

Tesis Doctoral:

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS
NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN EN ANDALUCÍA A ESCALA DE
DETALLE TERRITORIAL**

Doctorando:

JAVIER MARZO ARTIGAS

Dirección:

MARÍA FERNANDA PITA LÓPEZ

Programa de Doctorado de Geografía:

PROCESOS SOCIOECONÓMICOS, RECURSOS Y CAMBIO GLOBAL

**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA FÍSICA Y ANÁLISIS GEOGRÁFICO
REGIONAL**

UNIVERSIDAD DE SEVILLA, 2016



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sevilla, por financiar mi formación como becario pre-doctoral y acogerme como alumno.

A la directora de esta tesis doctoral, María Fernanda. Por todo el tiempo dedicado, por su confianza, por su brillantez intelectual y por su magnífico sentido del humor.

A Natalia, por ser una gran compañera y mejor amiga. Por subirme la autoestima en los momentos de autodestrucción intelectual. Y por las “agradables” risas que siempre aparecen a ritmo de la ruleta de la aleatoriedad.

A mis compañeros del zulo: Conchi, Gabi, Juanma, Arsenio, Pili, Antonio, Míriam, Migue, Coco, Inma, Jose, Jose Mari, Estrella, Vicky, María. Por recibirme con los brazos abiertos, y por vivir innumerables momentos de locura colectiva.

A Juan José Guerrero de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por todo el apoyo técnico y conceptual en el manejo de los escenarios de simulación de temperaturas.

A Boli, por ser mi compañero de viaje, mi apoyo, mi familia. Por aguantar mis momentos de histeria y por hacerlo todo tan bonito y divertido.

A mi perra Amparo, que aunque se fue hace poco ha sido la que más tiempo me ha acompañado durante la redacción de esta tesis. Todavía tengo los pies calentitos.

A Fina, por cuidarme como a un hijo más.

A mis sobrinos Asier, Paula, Eva, Maite, Adriana, Gabriela y Pedro. Por todo el cariño que me dan, por hacerme sentir como si fuera uno más de ellos.

A todos los amigos que de una forma u otra me acompañan en el día a día, y que se han interesado constantemente por el estado de esta tesis: Raúl, Sergio, Mani, Yolanda, Isabel, Nacho, Lucía.

Y muy especialmente: a mis padres, Paco y Elena. Por su bondad, su incansable lucha, su sentido común, su confianza en mis decisiones. Sin su incondicional apoyo esto no habría sido posible.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DE LA CUESTIÓN	8
I.1. Justificación, objetivos del trabajo e hipótesis	8
I.2. La predicción de la demanda energética	14
I.3. Revisión del estudio de la influencia del tiempo atmosférico en la demanda energética.....	16
I.3.1. Consumo energético de climatización.....	16
I.3.2. Variables meteorológicas influyentes en la demanda energética.....	17
I.3.3. No linealidad de la influencia de la temperatura en la demanda.....	18
I.3.4. Estado de la cuestión	20
I.4. La variable grados-día	25
I.4.1. Definición	25
I.4.2. Las temperaturas de base.....	29
I.4.3. El cálculo de la temperatura media	33
I.4.4. Utilización de los grados-día en Andalucía.....	33
CAPÍTULO II. FUENTES DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA	38
II.1. Los datos observados.....	38
II.1.1. La red de observación climática.....	38
II.1.2. Disponibilidad de datos de observación.....	40
II.1.3. Elección del periodo de observación.....	43
II.1.4. Interpolación de registros vacíos, control de calidad y homogeneidad de las series	50
II.2. Los datos simulados de futuro	55
II.2.1. Modelos de circulación general y escenarios de emisiones. Algunas nociones.....	55
II.2.2. Proceso de generación de los escenarios locales de cambio climático	57
II.2.3. Escenarios utilizados	62

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	65
III.1. Análisis exploratorio de la variable grados-día.....	65
III.1.1. Cálculo de la variable grados-día.....	65
III.1.2. Breve análisis estadístico descriptivo de las variables grados-mes y grados-año calefacción y refrigeración.....	66
III.2. Breve revisión sobre espacialización de variables climáticas.....	73
III.2.1. La espacialización de la temperatura.....	75
III.2.2. Espacialización de la variable grados-día.....	77
III.3. Espacialización a partir de variables fisiográficas.....	78
III.3.1. Regresión múltiple.....	79
III.3.2. Relaciones entre las necesidades de calefacción y refrigeración y las variables fisiográficas estudiadas.....	80
III.3.2.1. Variables fisiográficas.....	80
III.3.2.2. Relaciones entre las necesidades de climatización y las variables fisiográficas seleccionadas.....	84
III.3.3. Validación de los modelos.....	86
III.3.4. Espacialización definitiva.....	88
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS	 90
IV.1. Evolución de las necesidades anuales de climatización a lo largo del presente siglo..	90
IV.1.1. Evaluación a escala regional.....	90
IV.1.2. Evaluación a escala de detalle territorial.....	94
IV.1.2.1. Grados-año calefacción.....	94
IV.1.2.2. Grados-año refrigeración.....	100
IV.1.2.3. Grados-año climatización.....	105
IV.1.2.3.1. Coexistencia de las necesidades de calefacción y refrigeración.....	111
IV.2. Evolución de las necesidades de climatización mensuales en el presente siglo.....	114
IV.2.1. Evaluación a escala regional.....	114
IV.2.1.1. Necesidades de calefacción.....	114
IV.2.1.2. Necesidades de refrigeración.....	119
IV.2.1.3. Necesidades de climatización.....	121

IV.2.2 Evaluación a escala de detalle territorial.....	123
IV.2.2.1. Núcleo invernal.....	123
IV.2.2.2. Núcleo estival.....	128
IV.2.2.3. Periodos de transición.....	132
IV.3. La dimensión poblacional en la evaluación de las necesidades de climatización	136
IV.3.1. Grid de distribución espacial de la población en Andalucía.....	136
IV.3.2. Distribución de la población y necesidades de climatización.....	140
IV.3.3. Ponderación de las necesidades de climatización a partir de la distribución espacial de la población	144
IV.3.4. La evolución del volumen poblacional y su incidencia sobre las necesidades de climatización regionales	149
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	152
V.1. Conclusiones	152
V.1.1. Conclusiones relativas a las relaciones lineales entre las necesidades de climatización y las variables fisiográficas.....	153
V.1.2. Conclusiones relativas a la espacialización de las necesidades de climatización	154
V.1.3. Conclusiones relativas a la evolución prevista de las necesidades de climatización regionales a lo largo del presente siglo	154
V.1.4. Conclusiones relativas a la distribución territorial de la evolución de las necesidades de climatización.....	155
V.1.5. Conclusiones relativas a la evolución prevista de las necesidades de climatización regionales teniendo en cuenta la distribución poblacional.....	159
V.2. Posibles investigaciones futuras.....	161
BIBLIOGRAFÍA.....	162
ÍNDICE DE FIGURAS.....	171
ÍNDICE DE TABLAS.....	175
ANEXOS	177

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

I.1. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS DEL TRABAJO E HIPÓTESIS

El consumo creciente de energía por parte de la sociedad durante los dos últimos siglos está propiciando el agotamiento progresivo de los recursos energéticos y un aumento de las temperaturas planetarias que, con su cohorte de fenómenos asociados, constituyen el denominado cambio climático, acerca del cual apenas existen ya dudas. Esta situación ha generado la necesidad de gestionar de forma más racional los recursos energéticos.

El sector de la climatización de espacios es, en este sentido, uno de los que mayor intervención está requiriendo en las últimas décadas, por una parte porque, dentro del sector residencial-comercial, un porcentaje muy elevado del consumo energético se destina al acondicionamiento térmico, y por otra, debido a los escenarios actuales que se dibujan en el contexto del cambio climático (IPCC, 2007), que prevén un aumento de la temperatura media planetaria, lo que sin duda tendrá una incidencia en las necesidades de calefacción y refrigeración. Tal incremento térmico reducirá en alguna medida las necesidades de calefacción, pero es presumible que en algunas zonas puedan aumentar en mayor grado las derivadas de la refrigeración, de manera que el balance energético de climatización (calefacción y refrigeración) experimentaría un crecimiento. De producirse esta situación, el incremento de temperaturas actuaría como un mecanismo de retroalimentación positiva, dado que el aumento de las necesidades energéticas para climatizar espacios propiciaría un mayor consumo de energía y, paralelamente, de emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez generarían un nuevo aumento de temperatura, conducente a un incremento de las necesidades de climatización, y así sucesivamente (ver figura I.1).

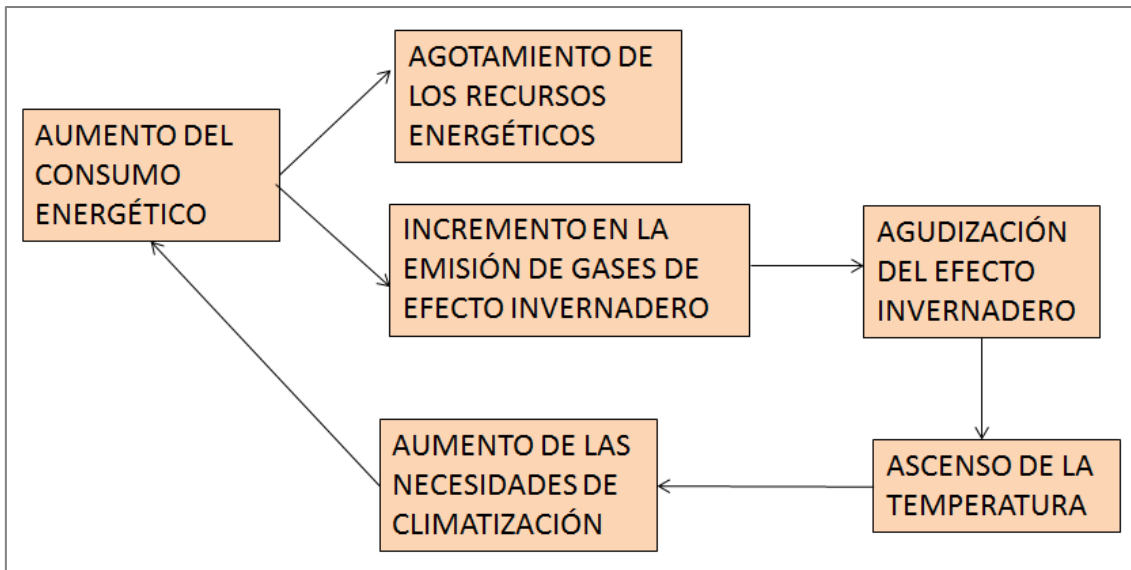


Figura I.1. Mecanismo de retroalimentación positiva del consumo energético por necesidades de climatización en el contexto del cambio climático (en el caso de que el aumento de las necesidades de refrigeración sea de un orden superior al descenso de las necesidades de calefacción).

Fuente: Elaboración propia

El clima de una región es, por tanto, un elemento clave a tener en cuenta en la predicción de la demanda energética, la cual es fundamental en la gestión de este sector porque permite pronosticar las posibles carencias, impulsar medidas de ahorro energético, y evitar inconvenientes a los consumidores, dada la absoluta dependencia energética en nuestro contexto como región desarrollada económicamente. Además, no debe olvidarse que la electricidad, una de las fuentes de energía más demandadas en este sector, no puede almacenarse, por lo que tener previsiones ajustadas de la demanda resulta fundamental.

Todas estas consideraciones han propiciado la aparición de algunos estudios que intentan estimar las necesidades energéticas derivadas de la climatización. En la mayoría de los casos se trata de estudios desarrollados sobre un número reducido de observatorios meteorológicos, con lo cual no pueden recoger la gran variedad climática que existe en cualquier área dotada de una mínima diversidad fisiográfica. Mucho menos frecuentes son este tipo de investigaciones en torno a la posible evolución de tales necesidades teniendo en cuenta las proyecciones climáticas futuras.

Realizar un estudio que cubra estas lagunas en Andalucía es absolutamente pertinente, tanto desde un punto de vista climático como energético:

- La región andaluza presenta una fisiografía compleja, siendo la altitud (sobre todo) y la influencia marítima los factores geográficos fundamentales que determinan la variabilidad espacial de la temperatura, lo cual implica, como es lógico, una gran diversidad de necesidades de climatización. Ello requiere, sin duda, un estudio territorial detallado.

Por otra parte, al estar situada en la fachada occidental de la cuenca mediterránea, Andalucía presenta un invierno húmedo, lluvioso y térmicamente suave como consecuencia de la influencia de las masas de aire oceánicas, mientras que, por el contrario, su verano es seco y muy caluroso en amplias zonas de la región (de hecho, el más tórrido de toda la Península Ibérica), dando lugar a unas necesidades de refrigeración plenamente consolidadas. Estas características nos llevan a pensar que Andalucía, en términos de demanda energética por refrigeración, es una región especialmente vulnerable ante el incremento de temperaturas previsto.

- Antes del estallido de la crisis económica en 2008 la región estaba experimentando un crecimiento sostenido del consumo de energía final. A partir de ese momento éste inició un progresivo descenso, de manera que en 2013 fue un 23% inferior a 2007. Sin embargo, el consumo residencial, que en 2013 representó prácticamente un 10% del consumo total, no se ha visto afectado en la misma medida; al contrario, en ese mismo periodo ha aumentado más de un 7%. En torno al 50% del consumo energético residencial corresponde a la climatización de espacios, por lo que su importancia en el contexto energético regional queda fuera de toda duda. Además, debe tenerse en consideración que una parte significativa del consumo energético en comercios u otros edificios no residenciales corresponde a la climatización.

Andalucía es, además, una región cuyo sistema energético es altamente dependiente del exterior, si bien en los últimos años se está produciendo un significativo incremento de la tasa de autoabastecimiento energético, esencialmente debido a la apuesta importante por las energías renovables, especialmente la eólica y la termosolar. En concreto, la tasa de autoabastecimiento, que en 2007 era de apenas el 6'5%, en 2013 alcanzó ya el 18'9%. Según todos estos datos -extraídos de la aplicación *INFO-ENERGÍA* de la Agencia Andaluza de la Energía-, y en este contexto de lucha por la independencia y eficiencia energética, el probable incremento de las necesidades de climatización en Andalucía por motivos climáticos debe ser un motivo de preocupación político.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, el **objetivo general** de esta tesis doctoral es realizar una estimación de las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial y su posterior proyección hacia el futuro con arreglo a los escenarios de cambio climático que se dibujan para la región.

Las **preguntas a las que se quiere dar respuesta** en este trabajo son las siguientes:

- En relación con las necesidades de climatización, ¿el cambio climático beneficiará o perjudicará a Andalucía en su conjunto?
- ¿Qué áreas de la región resultarán más o menos beneficiadas/perjudicadas por los cambios esperados? ¿Cómo serán éstos?
- ¿Qué meses experimentarán cambios más importantes?
- ¿La población se sitúa en las zonas que se verán más beneficiadas o en las más perjudicadas?

En relación al objetivo general perseguido y a las preguntas que nos hacemos se establecen los siguientes **objetivos específicos**:

- Verificar que, de manera similar a lo que sucede con la temperatura del aire, en Andalucía pueden establecerse relaciones lineales significativas entre sus necesidades de climatización (observadas y previstas) y sus variables fisiográficas/geográficas.
- Espacializar las necesidades de climatización en todo el territorio andaluz a escala de detalle territorial, tanto para el periodo observado como para todos los escenarios futuros considerados, a partir de modelos de regresión en los que las variables independientes sean variables fisiográficas o geográficas.
- Analizar la evolución de las necesidades de climatización regionales según distintos escenarios futuros teniendo en cuenta todo el territorio andaluz y no únicamente los valores puntuales.
- Caracterizar la distribución territorial de la evolución prevista de las necesidades de climatización en Andalucía.
- Estimar los cambios regionales previstos de la demanda energética por climatización a partir de la distribución espacial de la población.

Las **hipótesis de partida** que se asumen en esta investigación son las siguientes:

- Siendo la temperatura la variable meteorológica más influyente en las necesidades de climatización, cabe esperar que el progresivo aumento previsto de aquella a lo largo del presente siglo traiga consigo un cambio de éstas. En concreto, es esperable que la región experimente un descenso de las necesidades de calefacción y un ascenso de las de refrigeración.
- Las necesidades de climatización pueden estimarse mediante la variable grados-día. Esta variable, al derivarse directamente de la temperatura, debería presentar relaciones lineales similares con las variables fisiográficas y/o geográficas fundamentales y, por tanto, poder ser modelizada espacialmente mediante regresión lineal.

