de temperatura máxima y temperatura mínima diarias de las bases de datos que supuestamente habían sido controladas previamente. Fueron muchos los datos erróneos encontrados, que podrían haber llevado a conclusiones falsas en los estudios de situaciones extremas de la Argentina.

Las estadísticas básicas, realizadas sobre esta base confiable, resumen las condiciones que pueden servir de base para distintos estudios de aplicación y del conocimiento de la variabilidad de temperatura en Argentina. La variabilidad interdiurna media de Temperaturas Máximas y Mínimas es mayor en invierno que en verano, principalmente en el norte del país. Las distribuciones de probabilidad de ambas variables son asimétricas, predominando en verano la asimetría negativa en la mayor parte del país. En invierno, ambas variables presentan asimetría positiva en el centro del país (con valores mayores hacia el este y en la temperatura Máxima).

La relación entre la temperatura media estacional y la frecuencia de temperaturas extremas presenta diferencias regionales y estacionales. La temperatura media del verano es más sensible que la del invierno respecto de la frecuencia de temperaturas extremas (tanto cálidas como frías). Se encontró una fuerte correlación directa entre la temperatura media del verano y la ocurrencia de temperaturas máximas muy cálidas en el centro y norte del país. En la Patagonia, la correlación (negativa) con la frecuencia de temperaturas mínimas frías es levemente superior respecto a la correlación (positiva) con las temperaturas máximas cálidas.

Esto está indicando que en el centro y norte del país, el aumento potencial de temperatura media está muy relacionado con el aumento de eventos cálidos, aunque no se encuentra relación

significativa con la disminución de eventos fríos, sin embargo en la Patagonia podría decirse que la ocurrencia de ambos eventos se encuentra relacionada con un cambio en la temperatura media, y en particular, más con la disminución de eventos fríos. La temperatura media de invierno está más afectada por la frecuencia de mínimas frías sobre la región cordillerana y en el norte de la Mesopotamia. En la Patagonia esta temperatura está también afectada por la ocurrencia de eventos cálidos.

Estos resultados regionalizan los potenciales cambios en los extremos diarios de temperatura relacionados con una variación de los valores medios estacionales si esta relación, basados en 40 años de información confiable, se mantiene en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS: los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de los datos utilizados en el presente trabajo y a los proyectos UBA 01X/102, CONICET PIP 4557, ANPCyT PICT 06921 y IAI CRN 055.

REFERENCIAS

Abbott, P (1984): Guidelines on the quality control of surface climatological data. World Climate Program. WMO/TD-N° 111, 1-6.

Ambrizzi T, Bernardez Pezza A, 1999. Cold waves and the propagation of extratropical cyclones and anticyclones in South America: A synoptic-climatological overview. *Rev. Geofísica.* **51**, 45-67.

Campetella C, Rusticucci M., 1998. Synoptic analysis of an extreme heat wave over Argentina in march 1980. *Meteorol. Appl.* **5**, 217-226.

Cerne SB, Rusticucci M, 1997. Estudio de la situación sinóptica asociada con la ola de frío extrema de febrero de 1996. *Meteorologica.* **22**, N° 2, 5-17.

Escobar G, Bischoff S., 1999. Meteorological situations associated with significant temperatures falls in Buenos Aires: an application to the daily consumption of residential natural gas. *Meteorol. Appl.* **6**, 253-260.

Garreaud R., 1999: Cold air incursions over subtropical South America: Mean structure and dynamics. *Monthly Weather Review.* **127**, 2823-2853.

IPCC 2001, Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change. Cambridge University Press.

Nicholls N, 1995: Long-term climate monitoring and extremes events. *Climatic Change*, **31**, 231-245.

Ronchail J, 1989. Advection polaires en Bolivie: mise en évidence et caractérisation des effets climatiques. *Hydrol.Continent.*, **4**, 49-56.

Rusticucci, M, Kousky, V, 2002. A comparative study of Maximum and Minimum temperatures over Argentina: NCEP/NCAR Reanalysis versus Station Data. *J. Climate*, **15**, 2089-2101.

Rusticucci M, Penalba O, 2000: Inter-Decadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America. Relationship with surface temperature. *Climate Research*, **16**, 1-15.

Rusticucci M, Vargas W, 1995. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. *Meteorol. Appl.* **2**, 291-300.

Scian B, 1970. Situación sinóptica asociada a las temperaturas extremas observadas en junio de 1967. *Meteorologica.* Vol. 1, **1**, 22-37.

Vera C, Vigliarolo P, 2000. A Diagnostic Study of Cold-Air Outbreaks over South America. *Mon.Wea.Rev.*, **128**, 3-24