- El incremento de temperaturas previsto por las distintas proyecciones de cambio climático no es uniforme, ni espacial ni temporalmente. Como norma general, se prevé que los mayores incrementos se produzcan en el interior de la región y en los meses estivales. Ello apuntaría, por una parte, a cambios de las necesidades de climatización más intensos en las zonas continentales y, por otra, a un mayor aumento de las necesidades de refrigeración en comparación a la atenuación de las de calefacción.
- Las necesidades de climatización de partida son muy diversas en toda la región. Ello se debe a una gran variedad fisiográfica que da lugar a notables diferencias térmicas causantes de muy distintos requerimientos energéticos para lograr el confort térmico de los espacios cerrados. En las zonas más frías de la comunidad un incremento de las temperaturas podría conducir a que únicamente se vieran atenuadas las necesidades de calefacción, sin que llegaran a producirse, siquiera, incipientes necesidades de refrigeración, lo cual podría considerarse un efecto beneficioso. Sin embargo, en la mayoría del territorio andaluz ambos tipos de necesidades conviven en mayor o menor predominancia, lo cual justifica con creces la pertinencia de estudiar su evolución con gran precisión espacial, y determinar, a su vez, cuál será el signo del balance general de climatización.
- La mayor parte de la población andaluza se sitúa fundamentalmente en zonas de baja altitud, donde las temperaturas, y consecuentemente las necesidades de refrigeración, son más elevadas. El incremento de temperaturas previsto debería producir un agravamiento de esta situación en estas zonas tan pobladas, por lo que la tónica energética regional debería apuntar de forma clara en esta dirección. Por el contrario, las zonas más elevadas de la región, donde probablemente sólo descenderá la calefacción sin aumentar la refrigeración, apenas están habitadas, por lo que el supuesto efecto beneficioso no tendría un reflejo sobre la demanda energética regional.

I.2. LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

La capacidad de predecir la demanda energética es un asunto de vital importancia para las empresas generadoras de energía, sobre todo porque la electricidad, siendo la forma de energía hegemónica en gran cantidad de sectores, y cuya demanda por parte de los usuarios debe ser satisfecha de forma instantánea, no puede ser almacenada en cantidades considerables.

Una buena predicción puede ayudar a determinar si previsiblemente se va a producir una carencia de capacidad generadora (y, en consecuencia, pudiera ser conveniente considerar la construcción de nuevas centrales de energía o simplemente impulsar la adopción de medidas de conservación de ésta) o, por el contrario, si en el futuro existirá un exceso de capacidad que pudiera aconsejar la no utilización de parte del parque generador ya existente (Gutiérrez, 2003).

De acuerdo con Labys (1999), si las predicciones resultan ser demasiado bajas pueden tener lugar carencias de energía cuyos costes habitualmente son mucho mayores que el valor de la energía no suministrada. Por el contrario, si las previsiones resultan demasiado altas, los costes de oportunidad pueden ser muy elevados al tener comprometidos, de forma improductiva, cuantiosos fondos económicos durante largos períodos de tiempo. Si se produce una carencia de energía el precio de ésta se incrementa, y el abonado paga más por la energía consumida. Una superabundancia implicaría que los costes asociados con la clausura de algunas plantas o centrales serían trasladados al consumidor (Gutiérrez, 2003).

Los métodos para la predicción de la demanda han sufrido una profunda modificación en las últimas décadas. Antes de 1970 bastaban los métodos de extrapolación de la tendencia. A partir de aquel momento, como consecuencia de la primera crisis del petróleo (bajada de precios, crisis económica), se empezaron a emplear técnicas más sofisticadas, como los métodos de usuario final, los métodos econométricos y los métodos ARIMA (Engle y Mustafa, 1992). En esta etapa algunas economías decrecieron, lo que indujo a políticas de conservación

energética y a la investigación de energías renovables, algo que era totalmente novedoso porque hasta entonces la demanda energética había crecido de forma notable y sostenida.

Según su objetivo, los modelos pueden clasificarse en modelos horarios, de picos de demanda o de energía total consumida (Cancelo y Espasa, 1995). En los modelos de energía total consumida la variable dependiente es el consumo total a lo largo de un determinado periodo de tiempo, generalmente periodos de un mes o superiores. Resultan especialmente útiles a nivel regional o nacional, siendo idóneos para la planificación de la generación energética en estos niveles territoriales (Valor *et al.*, 2001). Debe tenerse en cuenta que el tiempo necesario para planificar, construir, probar y poner en funcionamiento nueva capacidad generadora puede oscilar entre tres y diez años (Gutiérrez, 2003).

Los picos de demanda constituyen el fundamento de la planificación de capacidad generadora y del calendario futuro de mantenimiento (Lam, 1998). En este tipo de predicciones es habitual la utilización de modelos econométricos simples, en los que la punta de demanda es el resultado de una componente base y una componente debido a la temperatura ($PD = B + XT$, siendo PD la punta de demanda, B la carga base, T es una medida de temperatura y X es un parámetro). Los modelos que responden a esta formulación genérica se suelen extender expresando B como una función de variables económicas y demográficas, y T como una variable que puede incluir a otras variables climáticas (Miller *et al.*, 2008), tales como la temperatura de periodos precedentes (variable retardada), la velocidad del viento, la humedad, etc.

De acuerdo a la tipificación que establece Gutiérrez (2003) en su tesis doctoral, los métodos de previsión de la demanda se clasifican en métodos de tendencia temporal, métodos de series cronológicas, métodos de usuario final y métodos econométricos. Estos últimos, dado que relacionan la demanda de energía con factores externos, son los que suelen utilizarse para analizar la influencia de las variables meteorológicas en la demanda energética. Con frecuencia los métodos econométricos se aplican en modalidad uniecuacional (Quayle y Díaz, 1980;

Peirson y Henley, 1994; Sailor y Muñoz, 1997; Sailor, 2001), generalmente mediante un modelo de regresión lineal. Sus principales limitaciones son que pronostican el futuro basándose en relaciones entre las variables que tuvieron lugar en el pasado, y que la relación entre las variables puede ser causal o simplemente casual.

I.3. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO EN LA DEMANDA ENERGÉTICA

I.3.1. CONSUMO ENERGÉTICO DE CLIMATIZACIÓN

En la mayor parte de la literatura especializada en el estudio de la influencia del tiempo atmosférico en la demanda energética, se distingue entre lo que se denomina consumo energético de base y consumo energético de climatización. El consumo energético de base es aquel que no se ve afectado por las condiciones meteorológicas, pese a que existen multitud de (otros) factores que pueden afectarle, aunque para nosotros –sobre todo a nivel conceptual- serán irrelevantes. El consumo energético de climatización es, por tanto, aquel que tiene lugar como consecuencia de unas condiciones meteorológicas determinadas.

En este sentido, el concepto de temperatura de base es básico para entender el comportamiento descrito; el valor de esta temperatura definirá el punto en el cual no es necesaria la climatización de espacios cerrados o, lo que es lo mismo, el punto debajo del cual serán necesarios mecanismos de calefacción y por encima del cual se necesitarán mecanismos de refrigeración. Esta temperatura, lejos de ser una constante, depende en gran medida de las preferencias del consumidor, su renta o la zona climática donde se encuentre. Además, el ser humano desarrolla mecanismos de adaptación al clima, de manera que aquellas personas que viven en zonas de climas fríos soportan mejor las temperaturas bajas, y viceversa, estableciendo su temperatura de confort a la baja y al alza, respectivamente.

I.3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS INFLUYENTES EN LA DEMANDA ENERGÉTICA

Si bien son muchas las variables meteorológicas que influyen en la variación de la demanda energética por necesidades de climatización (insolación, humedad, viento...), la temperatura del aire es la que mayor impacto tiene en ésta, sobre todo en periodos largos. En periodos cortos esa influencia de la temperatura podría matizarse con otros factores meteorológicos: la insolación en periodos por debajo de 18°C, la humedad relativa en periodos por encima de 18°C y la precipitación en ambos comportamientos (Valor *et al.*, 2001).

La inclusión de otras variables meteorológicas aparte de la temperatura –o derivadas- en los modelos depende en gran medida de la escala geográfica en la que se pretenda realizar la predicción de demanda. En un estudio que llevaron a cabo Erbs y Klein. (1984), en el que se pretendía estimar la demanda energética a escala edilicia, se tuvo en cuenta la radiación solar como variable influyente, además de los grados-día, variable derivada de la temperatura en la que se fundamenta esta tesis doctoral y que en epígrafes posteriores se trata ampliamente. La inclusión de más variables meteorológicas que complementan a la temperatura es muy habitual en estudios de este tipo.

En investigaciones que estiman la demanda a nivel regional o nacional también se han tenido en cuenta otras variables atmosféricas aparte de la temperatura, aunque generalmente su capacidad explicativa y predictiva es bastante limitada, por lo que suele prescindirse de ellas. En un estudio de Climent *et al.* (2003) se consideraron diferentes variables meteorológicas como variables explicativas de un modelo econométrico, con el fin de contrastar su influencia en los datos de consumo mensual de gas y electricidad. En concreto, se utilizaron los promedios mensuales de temperatura –expresados mediante la variable derivada grados-mes-, la velocidad del viento en la racha máxima diaria (Km/h), la humedad relativa, la presión atmosférica, la precipitación total y la insolación, ponderando su efecto mediante la población. Solo los grados-mes resultaron ser significativos en cuanto a la modelización. En otro estudio realizado por Lam (1998) se tuvieron

en cuenta, además de los grados-día refrigeración, la entalpía-día¹ latente y la radiación-día solar, teniendo estas dos últimas un menor protagonismo en la capacidad explicativa de los modelos anuales de regresión múltiple generados, aportando únicamente, como media, un 4'5% de la varianza total explicada.

La significación estadística de otras variables meteorológicas diferentes de la temperatura (o derivadas de ésta) en los modelos depende también del clima en el que se esté realizando la investigación. En un estudio de Sailor y Muñoz (1997), en el que se estimó la demanda energética para ocho estados de EE.UU, la entalpía sólo se tuvo en cuenta para Louisiana, debido, según su autor, a su clima cálido y húmedo en verano, mientras que la velocidad media mensual del viento fue significativa en cuatro estados (California, Florida, Texas, Louisiana), siendo los grados-día calefacción o refrigeración –dependiendo de la estación del año- las únicas variables comunes en todos los modelos.

I.3.3. NO LINEALIDAD DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA DEMANDA

La temperatura ambiental es la variable meteorológica que ejerce una mayor influencia en la demanda energética. La respuesta de la demanda energética a las variaciones de temperatura es claramente no lineal, presentando un mínimo y dos máximos (ver figura I.2). Éstos se corresponden, respectivamente, con un punto, o intervalo, en el que la demanda energética es insensitiva a la temperatura (Valor *et al.*, 2001) y dos ascensos de la demanda como consecuencia de las disminuciones y aumentos de la temperatura exterior respecto a una temperatura de base, como respuesta a la utilización de sistemas de calefacción y refrigeración, respectivamente, que permiten mantener los espacios a la temperatura de confort deseada por las personas que los habitan.

¹ Conceptualmente, la entalpía-día latente representa la cantidad de energía necesaria para bajar la humedad al nivel de confort de ASHRAE 55 sin reducir la temperatura del aire.

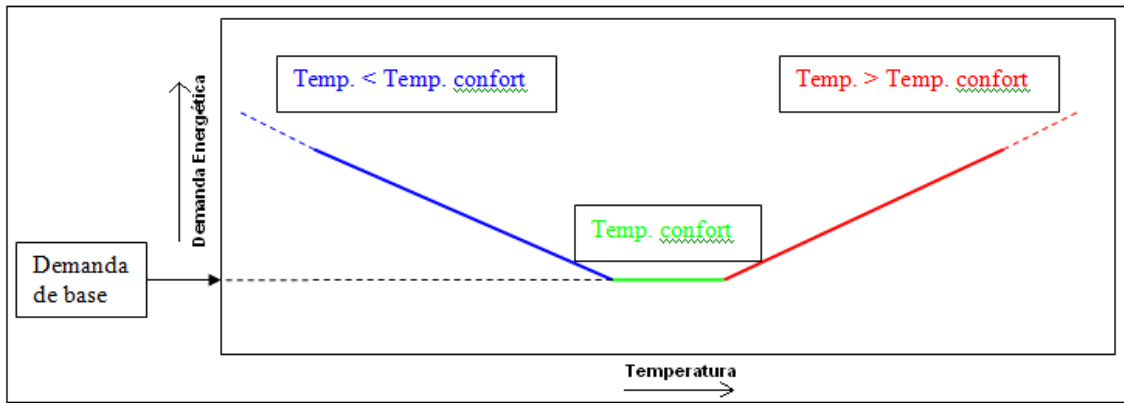


Figura I.2. Influencia no lineal de la temperatura en la demanda energética.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Valor *et al.* (2001)

Pese a esto, Valor *et al.* (2001) defienden la existencia de unas temperaturas límite en las cuales el consumo no aumenta (puntos de saturación), posiblemente debido a la potencia limitada de los sistemas de climatización y a la capacidad de aislamiento de los edificios (ver figura I.3).

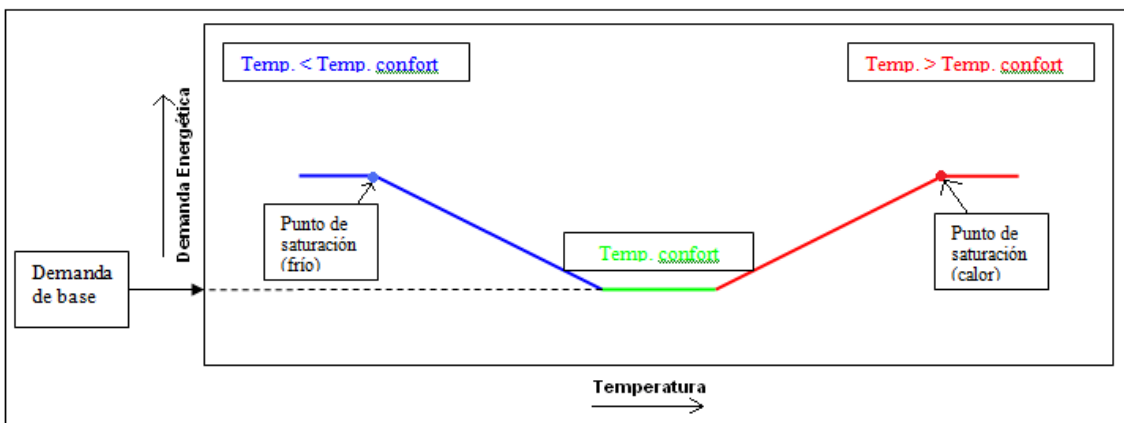


Figura I.3. Puntos de saturación en la influencia de la temperatura en la demanda energética.
Fuente: Elaboración propia a partir de Valor *et al.* (2001)

Para conseguir analizar esta influencia de forma lineal –algo que aporta sencillez a cualquier modelo–, en la mayoría de investigaciones se segregan por una parte los registros por encima de la temperatura de base (refrigeración) y por otra los registros por debajo de ésta (calefacción). Lógicamente, esta separación implica la utilización de dos modelos. El método hegemónicamente utilizado para separar ambos comportamientos es el de los grados-día, variable derivada de la temperatura. Cuando la temperatura exterior del aire es inferior a la temperatura de base se calcula la variable grados-día calefacción, mientras que cuando es superior se estiman los grados-día refrigeración.

I.3.4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La aparición de estudios que intentan estimar las necesidades energéticas derivadas de la climatización data de mediados del siglo pasado. Dryar (1944) puede ser considerado el pionero en estudiar la influencia de la temperatura en la demanda de electricidad, así como el primer autor en introducir el concepto de la demanda base como aquella parte de la demanda que no se debe a las variables atmosféricas.

Los estudios que investigan la influencia de la meteorología en la demanda energética utilizan, generalmente, un mismo nivel de desagregación de los datos climáticos y de consumo energético. Esto es necesario para poder poner en relación el clima de la región de estudio con su demanda energética. Los datos de consumo energético que se utilizan generalmente tienen un nivel de desagregación muy bajo, al ser el consumo regional o nacional los datos que pueden proporcionar las empresas energéticas u otros organismos (Thom, 1966; Bolzem *et al.*, 1982; Gutiérrez, 2003; Hor *et al.*, 2005;). Por otra parte, para obtener variables climáticas representativas de todo el área de estudio muchos autores optan por construir índices climáticos sintéticos, a partir de la ponderación de los registros de los observatorios meteorológicos tenidos en cuenta, generalmente según la población de las áreas a las que éstos representen (Valor *et al.*, 2002; Gutiérrez, 2003; Ortiz *et al.*, 2012). En el caso de regiones con escasa variabilidad climática se pueden considerar como representativos los datos recogidos por un único observatorio (Al-Zayer y Al-Ibrahim, 1996).

Para intentar predecir la demanda energética muchos autores optan por correlacionar las variables meteorológicas regionales –generalmente la temperatura o variables derivadas de ésta- con datos de consumo energético. Los resultados en este tipo de metodologías son notables para el escaso grado de complejidad que exigen; Valor *et al.* (2001) obtuvieron una función no lineal de predicción de la demanda de electricidad utilizando los grados-día calefacción como variable explicativa, presentando un error de estimación de +/-4%. El

modelo en el que utilizaron los grados-día refrigeración resultó todavía más preciso (error de estimación de +/-2%).

Los modelos más utilizados para analizar la influencia de la meteorología en la demanda energética son los denominados modelos econométricos, es decir, aquéllos que relacionan la demanda con factores externos, siendo la temperatura del aire uno de los más influyentes. Es muy habitual que los modelos no incluyan como variable explicativa a la temperatura en su forma original, sino expresada mediante la variable derivada grados-día, que expresa las acumulaciones de calor o frío por encima o debajo de un umbral de confort determinado. Gutiérrez (2003) utilizó un modelo de regresión dinámica conducido por la variable explicativa *grados equivalentes mensuales*, conceptualmente similar a la variable grados-día, pero calculada a partir de datos mensuales. Climent *et al.* (2003), con el fin de precisar la relación existente entre diversos índices climáticos y el consumo de gas y de electricidad, plantearon la estimación de modelos econométricos incorporando de forma progresiva diferentes variables climáticas, determinando, en cada caso, la necesidad de mantener cada variable explicativa en el modelo en función de su nivel de significación individual; sólo fueron significativas los grados-día calefacción y refrigeración. Al-Zayer y Al-Ibrahim (1996) desarrollaron modelos lineales y cuadráticos de predicción de la demanda eléctrica mensual con errores menores al 5%, mientras que para las predicciones anuales el mayor ajuste se consiguió mediante un modelo sinusoidal, todos a partir de la variable grados-día. Le Comte y Warren (1981) formularon un modelo de regresión múltiple que relacionaba la demanda eléctrica semanal con la meteorología, a partir de variables explicativas como los grados-semana totales, y la variable adelantada de ésta (los grados-semana totales de la semana anterior), llegando a explicar el 96% de la varianza.

La influencia del clima en la demanda energética, por otra parte, suele estudiarse mediante sus términos medios, esto es, teniéndose en cuenta las condiciones climáticas habituales de la región y, por tanto, estimando su demanda energética total en un periodo de tiempo mensual o anual. Sin embargo, algunos estudios han

introducido la influencia que tienen los episodios de temperaturas extremas. Colombo *et al.* (1998) identificaron estos episodios mediante valores de temperatura máxima y mínima, considerando dos tipos de eventos distintos: por una parte, un único día en el que la temperatura máxima o mínima igualaran o excedieran un umbral determinado; por otra, un periodo de más de un día en el que se superara también ese límite (olas de frío o calor). Los autores encontraron relaciones evidentes entre esos eventos y los picos de demanda acaecidos en nueve ciudades canadienses. Miller *et al.* (2008) cuantificaron los impactos de las olas de calor en los picos de demanda en California, a partir de las temperaturas máximas superiores al diez por ciento de los días más cálidos del periodo comprendido entre Junio y Septiembre. Para ello estimaron los grados-día refrigeración en estos episodios extremos y, además, los compararon con los valores extremos previstos según diversos escenarios de cambio climático del IPCC.

La mayoría de investigaciones hasta ahora referenciadas utilizan datos de consumo para ser puestos en relación con datos climáticos. Existen también estudios que calculan los requerimientos energéticos por necesidades de climatización a partir únicamente de los grados-día. Matzarakis y Balafoutis (2004) calcularon los grados-día calefacción para 40 observatorios meteorológicos de Grecia y, a partir de modelos de regresión múltiple, transfirieron esa información puntual a todo el territorio nacional. Los autores consideraron que los grados-día son una herramienta muy útil para estimar las necesidades de calefacción de los hogares. Correa *et al.* (2005) utilizaron técnicas de interpolación espacial para distribuir geográficamente los grados-día calefacción y refrigeración para el Área Metropolitana de Gran Mendoza.

La variable grados-día es, en efecto, frecuentemente utilizada en diferentes procedimientos de estimación de la demanda energética, tanto como factor explicativo en modelos econométricos como manejada como indicador para estimar las necesidades de climatización de una región. Esta variable es la más habitual para expresar las desviaciones acumulativas de la temperatura exterior respecto de una cierta temperatura neutra durante un periodo determinado.

Mediante el procedimiento de los grados-día se asume que la energía que se necesita para climatizar un espacio es proporcional a la diferencia entre la temperatura media diaria exterior y una temperatura de base determinada que se establezca (Büyükalaca, 2001, Valor *et al.*, 2001). Esto permite establecer una relación lineal entre esta variable y el consumo energético, pudiendo estimarse de esta manera la demanda energética por causas climáticas.

Debido a su contrastada capacidad para estimar las necesidades de climatización, la variable grados-día es utilizada en la gran mayoría de estudios que tienen como objetivo predecir la evolución de éstas a lo largo del siglo XXI. Estas primeras investigaciones datan de principios del presente siglo, momento en el que empieza a producirse una creciente preocupación por los posibles cambios en la energía destinada a la climatización.

En función del contexto climático para el que se han realizado estos estudios las previsiones son halagüeñas o preocupantes. Venäläinen *et al.* (2004) estimaron que en el periodo 2021-2050 las necesidades de calefacción disminuirían en torno a un 10% con respecto al periodo 1961-1990 en Finlandia. Por su parte, Semmler *et al.* (2010) previeron que a finales de siglo las necesidades de calefacción del periodo invernal experimentarían una reducción de alrededor del 20% en la mayor parte del territorio irlandés, porcentajes de disminución que en el resto de estaciones serían mayores (incluso del 50%), al partir de valores inferiores. Los autores también estimaron un ligero incremento de las necesidades de refrigeración en el sureste del país, aunque en cualquier caso de forma incipiente. En este sentido, y también en este contexto de regiones beneficiadas por el incremento de temperaturas, Christenson *et al.* (2006) constataron, para el caso de Suiza, que las necesidades de calefacción presentaban una especial sensibilidad a las variaciones absolutas, y las incipientes necesidades de refrigeración previstas hacia finales de siglo una gran sensibilidad a las variaciones relativas, como consecuencia de la gran diferencia de magnitud de unas y otras (mucho mayor la calefacción que la refrigeración).

En el extremo contrario se sitúan las regiones permanentemente cálidas. Parkpoom y Harrison (2008) previeron aumentos de la electricidad de más del 15% en Tailandia hacia finales de siglo como consecuencia de las crecientes necesidades de refrigeración.

En ámbitos mediterráneos, caso de nuestra región de estudio, la situación es más compleja, ya que en general ambos tipos de necesidades están bastante consolidados en la actualidad y, por tanto, la variabilidad territorial de su contrapuesta evolución dificulta una valoración regional taxativa en términos de beneficio o perjuicio. Mirasgedis *et al.* (2007) sí reparan en esta cuestión, estimando que la demanda de electricidad aumentaría en Grecia a finales de siglo entre un 3'6% y un 5'5%, como consecuencia de un mayor incremento de las necesidades de refrigeración con respecto a la reducción de las de calefacción. Por su parte, Giannakopoulos *et al.* (2009) espacializaron, mediante celdas de 25 kilómetros de resolución, las necesidades de calefacción y refrigeración presentes y futuras de la cuenca mediterránea a partir de un *ensemble* que combinaba distintos modelos de simulación, confirmando que los cambios de mayor envergadura en ambos tipos de necesidades se producirán en las zonas continentales.

Todos estos antecedentes, llevados a cabo por diversas disciplinas científicas (arquitectura, economía, climatología, etc.), atestiguan un uso muy frecuente de la variable grados-día ante el objetivo de delimitar las necesidades de climatización de edificios, ciudades o territorios, ofreciendo en todos los casos resultados muy satisfactorios. A su contrastada eficacia debemos añadir el hecho de que las pocas investigaciones que han tenido como objetivo estimar las necesidades de climatización futuras han utilizado esta variable. Estas razones nos han conducido a la decisión de utilizar la variable grados-día para estimar las necesidades de climatización presentes y futuras en nuestra región de estudio.

I.4. LA VARIABLE GRADOS-DÍA

I.4.1. DEFINICIÓN

Una condición climática es “x” veces más severa que otra si la demanda energética de un edificio concreto es “x” veces mayor en la primera que en la segunda (Sánchez de la Flor y Álvarez Domínguez, 2004). La utilización de la variable grados-día se basa fundamentalmente en esta asunción, ya que permite estimar en qué proporción un día es más cálido o más frío en términos de climatización, algo que mediante la variable original (la temperatura) no es posible de forma directa.

La variable grados-día se utiliza para cuantificar lo fría o cálida que es la temperatura exterior de un día respecto a una temperatura de base determinada, que es aquella en la que no se necesita climatizar los espacios. En la mayoría de estudios que utilizan esta variable, la temperatura exterior del aire que se tiene en cuenta es la temperatura media diaria, siempre que la disponibilidad de datos lo permita. De hecho, en algunos estudios se realizan estimaciones a partir de temperaturas medias mensuales (Badescu y Zamfir, 1998).

Según Gutiérrez (2003), los grados-día cuantifican la discrepancia o distancia entre la temperatura ambiente representativa de un período de tiempo y una cierta temperatura de referencia. Valor *et al.* (2001) apuntan que los grados-día son la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura de referencia. Según estos principios:

Cuando la temperatura exterior es inferior a la de base hablamos de grados-día calefacción, expresándose como:

$$\text{GDC} = (1 \text{ día}) \sum (T_b - T_m)^+$$

Siendo T_b la temperatura de base, T_m la temperatura media exterior del aire, e indicando el símbolo (+) que sólo se suman los valores positivos.

De forma análoga, en el caso de que la temperatura exterior sea superior a la de base hablaríamos de grados-día refrigeración, calculándose de la siguiente forma:

$$\text{GDR} = (1 \text{ día}) \sum (T_m - T_b)^+$$

Por ejemplo, si un día (X) la temperatura media ha sido de 12°C y la temperatura de base la establecemos en 15°C, hablaremos de 3 grados-día calefacción (GDC = 15 - 12 = 3). Supongamos que al día siguiente (Y) la temperatura media en el mismo lugar ha sido de 9°C; en este caso hablaríamos de 6 grados-día calefacción (GDC = 15 - 9 = 6). Sería correcto afirmar que, en términos de necesidades de calefacción, el día Y ha sido doblemente frío que el día X, mientras que si hubiéramos tenido en cuenta las temperaturas como variable original (12°C y 9°C, respectivamente) no podríamos saber, a priori, en qué proporción, en términos de requerimientos energéticos, es más frío un día que otro. Por otra parte, en esos dos días consecutivos el valor acumulado de GDC habría sido de 9 grados-día.

Si bien es cierto que en la mayoría de estudios el cálculo de los grados-día se efectúa a partir de la discrepancia entre una temperatura de base y las temperaturas medias diarias, Matzarakis y Balafoutis (2004) utilizan temperaturas máximas y mínimas diarias para realizar los cálculos de los grados-día calefacción. En el caso de que la temperatura máxima sea igual o inferior a la temperatura de base considerada el cálculo se realiza del modo clásico, al estimarse que los mecanismos de calefacción deberían ser utilizados durante todo el día por estar constantemente por debajo de la temperatura de referencia. Es decir:

Si $T_{\max} \leq T_b$, la estimación se obtiene de la relación

$$\text{GDC} = T_b - T_m$$

Donde $T_m = (T_{\max} + T_{\min})/2$, T_b es la temperatura de base, T_{\min} es la temperatura mínima diaria y T_{\max} es la temperatura máxima diaria.

Si $T_{\max} > T_b$, existen tres casos de cálculo que deben ser especificados, dependiendo de la relación entre la temperatura de base (T_b) y la temperatura media (T_m), siendo:

$$\text{Si } T_m \leq T_b \quad \text{GDC} = (T_b - T_{\min})/2 - (T_{\max} - T_b)/4$$

$$\text{Si } T_m > T_b \quad \text{GDC} = (T_b - T_{\min})/4$$

$$\text{Si } T_{\min} \geq T_b \quad \text{GDC} = 0$$

No se ha encontrado ningún estudio que utilice temperaturas máximas y mínimas para el cálculo de los grados-día refrigeración, pero podemos proponer una formulación similar a la sugerida por Matzarakis y Balafoutis (2004) aplicada a este caso. En este caso, si la temperatura mínima es igual o superior a la temperatura de base el cálculo de los grados-día se realizará de la forma clásica, al estar todo el periodo bajo la influencia de temperaturas que requieren mecanismos de refrigeración. Esto es:

Si $T_{\min} \geq T_b$, la estimación se obtiene de la relación

$$\text{GDR} = T_m - T_b$$

Donde T_b es la temperatura de base, T_{\min} es la temperatura mínima diaria, y T_m es la temperatura media.

En el caso de que la temperatura mínima no sea superior a la temperatura de referencia ($T_{\min} < T_b$) existen, de nuevo, tres posibilidades distintas de cálculo dependiendo de la relación entre la temperatura media y la temperatura de referencia o base.

$$\text{Si } T_m \geq T_b \quad \text{GDR} = (T_{\max} - T_b)/2 - (T_b - T_{\min})/4$$

$$\text{Si } T_m < T_b \quad \text{GDR} = (T_{\max} - T_b)/4$$

$$\text{Si } T_{\max} \leq T_b \quad \text{GDR} = 0$$

La principal ventaja que supone la utilización de temperaturas máximas y mínimas en el cálculo de los grados-día es que se tienen en cuenta las discontinuidades térmicas intradiarias y, por tanto, las posibles necesidades de climatización dentro del periodo diario. Teniendo en cuenta únicamente la temperatura media diaria

podrían pasar desapercibidos periodos intradiarios en los que la temperatura exterior fuera lo suficientemente discrepante para generar demanda de climatización. Es por ello por lo que consideramos que, pese a no ser la metodología más utilizada, disponiendo de los datos adecuados sí puede aportar mayor grado de precisión.

Utilizar esta metodología de cálculo implica que en un mismo día puedan sugerirse tanto necesidades de calefacción como de refrigeración. Esto sucedería siempre que en algún momento del día se superasen tanto el umbral a partir del cual se hace necesaria la calefacción como aquél sobre el que es necesario utilizar sistemas de refrigeración.

Dado que uno de los objetivos de este trabajo es analizar la evolución de las necesidades de climatización en su globalidad, se ha decidido aunar las necesidades de calefacción y refrigeración en una variable que denominaremos grados-día climatización, que se define mediante la siguiente expresión:

$$GDCL = GDC + GDR$$

La variable grados-día climatización puede explicarse, entonces, como la suma de las discrepancias de la temperatura exterior con respecto a los umbrales establecidos para determinar los períodos en los que se producen necesidades de climatización (calefacción o refrigeración). Consideramos que el sentido de esta variable debe enfocarse hacia un análisis de carácter semanal, mensual o anual, puesto que, si bien es cierto que un mismo lugar puede superar ambos umbrales en un mismo día, parece poco probable que, en la práctica, vayan a producirse ambos tipos de requerimiento de una forma significativa.

Si bien el término grados-día es el que da nombre al método –siendo el que más se utiliza por el hecho de que habitualmente se calcula mediante la temperatura media diaria-, las estimaciones pueden referirse a grados-semana, grados-mes y grados-año, que son la acumulación de grados-día dentro del periodo en cuestión. De hecho, tanto las estimaciones energéticas como las climáticas suelen realizarse en escalas temporales mensuales, estacionales o anuales. En esta tesis doctoral, en

la que se realizan estimaciones mensuales y anuales, se utiliza esta terminología (grados-mes y grados-año) para facilitar la distinción entre ambas escalas temporales.

La aplicación de los grados-día compete a ámbitos disciplinares muy dispares, si bien muchas de las referencias debemos vincularlas a proyectos de arquitectura. No obstante, en el campo de la investigación se pueden encontrar no pocos trabajos que, o bien discuten los grados-día desde un punto de vista meramente epistemológico (Thom, 1966; Büyükalaca *et al.*, 2001; Baumert y Selman, 2003), o utilizan su cálculo como herramienta para obtener resultados en materias de gestión energética (Quayle y Díaz, 1980; Eto, 1988; Tselepidaki *et al.*, 1994; Cartalis *et al.*, 2001; Valor *et al.*, 2001; Valor *et al.*, 2002; Gutiérrez *et al.*, 2003), en temas de desarrollo vegetativo de especies (Cesaraccio *et al.*, 2001), o incluso en hidrología (Robredo y Mintegui, 1994).

Una de las limitaciones de este método para estimar las necesidades de climatización es la fuerte influencia de la laboralidad en la demanda energética, lo cual obstaculiza la puesta en relación de la variable grados-día con los datos de consumo energético. La solución que aportan algunos autores (Valor *et al.*, 2001) es la de correlacionar los grados-día con la demanda energética que se produce en días laborables, excluyendo así festivos, periodos vacacionales, etc. Otra de las limitaciones es que resulta muy complicado ajustar la(s) temperatura(s) de base, algo sobre lo que se intenta dar luz en el siguiente epígrafe.

I.4.2. LAS TEMPERATURAS DE BASE

No existe en ninguno de los ámbitos de aplicación un claro consenso sobre cuál es la temperatura de base más adecuada para el cálculo de los grados-día, en parte porque los requerimientos térmicos para cada fenómeno estudiado son distintos, algo que no impide que existan unos determinados estándares. Más concretamente, y en el ámbito que nos ocupa, el método utilizado por el Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) para calcular los grados-día fija esta temperatura

de base en 18°C, sin diferenciar los grados-día calefacción de los grados-día refrigeración. Cabe destacar que este cálculo se ha hecho a nivel estatal para 171 países, de lo que se deduce que para escalas tan pequeñas donde no se requiere un gran nivel de detalle lo más adecuado es utilizar un valor estándar que pueda ser representativo para todos los casos estudiados; un valor que, por otra parte, no es el único estándar a nivel de organismos científicos o legislativos. En España, el *Documento descriptivo climas de referencia* (Ministerio de Fomento, 2015), que se encuentra dentro del grupo de documentos de apoyo del *DB-HE Ahorro de Energía* (Ministerio de Fomento, 2013), fija este umbral en 20°C tanto para la calefacción como para la refrigeración.

Sí parece aconsejable que a medida que aumentamos la escala de un ámbito o fenómeno la temperatura de base debe ser lo más precisa posible. Un caso extremo de aplicación real sería un edificio con unos requerimientos térmicos muy concretos como consecuencia de sus particulares ganancias internas –presencia humana, aparatos eléctricos, etc.- u otros aspectos influyentes como la insolación recibida o la ventilación (Büyükalaca *et al.*, 2001). Aunque Gutiérrez (2003) afirma en su tesis doctoral que ninguno de los autores se detiene lo más mínimo a defender por qué ha elegido tales valores de temperatura, lo cierto es que en algunos trabajos no se utiliza una temperatura de base estándar o normalizada, sino que se estima a partir del consumo energético de base (Valor *et al.*, 2002; Climent *et al.*, 2003), lo cual ya justificaría la elección del valor o intervalo. Pese a lo dicho, en ambos trabajos la temperatura de base obtenida es de 18°C, haciéndose hincapié en que es una temperatura de referencia frecuentemente utilizada para calcular los grados-día calefacción y refrigeración, aunque se reconoce la posibilidad de necesitar otras temperaturas de base en otras áreas climáticas.

Matzarakis y Balafoutis (2004), en su estudio sobre las necesidades de calefacción en Grecia, establecieron la temperatura de base de los grados-día calefacción en 14°C, a partir de métodos empíricos ensayo-error, valor que además confirmaron con las respuestas de un cuestionario que rellenaron algunas personas de las

ciudades más pobladas del país, contrastando con las fechas de inicio y final de utilización de los sistemas de calefacción.

Valor *et al.* (2001) apuntan también la posibilidad de seleccionar dos temperaturas de base diferentes para las necesidades de calefacción y refrigeración, debido a la existencia de un intervalo en el que no habría una gran sensibilidad en los requerimientos energéticos; establecen estas temperaturas de base como 15°C y 21°C, respectivamente. Este aspecto no es baladí, porque se estarían sugiriendo comportamientos muy distintos de la demanda. En otros trabajos se afirma que tradicionalmente los grados-día calefacción se calculan a partir de una temperatura de base de 18°C (Büyükalaca *et al.*, 2001) o incluso 20°C (De Rosa *et al.*, 2015), y los grados-día refrigeración a partir de una temperatura de base de 22°C (Büyükalaca *et al.*, 2001), 24°C (De Rosa *et al.*, 2015) o 25°C (Stathopoulou *et al.*, 2006). En el trabajo de Büyükalaca *et al.* (2001) se utilizan diferentes temperaturas de base para calcular los grados-día anuales² de calefacción y refrigeración para varias ciudades de Turquía. Mediante esta metodología se pone de manifiesto la importancia capital que tiene la arquitectura bioclimática en defensa del establecimiento de unas temperaturas de base lo más altas y bajas posible, para así reducir el consumo energético por refrigeración y calefacción, respectivamente.

En cualquier caso, tanta diversidad de temperaturas de base puede resultar cuanto menos sorprendente, sobre todo teniendo en cuenta que la temperatura de confort de un ser humano a otro no debería presentar diferencias de tantos enteros, por mucho que exista un mecanismo de adaptación al medio. Este hecho no ha pasado desapercibido para algunos autores. Fonte y Rivero (2005), en su estudio en la provincia de Camagüey (Cuba), observaron que la temperatura de base es sensiblemente inferior a medida que se aumenta de latitud; de hecho, constatan una diferencia de más de 8°C con las temperaturas estándares de países como Reino Unido o España. En realidad, esta comparación que establecen es errónea, puesto que la temperatura de base de ambos países europeos es un único valor

² Algunos autores utilizan la expresión grados-año.

estándar –válido esencialmente para los grados-día de calefacción-, y en cambio la temperatura de base que ellos han calculado para la región (23'6°C) se refiere a las necesidades de refrigeración. En cualquier caso, sí parece claro lo aconsejable de utilizar diferentes temperaturas de base dependiendo de las características climáticas de las áreas de estudio; Sailor y Muñoz (1997), en un estudio sobre demanda de electricidad y gas en ocho estados de EE.UU, utilizan un valor de 18,3°C para todos los estados a excepción de California, el cual se establece en 21°C.

La temperatura de base puede estar condicionada por otros factores meteorológicos. Büyükalaca *et al.* (2001) hacen referencia al establecimiento de diferentes temperaturas de base dependiendo de la insolación recibida. Otros factores meteorológicos que podrían afectar al establecimiento de una u otra temperatura de base podrían ser la humedad y la amplitud térmica, aunque no se ha encontrado ninguna referencia explícita al respecto. Por una parte, el agua es mejor conductora del calor que el aire, por lo que con temperaturas frías una humedad relativa alta favorece la pérdida de calor del cuerpo (de ahí que se incremente la sensación de frío). Cuando la temperatura y la humedad relativa son altas también sucede lo mismo, pero esa presencia de humedad en el aire dificulta la transpiración del cuerpo humano, dificultando por tanto el principal mecanismo que tiene para regular su temperatura cuando hace calor. Por lo tanto, en lugares con humedades relativas altas la temperatura de base de refrigeración debería ser menor que en regiones con humedades relativas bajas, y al contrario, la temperatura de base de calefacción debería ser mayor.

Frente a esta amalgama de temperaturas de base, y teniendo en cuenta las características de nuestro trabajo, se ha decidido establecer dos valores de temperatura de base diferentes para las necesidades de calefacción y de refrigeración. Escoger un único valor implicaría permanentes necesidades de climatización, algo que no se corresponde con la realidad. La temperatura de base escogida para el cálculo de los grados-día calefacción es de 14°C, mientras que para los grados-día refrigeración se ha optado por un valor de 21°C. Se han

escogido estos umbrales porque ambos se han establecido en otras investigaciones de climas similares al de la región andaluza y han arrojado buenos resultados.

I.4.3. EL CÁLCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA

Pese a que la temperatura es una variable continua en el tiempo, la temperatura media diaria calculada por el procedimiento clásico $((T_{max} + T_{min})/2)$ no presenta diferencias significativas respecto a su cálculo mediante más registros intradiarios (World Meteorological Organization), como sería el caso de los datos recogidos por estaciones automáticas que ofrecen registros cada 20 o 30 minutos. En el caso de muchos estudios la preferencia por el método clásico se justifica, además, por la mejor disponibilidad de datos (Quayle y Díaz, 1979). No obstante, y aunque mayoritariamente el cálculo de los grados-día se efectúa a partir de la temperatura exterior media del aire diaria, existen procedimientos que intentan hacer un seguimiento continuo de la temperatura a lo largo de todo el día. Cesaraccio *et al.* (2001) consideran importante tener en cuenta la tendencia diurna de la temperatura en los modelos de agricultura que describan la fenología y el desarrollo de determinadas plantaciones. Los grados-día, entonces, pasarían a determinarse calculando primero los grados-hora, y luego sumándolos y dividiendo el resultado por 24. Obviamente, esta metodología podría aplicarse para cualquier número de registros –periódicos- intradiarios.

I.4.4. UTILIZACIÓN DE LOS GRADOS-DÍA EN ANDALUCÍA

En relación a la utilización de la variable grados-día de manera específica en Andalucía destaca, como primera referencia, la tesis doctoral titulada “La demanda residencial de energía eléctrica en la Comunidad Autónoma de Andalucía: un análisis cuantitativo” (Gutiérrez, 2003), en la que se estudió, por primera vez, el efecto de la temperatura en el consumo residencial de energía eléctrica en la región, para lo cual se utilizó la variable grados-mes. La autora calculó, en primer lugar, las temperaturas mensuales representativas de toda la región en el periodo

1995-2001 a partir de los datos mensuales de ocho observatorios (uno de cada provincia), ponderando la contribución de cada uno según la población provincial. Una vez obtenidas estas temperaturas medias mensuales representativas de la región se calcularon los valores de grados-mes de ésta durante ese periodo, los cuales fueron puestos en relación con el consumo mensual de electricidad durante el periodo 1995-2001. Este procedimiento presenta, a nuestro juicio, dos aspectos cuestionables a nivel climatológico: por una parte, el haber calculado los grados-mes mediante temperaturas mensuales y no diarias y, por otra, el haber considerado únicamente un observatorio representativo por provincia.

Existe un precedente plausible en el que sí se tiene en cuenta la diversidad climática de la región. En concreto, Sánchez de la Flor *et al.* (2008) realizaron una zonificación climática a nivel municipal según la severidad invernal y estival en términos de climatización de edificios, índices construidos a partir de la variable grados-día y la radiación solar. Esta evaluación territorial más detallada se basa en la clasificación climática que se especifica en el Apéndice D del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo), que establece cinco niveles de severidad invernal (de menor a mayor severidad: A, B, C, D y E) y cuatro de severidad estival (de menor a mayor severidad: 1, 2, 3 y 4). En este Apéndice se detallan las zonas climáticas a las que pertenecen todas las capitales de provincia en términos de climatización de edificios, y se ofrecen estimaciones para clasificar climáticamente al resto de localidades de la provincia a partir de la diferencia altitudinal con la capital correspondiente (ver figura I.4), aunque únicamente para aquellos casos en los que la altitud es superior en más de 200 msnm. Si la diferencia altitudinal es de menos de 200 msnm o la altitud de la localidad es inferior se toma como referencia el tipo climático de la capital de provincia.

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1

Figura I.4. Determinación de las zonas climáticas de las provincias españolas.

Fuente: Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Ahorro de Energía (2013).

Los autores calcularon ambos índices de severidad para 124 municipios que tenían disponibilidad de datos climáticos. Posteriormente, aquéllos fueron estimados en el resto de municipios andaluces mediante el inverso de la distancia, estableciendo como factores de corrección las diferencias de altitud, de latitud y de continentalidad con los observatorios de referencia. Tal y como se puede observar en el diagrama de dispersión de la figura I.5, en Andalucía actualmente existen diez tipos distintos de severidad climática, existiendo una concentración evidente de municipios en los tipos B4 (moderada severidad invernal y muy elevada severidad estival) y C3 (elevadas severidades invernal y estival).

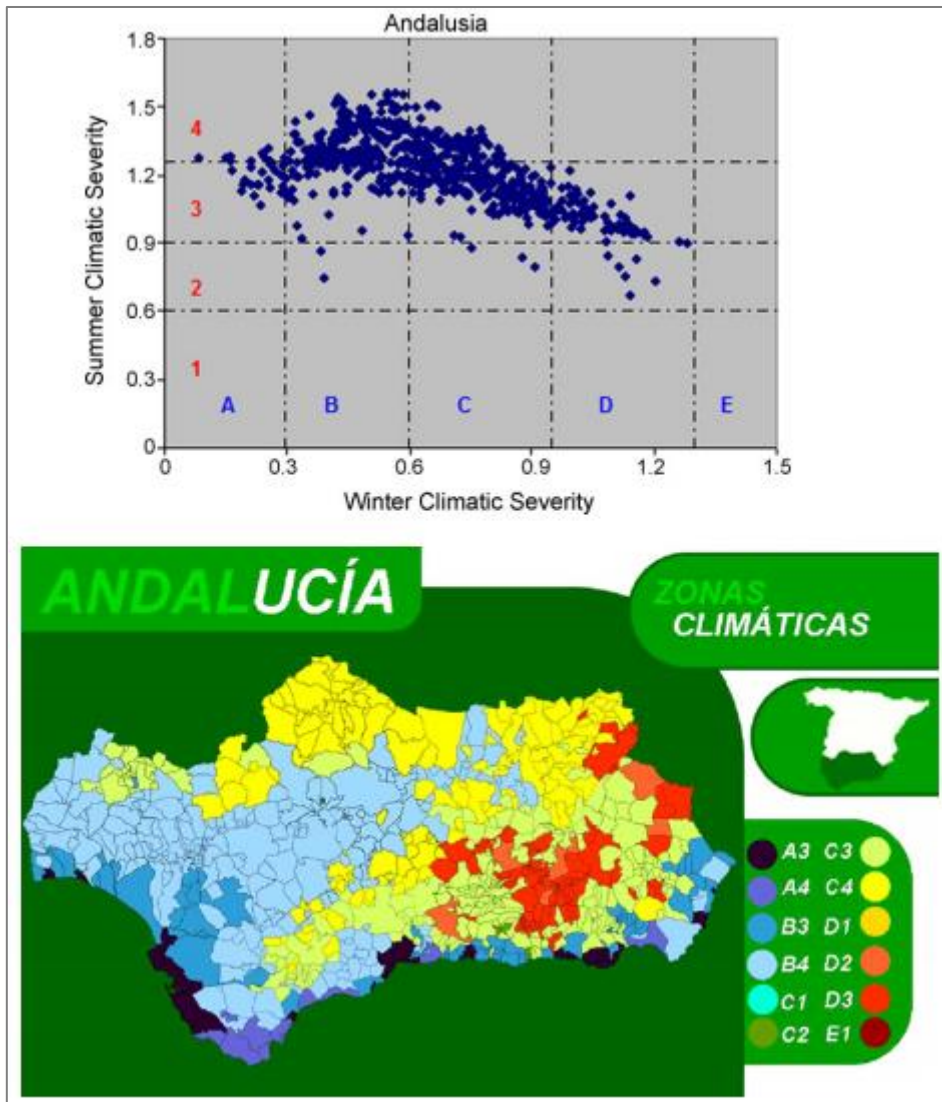


Figura I.5. Severidad climática de los municipios andaluces en términos de climatización. Arriba, diagrama de dispersión de las zonas climáticas de todos los municipios andaluces; abajo, representación cartográfica de la zonificación climática. Fuente: Sánchez de la Flor *et al.* (2008).

El año 2012 la Consejería de Medio Ambiente³ publicó el informe “Estudio básico de Adaptación al Cambio Climático: sector energético”, en el que se incluyó un mapa de grados-día refrigeración anuales observados en el periodo 1961-1990, así como su estimación para el año 2050 según el Modelo de Circulación General (MCG) ECHAM4 y los escenarios de emisiones A2 y B2, utilizando la técnica del

³ Actualmente Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio

krigeado (kriging) para espacializar los datos en toda la región. En esta previsión se constata un aumento muy considerable de las necesidades de refrigeración en algunas zonas que, según dicho informe, se traducirá inexorablemente en un aumento notable del consumo eléctrico. No obstante, en el documento no se especifica qué temperatura de base se ha utilizado para su estimación.

La variable grados-día aparece como propuesta en el Sistema de Indicadores Climático-Ambientales de la Junta de Andalucía, en concreto referidos a cuestiones de fenología y desarrollo de especies vegetales (Grados-día vegetación/Grados-día vegetación normal), pero actualmente no se están aplicando en rutina.

Esta tesis doctoral pretende incorporar sus aportaciones a todo este conjunto de investigaciones realizadas en la región andaluza. Para llevar a cabo la metodología de cálculo de las necesidades de climatización actuales y futuras se ha dispuesto de dos fuentes de información climática. Por una parte, para estimar las necesidades actuales se han utilizado los datos de temperatura diaria de la red de observatorios meteorológicos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET); por otra, para estimar las necesidades de climatización futuras se ha recurrido a los datos simulados de temperatura diaria procedentes de los Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía (ELCCA), facilitados por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. En el siguiente capítulo se detallan las principales características de ambas fuentes de información.

CAPÍTULO II. FUENTES DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA

II.1. LOS DATOS OBSERVADOS

II.1.1. LA RED DE OBSERVACIÓN CLIMÁTICA

La utilización de datos de temperaturas máximas y mínimas diarias supone un perfeccionamiento en la metodología utilizada habitualmente en el cálculo de los grados-día, por lo que su obtención ha resultado ciertamente conveniente. Nuestro interés se ha centrado en trabajar con los datos de diversas estaciones meteorológicas repartidas por toda la región andaluza, con el objetivo de tener una representatividad territorial y climática óptima para realizar un trabajo de estas características.

Andalucía cuenta con una red de estaciones meteorológicas amplia en número e indudablemente discontinua en el tiempo. En la actualidad, esta red de observatorios está compuesta por estaciones meteorológicas manuales, cuya implantación se fue produciendo progresivamente desde principios del siglo XX, y estaciones automáticas, una red mucho menos densa espacialmente y de reciente instalación. Ambos motivos fueron claves para descartar a esta última como fuente de datos de observación, centrándonos únicamente en los registros recogidos por las estaciones manuales.

La red de observatorios meteorológicos manuales se subdivide a su vez en la red de estaciones completas y la red de estaciones secundarias, a tenor del número de variables meteorológicas observadas. Esta distinción, en nuestro caso, carece de importancia, dado que la única variable que vamos a utilizar es la temperatura, por lo que en su tratamiento en ningún caso vamos a establecer una diferenciación entre ambas. La calidad de sus datos será cotejada tanto en el apartado de la descripción de las lagunas de los registros diarios como en el análisis de la homogeneidad de las series climáticas.

La Consejería de Medio Ambiente, que tiene un convenio de colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para el intercambio de información -

organismo al que pertenecen ambas redes de estaciones meteorológicas-, nos suministró el banco de datos de temperaturas diarias correspondiente a la región andaluza, que comprende un periodo de 59 años (1950-2008) y concentra un total de 645 estaciones (ver figura II.1). Obviamente, la disponibilidad de datos en las estaciones es desigual, tanto en el número absoluto de registros diarios como en su distribución cronológica, ambos trascendentales ante los objetivos de seleccionar las estaciones meteorológicas más adecuadas para la espacialización y el establecimiento del periodo climático de referencia más representativo para nuestros propósitos.

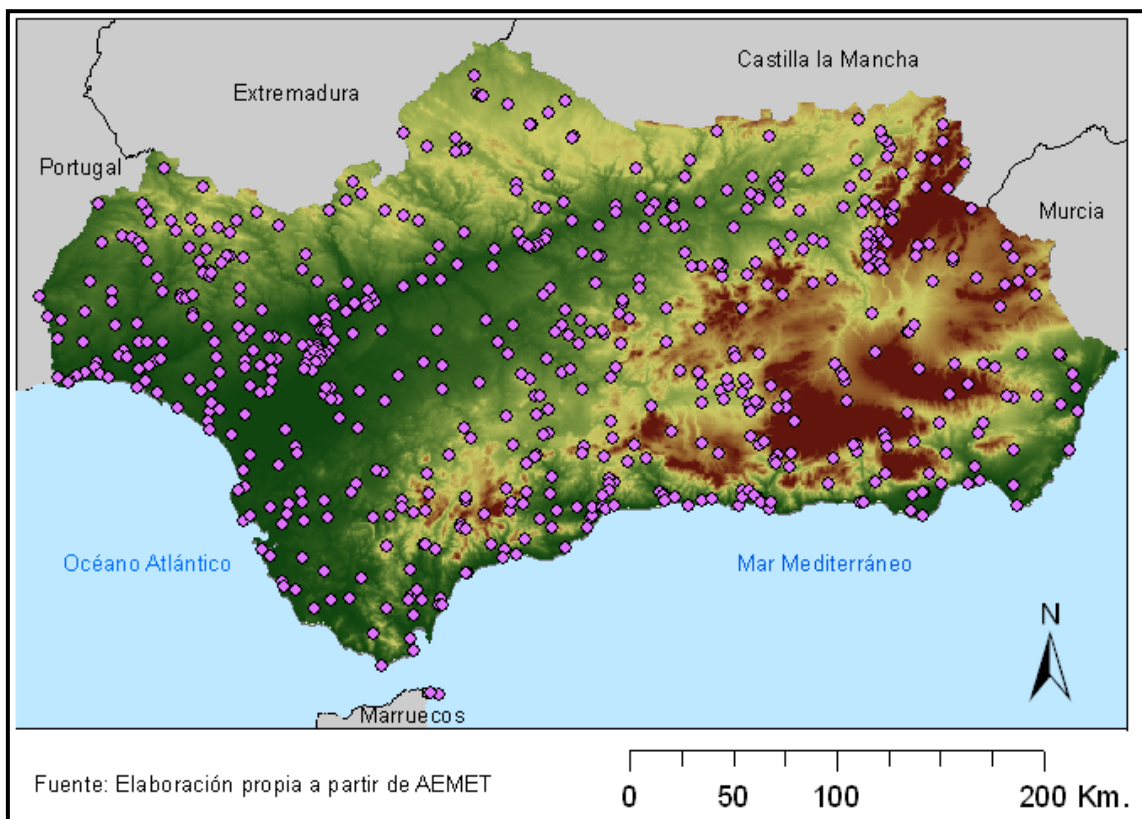


Figura II.1. Localización geográfica de las estaciones meteorológicas manuales entre 1950-2008.
Fuente: Elaboración propia.

II.1.2. DISPONIBILIDAD DE DATOS DE OBSERVACIÓN

Con carácter previo al tema central de esta tesis doctoral se ha analizado la disponibilidad y la calidad de los datos de observación de temperatura. Un estado óptimo de ambas características nos permitiría disponer de los datos de temperatura máxima y mínima diaria de una red de estaciones meteorológicas amplia –recogiendo así la gran variedad climática de la región andaluza-, durante un periodo climático de referencia suficientemente representativo, y cuyos registros cumplieran unos requisitos exigidos de calidad –precisión en el momento de la observación y su posterior registro, ausencia de valores “outliers”, homogeneidad de las series, etc.-. Desafortunadamente, en la mayoría de investigaciones que necesitan registros climáticos con una elevada representatividad espacial se deben afrontar dificultades con respecto a estas cuestiones, algo de lo que no escapa este trabajo.

El número de registros diarios válidos⁴ observados en el periodo 1950-2008 es de 3.919.753, el 30% del máximo teórico, o lo que es lo mismo: el 70% de los registros diarios posibles están ausentes. En la evolución de la disponibilidad de registros diarios válidos pueden detectarse dos tendencias principales: una de ascenso desde 1950 hasta mediados de la última década del siglo pasado, y una de descenso desde ese momento hasta la fecha de los últimos datos analizados (ver figura II.2). Pese a esto, dentro de la primera tendencia ascendente existe un paréntesis de descenso, que alcanza su mínimo relativo a principios de la década de los 80.

⁴ Se consideran registros diarios válidos aquéllos en los que se dispone tanto del dato de temperatura máxima como del dato de temperatura mínima.

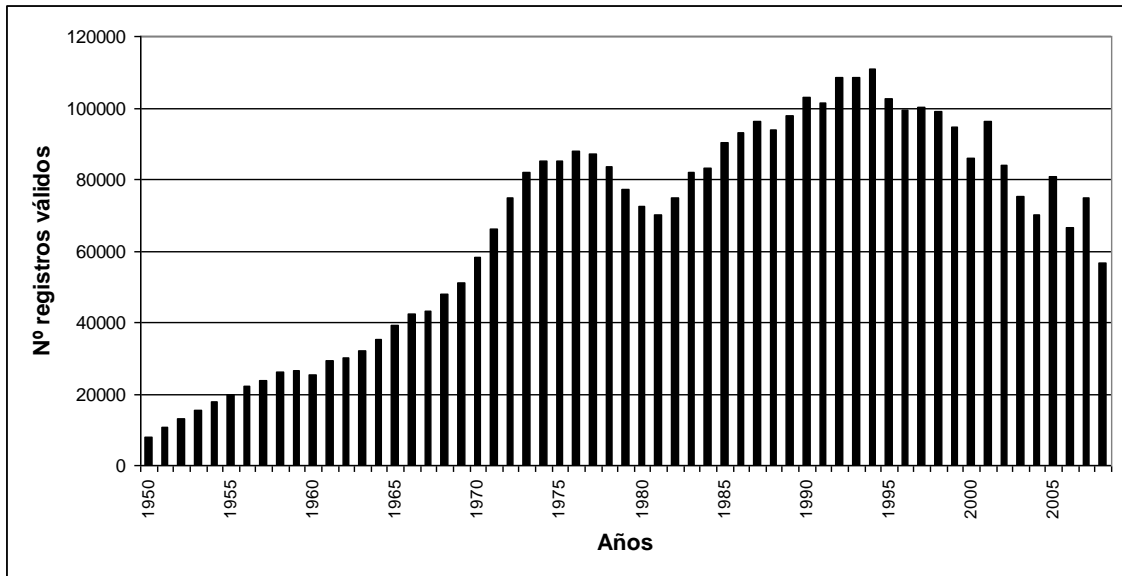


Figura II.2. Evolución del número de registros válidos (1950-2008).
Fuente: Elaboración propia.

El año en el que más estaciones disponen de datos es 1992, con un total de 346 estaciones, aunque el año 1994 es tanto el que tiene un mayor número de estaciones con una disponibilidad de datos diarios por encima del 80% como el que cuenta con más observatorios meteorológicos con series completas (ver figura II.3).

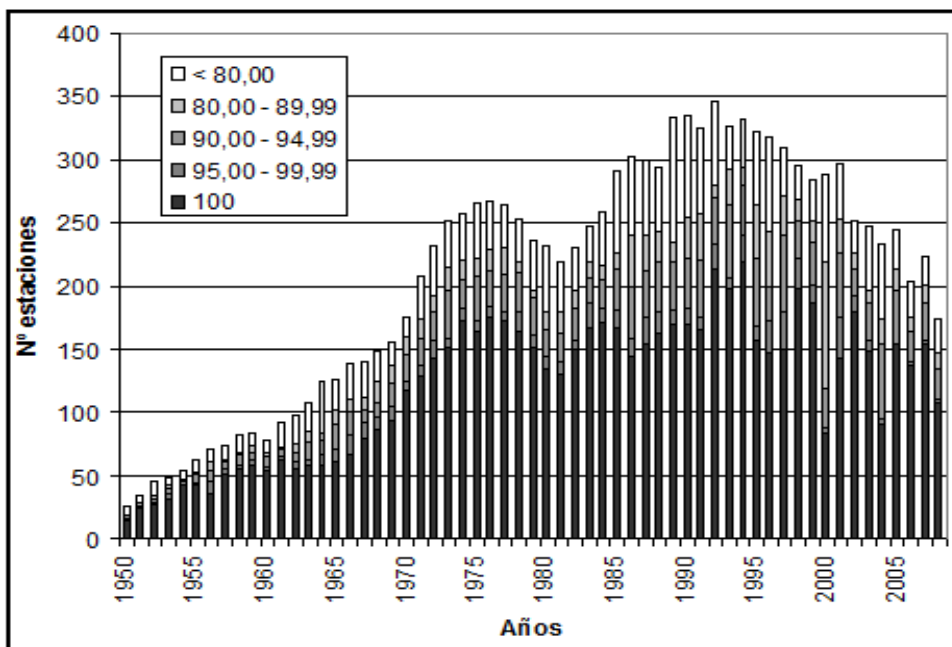


Figura II.3. Evolución del número de estaciones según disponibilidad anual de datos diarios (1950-2008).
Fuente: Elaboración propia.

Pese a que uno de los objetivos principales de este trabajo es espacializar la variable grados-día, para lo cual es deseable disponer de una red numerosa y bien distribuida de observatorios, también es necesaria la existencia de series climáticas mínimamente largas. En este sentido, la disponibilidad de estaciones meteorológicas con series largas es inferior a lo deseable para una investigación de este tipo. La relación entre el número de estaciones y la duración de las series es inversamente proporcional, tal y como podemos observar en la figura II.4. Sólo 113 estaciones de las 607 disponibles en el periodo 1950-2008 superan los 30 años de datos, una duración que suele considerarse estándar para establecer valoraciones climáticas. Por otra parte, las series de prácticamente el 50% de las estaciones son inferiores a 15 años.

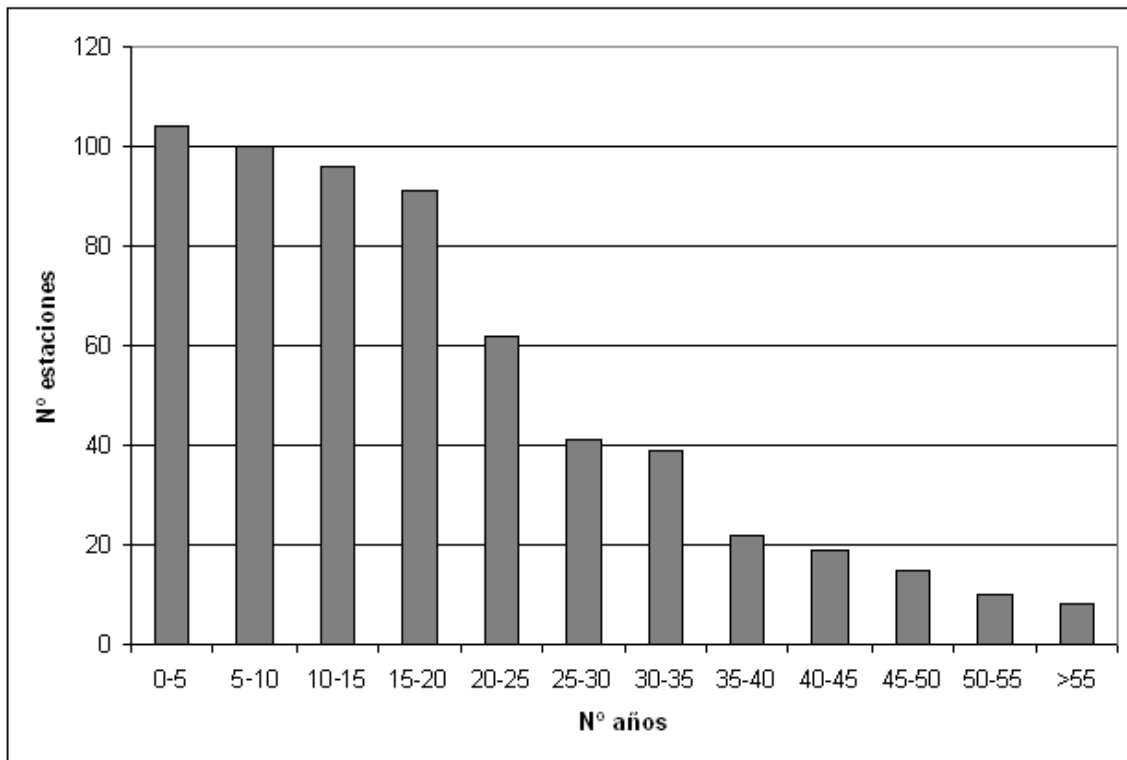


Figura II.4. Número de estaciones según longitud de las series.
Fuente: Elaboración propia.

Obviamente, la distribución cronológica de estas series de larga duración es irregular a lo largo de todo el periodo, tanto en referencia a la no coincidencia temporal entre estaciones como en cuanto a que las lagunas que presentan algunas

de ellas pueden representar interrupciones considerables en las series. Mediante este análisis no es posible describir la continuidad de las series o la simultaneidad entre estaciones, pero es evidente que para trabajar con el mayor número de estaciones, con el objetivo de lograr una buena representatividad espacial, es necesario reducir la duración del periodo de referencia con respecto al valor clásico de treinta años.

II.1.3. ELECCIÓN DEL PERIODO DE OBSERVACIÓN

Existe un amplio consenso científico en referencia a la duración adecuada de una serie climatológica para que ésta pueda resultar representativa. La World Meteorological Organization (WMO) fija este periodo en treinta años, aunque en el caso de las temperaturas suele bastar con un periodo sustancialmente inferior. El establecimiento de una duración adecuada de las series no es siempre de fácil cumplimiento, y lo es todavía menos en aquellos estudios en los que se pretende que intervenga una red amplia de estaciones meteorológicas, la cual suele enfrentarse a los problemas ya mencionados.

En el campo de estudio de la influencia de la temperatura en la demanda energética existe una gran disparidad en la duración de las series climáticas utilizadas. Por una parte nos encontramos con autores que, aunque trabajen con sólo unos pocos observatorios, utilizan series de duración inferior a diez años (Valor *et al.*, 2001; Gutiérrez, 2003), u otros que emplean series más largas de lo que clásicamente se recomienda (Durmaz *et al.*, 2000).

La primacía de la dimensión espacial respecto de la temporal adquiere una importancia capital en estudios en los que se han interpolado territorialmente variables climáticas. Ninyerola *et al.* (2000) filtraron las series de temperatura a los quince años, y las de precipitación a los veinte, dada la mayor variabilidad de esta última. En el terreno de los grados-día, Matzarakis y Balafoutis (2004) utilizaron un periodo de referencia de cinco años para estimar esta variable a lo largo del territorio griego. Si bien es cierto que estos antecedentes muestran un

margen amplio en cuanto al establecimiento de la duración mínima de las series, para aplicar la apropiada en esta investigación nos hemos basado en nuestros propios datos.

En climatología, el valor de una variable se considera que es normal si en un período de tiempo suficientemente largo se puede admitir que, en la media de los valores, se filtran las fluctuaciones de escala temporal corta (Brunet *et al.*, 2009). Teniendo en mente esta premisa, el objetivo ha sido hallar el momento en el cual la variabilidad interanual de las distintas temperaturas medias mensuales da paso a una estabilización del fenómeno en términos medios. Este punto se corresponde con la duración mínima que deberá tener el periodo de referencia. Para realizar esta determinación se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los observatorios meteorológicos corresponden a diversos mesoclimas de la región, con el objetivo de obtener una buena representatividad climática y detectar posibles comportamientos distintos. Para ello se ha tenido en cuenta la regionalización climática establecida por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, que establece seis tipos distintos: clima de montaña, sub-continental de inviernos fríos, sub-continental de veranos cálidos, oceánico, subtropical y subdesértico (ver figura II.5).
- Las series temporales tienen una duración de treinta años (WMO). No se ha escogido un valor superior porque, además de que no se recomienda en ningún organismo competente, nuestro objetivo es demostrar que puede utilizarse una duración de las series inferior a este valor clásico, con el propósito de primar la dimensión espacial de nuestros datos disponibles.
- Por último, para evitar discordancias de tendencia climática entre los observatorios, se ha considerado que todas las series debían ser plenamente coincidentes en el periodo.

Atendiendo a estos objetivos y requerimientos, se han seleccionado seis observatorios meteorológicos (ver tabla II.1) de mesoclimas distintos y con

disponibilidad total de datos diarios en el periodo 1960-1989, y se han obtenido sus temperaturas medias mensuales para cada uno de los años, para posteriormente calcular la media aritmética acumulada de cada uno de ellos.

Código observatorio	Municipio	Mesoclima	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)
6307	Láujar de Andarax	Clima de Montaña	37º 3' N 2º 55' O	1749
4558	Aracena	Sub-continental de inviernos fríos	37º 54' N 6º 34' O	661
5783	Sevilla	Sub-continental de veranos cálidos	37º 25' N 5º 53' O	12
5973	Cádiz	Oceánico	36º 28' N 6º 11' O	5
6155A	Málaga	Subtropical	36º 40' N 4º 29' N	13
6297	Almería	Subdesértico	36º 50' N 2º 28' O	23

Tabla II.1. Mesoclima, localización y altitud de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la duración mínima del periodo de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

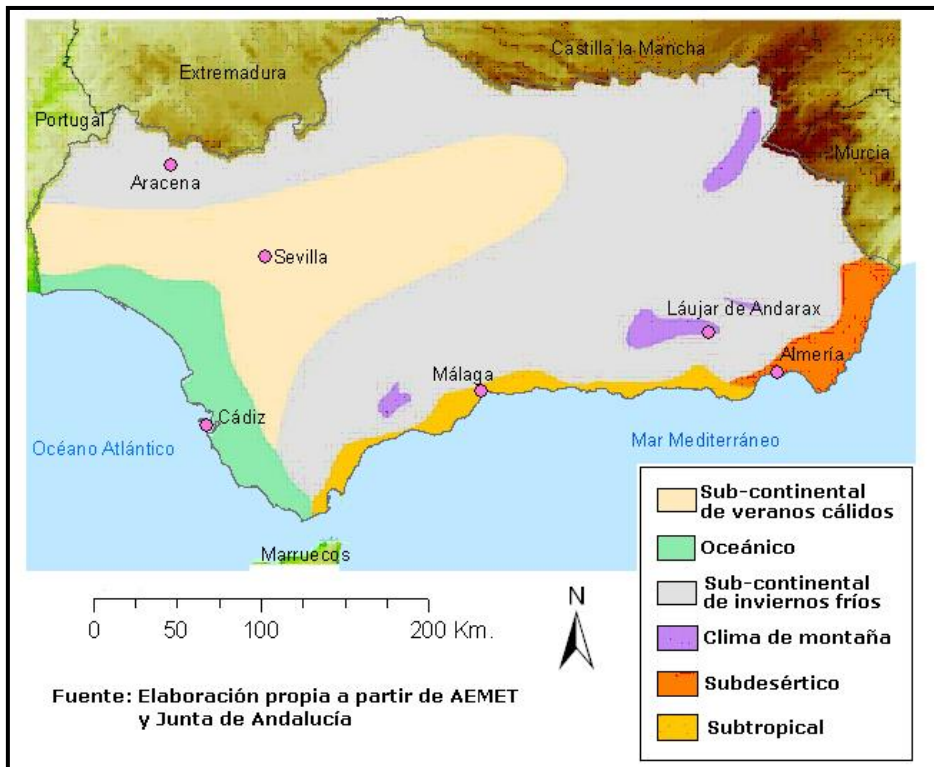
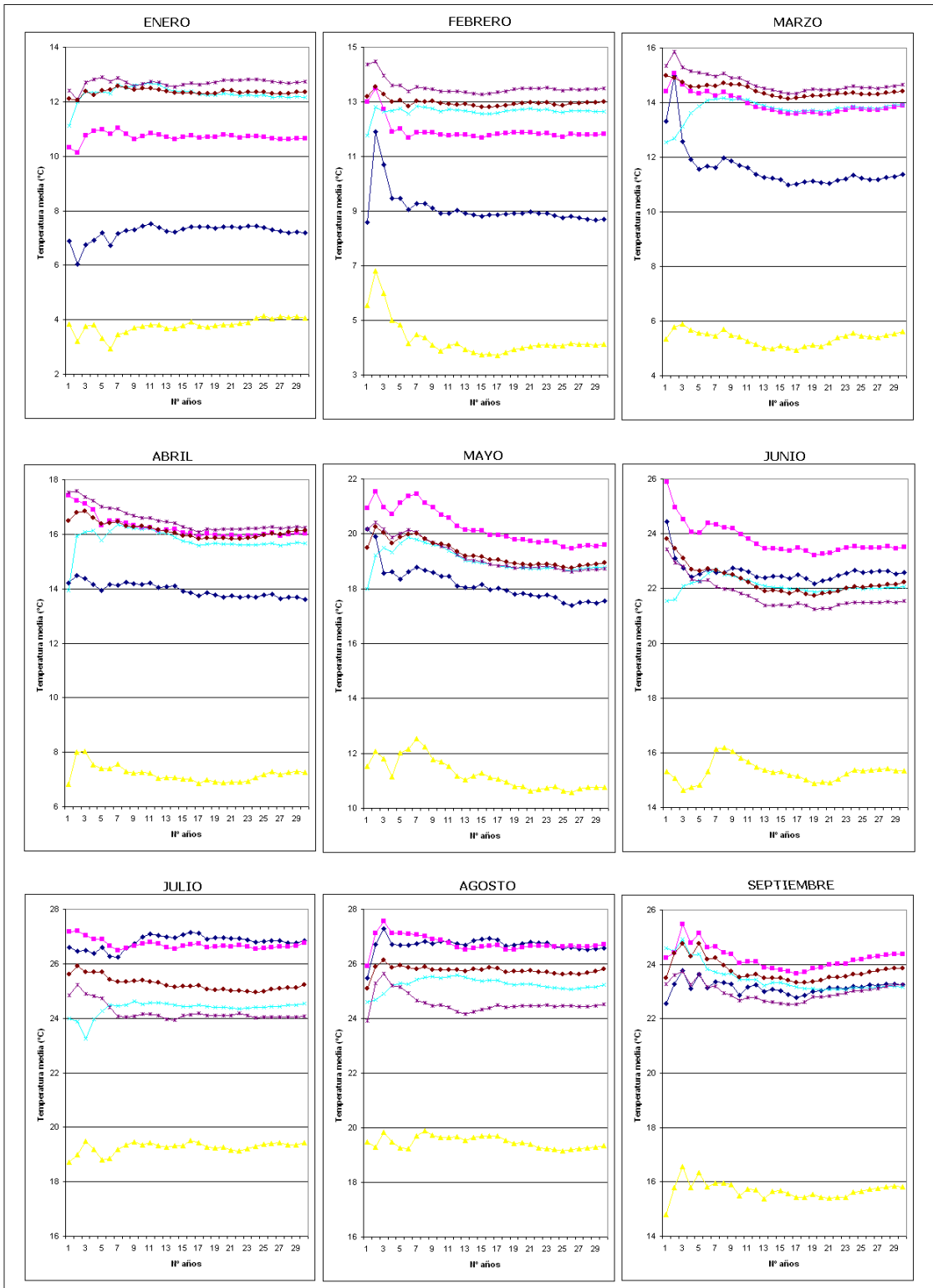


Figura II.5. Mesoclimas en Andalucía y observatorios seleccionados para el análisis de la duración mínima del periodo de observación.

Fuente: Elaboración propia a partir de AEMET y Junta de Andalucía

En la figura II.6 se han representado las temperaturas medias acumuladas de todos los meses para cada una de las estaciones. La consonancia de las tendencias es más que notable, lo cual apoya la robustez de este análisis preliminar. En todos los casos el valor de la temperatura media acumulada puede llegar a oscilar de forma notable en los primeros años de observación, pero a medida que avanzamos en el periodo esas fluctuaciones siempre dan paso a una estabilización. Es complicado identificar el punto de inflexión en el que esa situación se produce, pero como norma general puede establecerse que a partir de los quince años las variaciones que se producen de un año a otro son muy tenues. Ésta es, por tanto, la duración del periodo de observación que vamos a establecer en este trabajo.



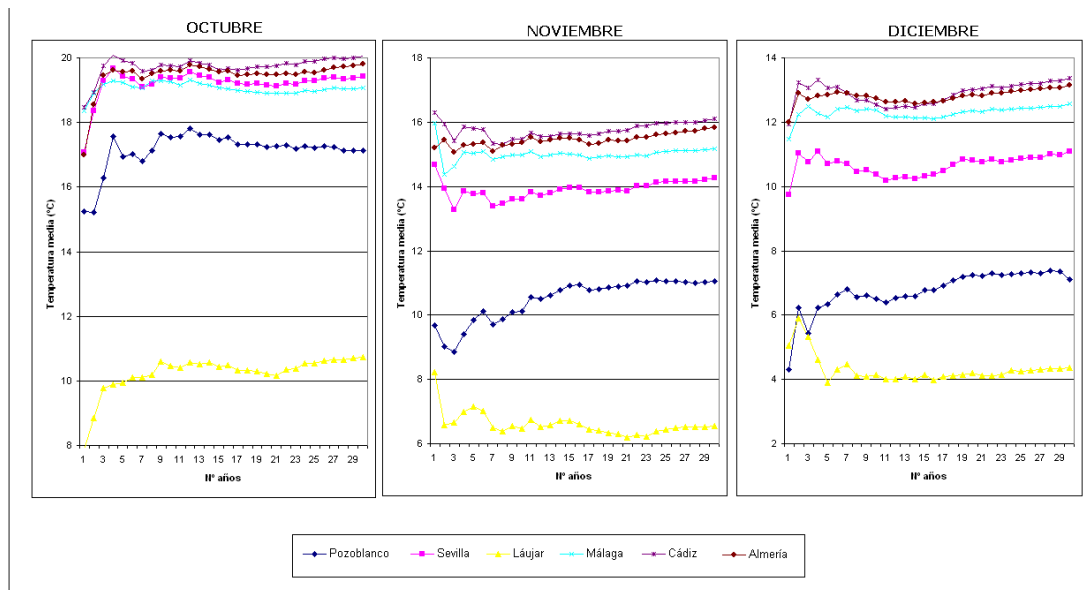


Figura II.6. Temperaturas medias mensuales acumuladas en el periodo 1961-90 en seis observatorios representativos de la región.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinada la duración mínima del periodo de observación nuestro propósito es identificar qué periodo de quince años es el más apropiado para nuestro análisis. La disponibilidad de registros diarios en los sucesivos periodos de quince años sigue un patrón muy parecido al de la evolución del número de registros por año (ver figura II.7), con la salvedad de que en este caso la fase de incremento no se interrumpe en ningún momento, al compensarse el descenso de principios de los años 80 del siglo pasado con el incremento tan importante de los años inmediatamente posteriores. El periodo que cuenta con mayor disponibilidad de registros diarios es el comprendido entre 1985 y 1999, alcanzando prácticamente la cifra de 1.500.000 registros, repartidos entre 456 estaciones. En cualquier caso, el periodo con mayor número de estaciones con datos es el comprendido entre 1980 y 1998, con un total de 488 observatorios.

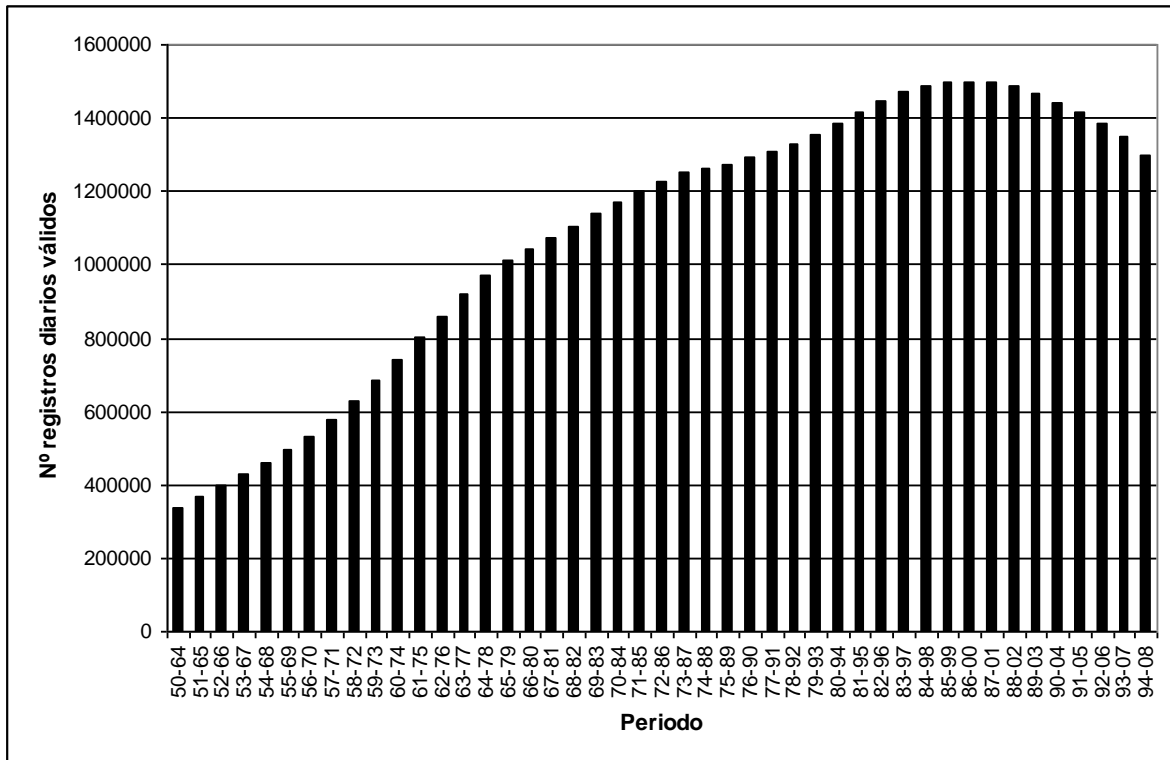


Figura II.7. Evolución del número de registros diarios válidos según periodos de quince años consecutivos (1950-2008).

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que consideramos la densidad espacial de las estaciones meteorológicas un aspecto clave en este trabajo, debe existir también una calidad mínima exigible de las series climáticas en cuanto a su disponibilidad, algo sobre lo que no existe un consenso claro en la literatura. Se ha decidido que la disponibilidad mínima exigible para cada una de las estaciones sea del 80%, por lo que cualquier estación que en el periodo escogido tenga un porcentaje de registros diarios por debajo de ese umbral no va a ser seleccionada. Escoger un porcentaje superior no parece recomendable, porque el número de estaciones se vería limitado en demasía; escoger uno inferior pondría en entredicho la representatividad climática de un periodo de referencia que ya hemos reducido al mínimo.

Aunque el periodo que cuenta con un mayor número de observatorios por encima del 80% de disponibilidad de registros diarios es el comprendido entre 1986 y 2000, se ha decidido escoger el periodo 1985-1999 como periodo de observación porque es en el que se puede disponer de más observatorios con las series completas (20) y con más del 95% de registros diarios disponibles (ver

figura II.8), algo que resulta fundamental para afrontar la fase de interpolación de lagunas posterior.

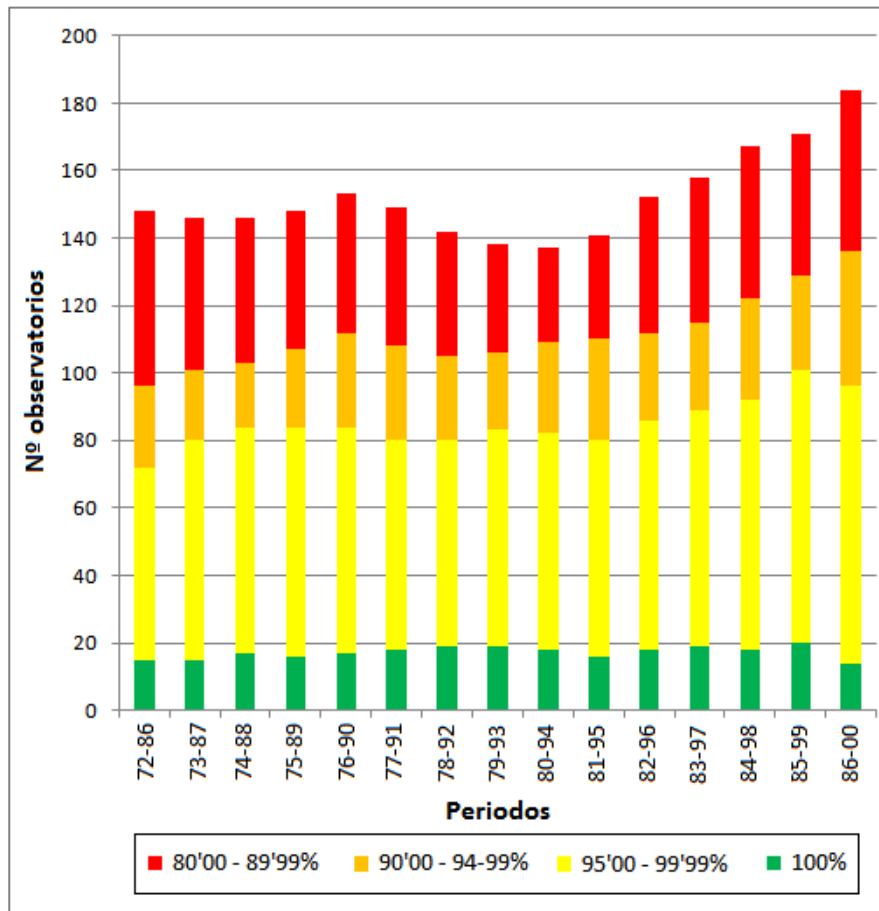


Figura II.8. Número de observatorios según disponibilidad de datos diarios válidos. Fuente: Elaboración propia.

II.1.4. INTERPOLACIÓN DE REGISTROS VACÍOS, CONTROL DE CALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE LAS SERIES

Los registros observados en las estaciones meteorológicas constituyen la base del conocimiento científico en muchos estudios climatológicos. La calidad de estos registros puede verse afectada por diversos problemas, desde la ya mencionada presencia de lagunas -que pueden ser más o menos aisladas-, hasta problemas que afecten a la homogeneidad de las series climáticas. Para que una serie temporal represente las variaciones de un elemento climático y pueda ser calificada como homogénea es necesario establecer que dichas variaciones respondan sólo a

causas climáticas y no a otras de carácter artificial o “no climático” (Conrad y Pollack, 1962). Algunas de estas inhomogeneidades pueden deberse a una relocalización del observatorio, a una variación de las características del entorno de éste (efecto urbano...), o a cambios del instrumental o la forma de realizar las mediciones.

Para analizar la calidad de las series de temperatura se ha seguido la secuencia propuesta por Vicente-Serrano *et al.* (2010), en la que en primer lugar se reconstruyen las series incompletas, posteriormente se realiza un control de calidad de éstas y por último se comprueba su homogeneidad.

El efecto de los valores diarios perdidos en el cálculo de las temperaturas medias mensuales puede dar lugar a errores en los patrones temporales y espaciales (Stooksbury *et al.*, 1999), lo que justifica sobradamente la necesidad de reconstruir las series diarias incompletas.

La interpolación de los valores diarios perdidos se ha realizado según el procedimiento seguido por Allen y DeGaetano (2001), que interpolaron valores máximos y mínimos diarios de temperatura a partir de las series más correlacionadas de otras estaciones meteorológicas. Si los observatorios están suficientemente cercanos, y tienen características fisiográficas parecidas, es muy probable que las temperaturas sean muy similares o que guarden una estrecha relación. De hecho, este procedimiento se ha utilizado incluso para interpolar valores perdidos de precipitación diaria (Vicente-Serrano *et al.*, 2010), una variable mucho menos homogénea a nivel espacial. Algunos autores (Allen y DeGaetano, 2001) han cuestionado este método a la hora de interpolar valores extremos, pero como en el caso de este trabajo se pretenden estimar características climáticas habituales este particular no debería resultar relevante.

La mayoría de observatorios presentan correlaciones muy elevadas con algunas estaciones de la base de datos. La estimación de valores perdidos se ha realizado, en muchos casos, a partir de series que presentaban correlaciones de alrededor de 0,9, por lo que su calidad ha quedado plenamente garantizada. De hecho, en ningún

caso se ha realizado una interpolación con una correlación inferior a 0'75. En general, las correlaciones han sido algo más elevadas en el caso de las temperaturas máximas.

Una vez reconstruidas las series de temperaturas máximas y mínimas fueron sometidas a un control de calidad exhaustivo, siguiendo las recomendaciones establecidas por Aguilar *et al.* (2003), que consisten en:

1- Comprobación de errores

- Valores aberrantes ($T_{max} > 50^{\circ}C$ y $T_{min} < -30^{\circ}C$ ⁵)
- Consistencia de las fechas de calendario: número de días por mes y año

2- Test de tolerancia:

- Cuatro o más valores idénticos de temperatura consecutivos
- Valores que excedan +/-4 de la desviación estándar

3- Consistencia interna: ($T_{max} < T_{min}$)

4- Coherencia temporal: dos observaciones de temperatura consecutivas (de T_{max} o T_{min}) con más de $25^{\circ}C$ de diferencia

5- Coherencia espacial:

- Valores de temperatura que excedan +/-4 de la desviación estándar con respecto a los valores de las estaciones de referencia
- Comparación visual con respecto a las estaciones vecinas

Este control dio lugar a un 0'17% de valores potencialmente erróneos, que en la mayor parte de los casos fueron confirmados como tales a partir de la comparación con los valores de estaciones cercanas. Estos valores erróneos fueron eliminados y considerados como vacíos, por lo que posteriormente debieron ser interpolados según la metodología seguida anteriormente. Una vez concluidas estas dos primeras fases se procedió al análisis de la homogeneidad de las series.

⁵ Los autores establecen temperaturas inferiores a $-50^{\circ}C$, pero se ha considerado que en el caso de nuestra región de estudio se puede establecer como límite inferior una temperatura no tan baja ($-30^{\circ}C$), que sea claramente extrema pero que pueda filtrar más casos como mínimo dudosos.

Existen dos formas distintas de proceder a la hora de analizar la homogeneidad de las series climáticas: los test de homogeneidad absoluta, que se basan en la información de la propia serie, y los test de homogeneidad relativa, que utilizan datos de otros observatorios. En este trabajo se ha optado por la segunda opción.

Para realizar el análisis de la homogeneidad de las series se calcularon, en primer lugar, las series de referencia de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales de cada una de las 172 estaciones seleccionadas, con el objetivo de minimizar al máximo la posibilidad de inhomogeneidades (Vicente-Serrano et al, 2010). La construcción de estas series se ha realizado mediante el software ProclimDB (Štěpánek, 2007).

Las series de referencia se han construido a partir de otros observatorios teniendo en cuenta su correlación, cercanía y características geográficas. En concreto, las series de referencia de la mayoría de estaciones están constituidas por las series de los cinco observatorios mejor correlacionados (siempre y cuando la correlación fuera superior a 0'7), situados a una distancia inferior a 50 kilómetros, y con una diferencia altitudinal de menos de 500 msnm. En sólo seis casos no ha sido posible construir estas series a partir de cinco observatorios debido al incumplimiento de los criterios de similitud climática mencionados, siendo calculadas a partir de tres o cuatro observatorios. El peso de cada estación dentro de cada serie depende de su grado de correlación con la estación candidata.

Una vez obtenidas las series de referencia se procedió a la detección de inhomogeneidades en las series. Para ello se aplicó el test SNHT (Standard Normal Homogeneity Test), desarrollado por Alexandersson y Moberg (1997), a cada una de las series de temperaturas mínimas, máximas y medias anuales y estacionales, comparándolas con las correspondientes series de referencia. Se comprobó que todos los puntos de ruptura identificados tuvieran coherencia en ambas escalas temporales.

Finalmente se detectaron un total de 47 inhomogeneidades a escala anual, afectando a 37 de las 172 estaciones seleccionadas previamente. Se decidió no

contar con estas estaciones al considerar más garante el realizar la espacialización de los grados-día a partir de estaciones con una calidad contrastada.

En la figura II.9 se representan las 135 estaciones meteorológicas finalmente seleccionadas. Como se puede observar nos encontramos con una dualidad perniciosa: disponemos de muchas estaciones situadas en zonas llanas, donde existe una mayor homogeneidad climática, y pocas en zonas de orografía más compleja, donde debería presuponerse una mayor heterogeneidad y, por tanto, donde precisamente se haría necesaria una mayor densidad de estaciones. De hecho, de las once estaciones que se sitúan por encima de 1000 msnm sólo una supera los 1500 msnm. Por esta razón, los resultados que se obtengan de las zonas de mayor altitud deberán ser analizados con especial cautela.

En el Anexo 1 se especifican las características geográficas de estos observatorios.

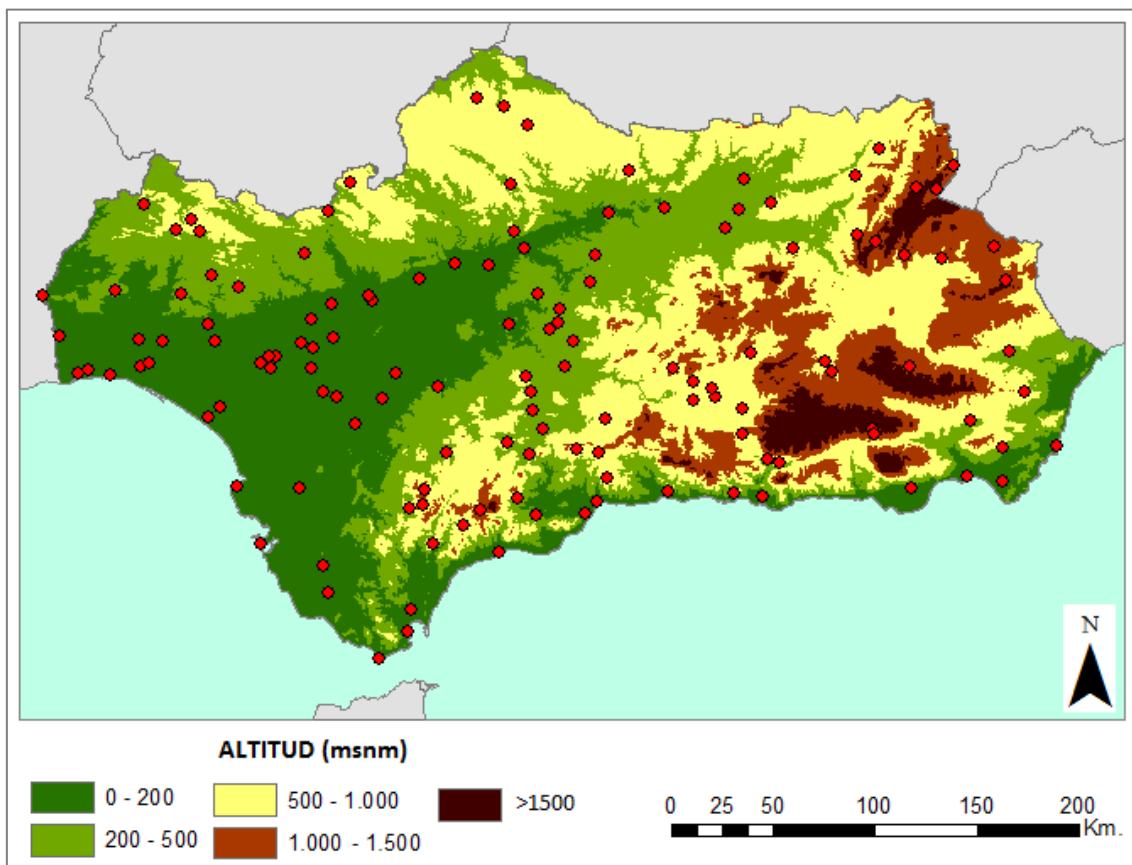


Figura II.9. Estaciones meteorológicas seleccionadas en el periodo de observación (1985-1999). Fuente: Elaboración propia.

II.2. LOS DATOS SIMULADOS DE FUTURO

El procedimiento de cálculo de los grados-día llevado a cabo en este trabajo requiere datos diarios de temperatura máxima y mínima de una serie de estaciones meteorológicas andaluzas en un periodo de referencia climáticamente representativo. Afortunadamente, los datos de simulación futura con los que se ha trabajado en esta tesis doctoral cumplen todos estos requisitos.

Las proyecciones utilizadas proceden del proyecto *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía* (ELCCA), llevado a cabo por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en colaboración con la Fundación para la Investigación del Clima (FIC). El objetivo de este proyecto es aumentar la resolución espacial de las estimaciones globales derivadas de algunos modelos de circulación general (MCGs) del 4º Informe del IPCC, consiguiendo estimar la evolución de determinadas variables climáticas a escala local, entre las que lógicamente se encuentra la temperatura.

II.2.1. MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL Y ESCENARIOS DE EMISIONES. ALGUNAS NOCIONES

Los Modelos de Circulación General (MCGs) constituyen la principal herramienta para estimar el clima del futuro. Estos modelos resuelven las ecuaciones fundamentales del movimiento de los fluidos, de continuidad (conservación de masa), de la termodinámica (conservación de energía) y de estado (Brunet *et al.* 2009) que tienen lugar en la atmósfera, la superficie terrestre, el océano y el hielo, de manera que pueden simular la circulación general atmosférica y, por tanto, los fenómenos asociados a ella. Estas ecuaciones son resueltas sobre una rejilla que cubre todo el globo, con una resolución horizontal que varía entre 150 y 300 kilómetros, describiendo las variables fundamentales del sistema: presión, temperatura, humedad atmosférica, salinidad oceánica, etc. En definitiva, lo que hacen los MCGs es simular la meteorología (normalmente a escala diaria), y es la

agregación sucesiva de ésta –en periodos climáticamente representativos- lo que permite analizar la posible evolución del clima futuro.

Dado que la evolución climática está condicionada por el comportamiento humano (emisiones de gases de efecto invernadero, cambios del sistema productivo y del modelo energético, demografía...) se hace necesario integrar a estos MCGs distintos escenarios que tienen en consideración este tipo de cuestiones socioeconómicas. En la figura II.10 se recogen las principales líneas argumentales de estos escenarios.



Figura II.10. Líneas argumentales de los cuatro escenarios de emisiones futuras. Fuente: Informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisiones (2000).

En el proyecto *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía* se ha trabajado con cuatro MCGs diferentes, y tres escenarios de emisiones para cada uno de ellos (ver tabla II.2). La resolución espacial es, en todos los casos, claramente insuficiente para estimar matices regionales. Ello justifica con creces la necesidad de haber llevado a cabo este proyecto de regionalización en Andalucía.

Nombre del modelo	Resolución espacial	Resolución temporal	Calendario días/año	Escenarios disponibles
BCM2	2'8º x 2'8º	Diaria	365/366	A2, B1, A1B
CNCM3	2'8º x 2'8º	Diaria	365/366	A2, B1, A1B
ECHAM5	1'8º x 1'8º	Diaria	365/366	A2, B1, A1B
EGMAM	3'7º x 3'7º	Diaria	360	A2, B1, A1B

Tabla II.2. Modelos de circulación general utilizados en el proyecto Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía y sus características.

Fuente: Elaboración propia.

II.2.2. PROCESO DE GENERACIÓN DE LOS ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ANDALUCÍA

La modelización a escala regional –o incluso local- de la evolución futura del clima viene motivada por las obvias limitaciones de los MCGs para modelizar la variabilidad climática presente en cualquier región dotada de una cierta diversidad fisiográfica, especialmente ante la necesidad de adaptarse a los posibles impactos que podrían derivarse del cambio climático.

Los climas regionales son el resultado de la interacción entre los fenómenos atmosféricos a escala planetaria y determinados factores regionales. Es por ello que, a partir de diversas técnicas de regionalización (*downscaling*), es posible realizar una modelización climática regional a partir de las simulaciones proporcionadas por los MCGs. Existen dos procedimientos de regionalización fundamentales: los de regionalización dinámica y los de regionalización estadística.

La regionalización dinámica (*downscaling* dinámico) consiste en aumentar la resolución de los MCGs anidando un modelo regional de mayor resolución en el interior del modelo global. Este modelo regional toma como condiciones de contorno los valores del modelo global. La principal ventaja de este tipo de regionalización es que se basa en fundamentos físicos consistentes, permitiendo

simular mecanismos climáticos sin asumir, a priori, la existencia de relaciones entre el clima presente y el del futuro. Las técnicas dinámicas son especialmente adecuadas para regiones que no disponen de demasiados datos meteorológicos, y para estimar extremos climáticos. El elevado coste computacional de este tipo de técnicas no permite conseguir resoluciones horizontales inferiores a 25 kilómetros.

Las técnicas de regionalización estadística (*downscaling* estadístico) se basan en el establecimiento de relaciones cuantitativas empíricas, en un banco de datos del pasado, entre determinadas variables atmosféricas de gran escala (predictores) y variables locales en superficie (predictandos), normalmente la temperatura máxima y mínima y la precipitación. Para realizar las previsiones de cambio se asume que estas relaciones se mantendrán invariables en el futuro, lo que supone uno de los principales inconvenientes de este tipo de técnicas, que por otra parte son mucho menos costosas que las técnicas de regionalización dinámicas, y además permiten alcanzar una gran resolución espacial si se dispone de un número elevado de estaciones meteorológicas. Los métodos estadísticos son especialmente adecuados para estimar características climáticas medias.

La metodología utilizada en el proyecto Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía se basa en el procedimiento implementado por la Fundación para la investigación del clima (FIC), que en el periodo 2005-2011 realizó distintos trabajos de asesoramiento y generación de escenarios regionalizados procedentes del Tercer y Cuarto Informe del IPCC, y que actualmente forma parte del Panel de Expertos de Cambio Climático de la Junta de Andalucía. Esta metodología, que se describe ampliamente en el trabajo de Ribalaygua *et al.* (2012), se desarrolla según los principios del *downscaling* estadístico. Puede resumirse en dos fases:

1. Identificación de situaciones sinópticas análogas. Se seleccionan aquellos n días (150 para el caso de las regionalizaciones de temperatura) de un banco de datos del pasado (Reanálisis ERA-40 en el periodo 1960-2000) con configuraciones atmosféricas más similares del día problema "X", simulado por un MCG determinado. La medida de similitud se calcula, básicamente,

en referencia al parecido en los flujos geostroficados en las superficies de 1000 y 500 hPa. Los predictores deben seleccionarse según fundamentos teóricos físicos en lugar de utilizar análisis empíricos que podrían dar lugar a relaciones que no estuvieran físicamente fundamentadas (Ribalaygua *et al.*, 2012), algo (esto último) que no aconsejaría su aplicación en escenarios futuros.

2. Establecimiento de relaciones entre predictores y predictandos. Se realiza, teniendo en cuenta las 150 situaciones sinópticas análogas de un día problema "X", un análisis de regresión lineal múltiple entre las temperaturas máximas y mínimas diarias observadas en una estación meteorológica (predictandos) y los valores de las variables atmosféricas conocidas (ERA-40) en la vertical del observatorio donde se quiere realizar la estimación (predictores), que son los espesores entre las capas de 1000 y 500 hPa y 1000 y 850 hPa. También se consideran predictores la radiación solar del día problema (que depende tanto del día del año como de la latitud de la estación meteorológica), y una media ponderada de los valores de temperatura observados los diez días precedentes. Una vez establecida, esta relación lineal es aplicada a los predictores del día problema "X" simulados por el MCG para estimar el valor del predictando. A cada día problema y a cada observatorio, por tanto, hay que aplicar dos ecuaciones de regresión lineal: una para estimar la temperatura máxima y otra para estimar la temperatura mínima. Obviamente, este procedimiento se realiza para estimar las temperaturas máximas y mínimas de todos los días futuros en el periodo 2011-2099 para cada uno de los observatorios según las proyecciones que se consideren.

En la figura II.11 se esquematiza cómo se determinaría la temperatura máxima de un observatorio en un día problema X y en un MCG y escenario de emisiones cualquiera.

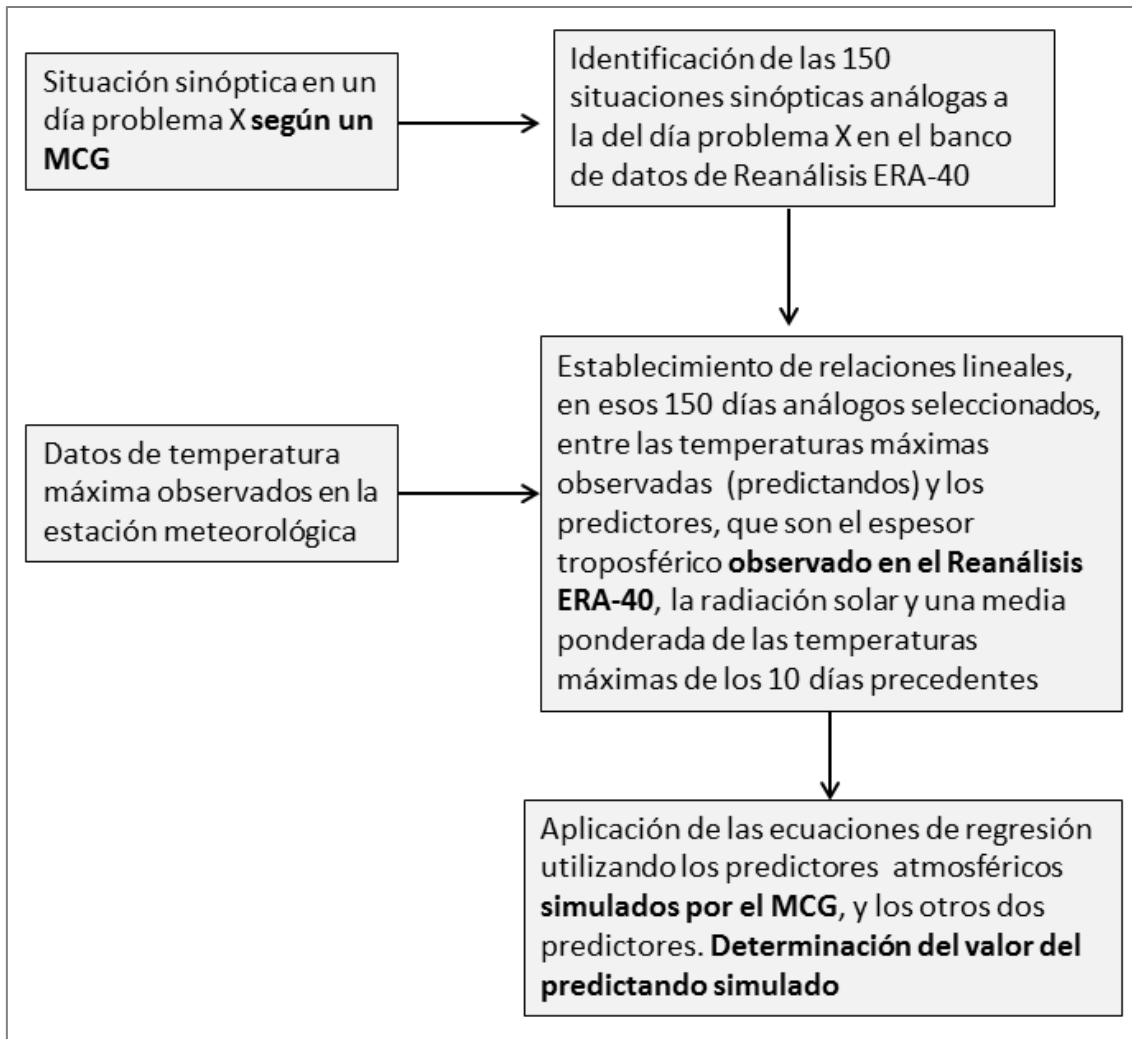


Figura II.11. Proceso de determinación de un valor diario simulado de temperatura máxima para una estación meteorológica concreta y un MCG y escenario de emisiones determinado, según la metodología diseñada por la FIC.

Fuente: Elaboración propia.

Esta metodología de regionalización estadística se ha utilizado con éxito en diversos proyectos nacionales e internacionales de regionalización de escenarios climáticos, pero de igual forma se ha validado para éste en concreto. Para hacerlo, se han aplicado las relaciones entre predictores y predictandos al banco de datos del Reanálisis Europeo ERA-40, que ofrece datos sinópticos observados en el periodo 1960-2000. De esta manera se obtienen valores estimados de temperatura máxima o mínima a partir de predictores observados y no simulados por un MCG. Estas series de verificación obtenidas son comparadas con los datos observados de

las estaciones meteorológicas, con el objetivo de conocer el error que se comete aplicando esta técnica de downscaling.

Además de la validación de la metodología de downscaling, también se ha hecho lo propio con los MCGs. Ello se hace comprobando en qué medida el MCG es capaz de representar el clima del periodo de observación, dado que algunos MCGs pueden simular el clima de forma sistemáticamente más cálida o más fría. Para cuantificar estos errores sistemáticos se compararon las estimaciones obtenidas según la regionalización que utiliza los datos simulados (procedentes de un MCG) con las obtenidas utilizando los datos observados (procedentes del Reanálisis ERA-40). Obviamente, si se utiliza exactamente la misma metodología de regionalización y los mismos predictores, las diferencias que se produzcan deben ser atribuidas a errores sistemáticos del MCG.

Existen, por tanto, dos tipos de errores que, en caso de no anular la fiabilidad de la metodología, deben ser calibrados en las simulaciones futuras: los asociados a la técnica de regionalización utilizada y los asociados al MCG. En el proyecto de ELCCA se realizó una calibración de los datos a escala diaria, que fue proporcionada junto con los valores en bruto obtenidos de la aplicación directa de la metodología de downscaling. Lógicamente, el cálculo de los grados-día en el futuro se ha realizado utilizando los valores de temperatura calibrados.

Los errores se calculan para cada estación meteorológica y cada día del año, considerando todos los datos de ese día (por ejemplo, todos los 13 de enero del periodo 1960-2000 de la estación meteorológica del aeropuerto de Sevilla), y los datos de los 15 días anteriores y posteriores, por una cuestión de semejanza climática.

Para estimar los errores asociados a la técnica de regionalización se calculan, por una parte, los 20 percentiles de los valores de temperatura (máxima o mínima) a cada uno de los 365 días del año (teniendo en cuenta tanto el propio día como los 15 días precedentes y posteriores) y, por otra, los 20 percentiles de los valores de temperatura estimados por downscaling utilizando el reanálisis ERA-40 (también

teniendo en cuenta los 15 días precedentes y posteriores). Esos 20 percentiles obtenidos de las dos formas (datos observados y datos estimados por ERA-40) son comparados para cada uno de los 365 días del año mediante una diferencia. Los errores asociados al MCG se calculan de la misma forma, pero estableciendo la diferencia entre los datos diarios obtenidos mediante el MCG y los obtenidos introduciendo los valores atmosféricos de ERA-40.

Por último, para cada estación, día y percentil se suman los errores de un tipo y de otro, obteniéndose el error sistemático total. Por ejemplo, los errores del percentil 35 del día 15 de febrero asociados a la técnica de regionalización deben ser sumados a los errores del percentil 35 del día 15 de febrero asociados al MCG.

Una vez estimados todos estos errores sistemáticos, éstos son aplicados como correctores (calibradores) en los escenarios de simulación futura en función del percentil, del día del año y de la estación meteorológica de que se trate.

II.2.3. ESCENARIOS UTILIZADOS

Las incertidumbres asociadas al cambio climático son diversas. Algunas de ellas son muy difíciles de controlar o prever, como los cambios en la radiación solar o las erupciones volcánicas, forzamientos naturales que tienen indudables efectos sobre el balance de radiación del planeta. Por otra parte, el clima está condicionado por las variaciones de carácter natural, e incluso puede llegar a estarlo por variaciones de carácter abrupto, como es el caso de las previsiones del IPCC que apuntarían a una reducción significativa de la circulación termohalina del Atlántico Norte hacia finales de siglo. Esta situación podría contrarrestar el incremento de temperaturas en las costas occidentales del continente europeo, lo cual podría acarrear efectos globales si esta reducción fuera muy significativa (Brunet *et al.*, 2009).

Otras incertidumbres, en cambio, sí son tenidas en cuenta en las simulaciones futuras. Es el caso de las asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero,

que se recogen en una colección de distintos escenarios de emisiones y son integradas en los MCGs. Por otra parte, las incertidumbres asociadas a los MCGs aconsejan la utilización de más de uno para acotarlas al máximo.

Los escenarios futuros de temperatura que se han generado en los últimos años son robustos, dado que los cambios previstos son mayores a los errores asociados a la modelización. Además, todos los MCGs y escenarios coinciden en un aumento de temperaturas a lo largo del siglo XXI. Las incertidumbres, por tanto, únicamente hacen referencia a la magnitud de esos ascensos. Ello supone una clara diferencia con respecto a los escenarios futuros de precipitaciones, donde existen incertidumbres considerables tanto en el signo como en la magnitud de los cambios.

En el momento en el que se solicitaron a la Consejería de Medio Ambiente los datos de simulación futura del proyecto de ELCCA sólo estaban disponibles y calibrados los escenarios de temperatura procedentes de los MCGs CNCM3 (Centre National de Recherches Météorologiques, Meteo-France, Francia) y ECHAM5 (Max Planck Institute for Meteorology, Alemania), por lo que son los modelos que se han utilizado en esta tesis doctoral. Se decidió, además, realizar las estimaciones según los escenarios de emisiones A2 y B1, que son los que prevén mayores y menores incrementos de temperatura en la globalidad del presente siglo.

Consideramos que con este conjunto de proyecciones climáticas se cubre razonablemente el abanico de posibilidades de evolución de las necesidades de climatización en la región andaluza. Cada una de estas proyecciones (CNCM3_A2, CNCM3_B1, ECHAM5_A2 Y ECHAM5_B1) contiene datos de temperaturas máximas y mínimas diarias en el periodo 2011-2099 para 112 estaciones meteorológicas bien repartidas espacialmente (ver figura II.12), pero que adolecen de los mismos problemas de representatividad fisiográfica que las de observación. En el Anexo 1 se especifican las características geográficas de estos observatorios.

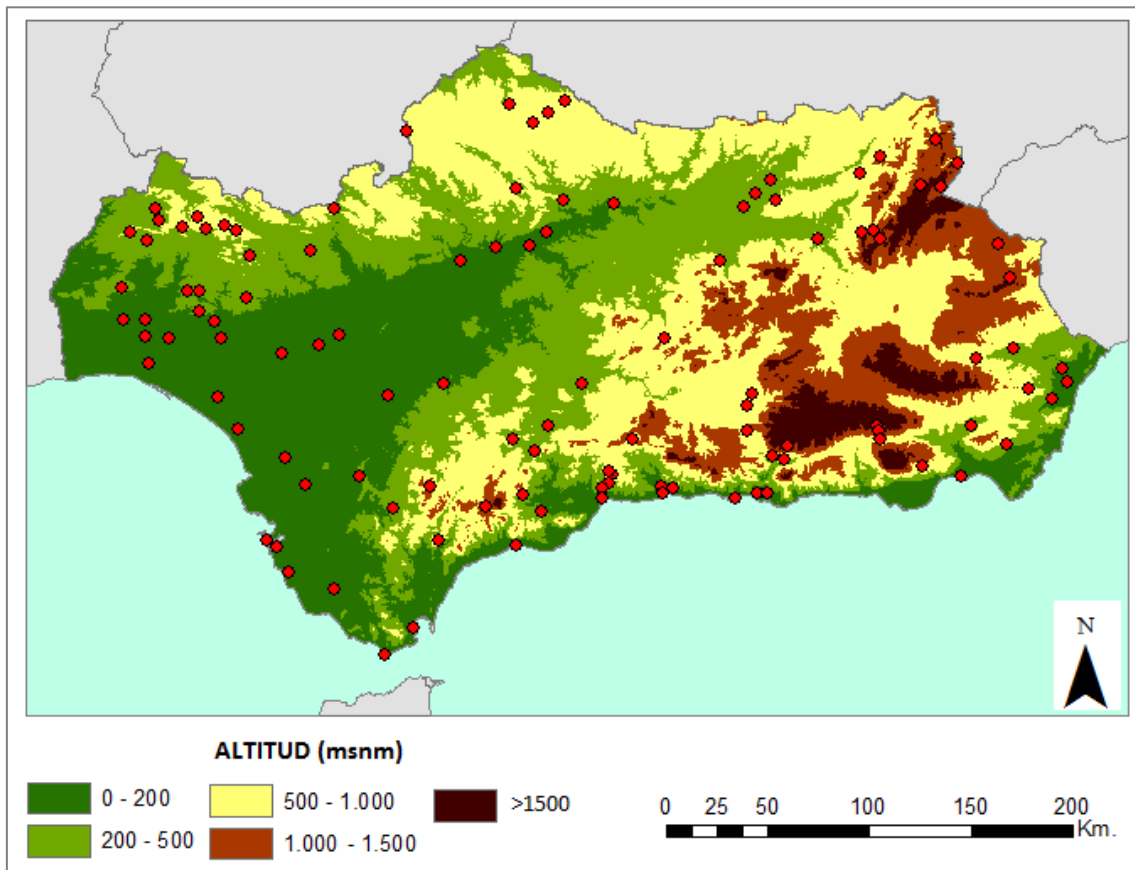


Figura II.12. Estaciones meteorológicas de los escenarios de simulación futura.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

III.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA VARIABLE GRADOS-DÍA

III.1.1. CÁLCULO DE LA VARIABLE GRADOS-DÍA

Finalizada la fase de puesta a punto de las fuentes de información se disponía de dos bases de datos. Por una parte, aquélla en la que se reflejan los datos diarios de temperatura máxima y mínima observados en las estaciones meteorológicas que se han seleccionado para el periodo 1985-1999; por otra, la base de datos que incluye los datos diarios de temperatura máxima y mínima simulados para el periodo 2011-2099 por parte de los MCGs CNCM3 y ECHAM5 según los escenarios de emisiones A2 y B1.

En realidad ambas bases de datos tienen prácticamente el mismo diseño de registro, por lo que en términos operativos funcionan de la misma manera. Cada registro representa un dato diario, en el que queda especificado el observatorio, su fecha (año, mes y día), su temperatura máxima y su temperatura mínima. En el caso de la base de datos de los escenarios de cambio climático, los registros también incluyen un campo de información que indica el MCG en el que se basan, y otro campo en el que se especifica el escenario de emisiones.

Partiendo de este estado inicial, a cada registro se le ha calculado su valor de temperatura media. Ello es necesario porque, en función de la relación de ésta con las temperaturas de base establecidas para la obtención de los grados-día calefacción y refrigeración, se deben aplicar unas ecuaciones de cálculo u otras, como ya se ha visto en el primer capítulo.

Una vez calculada la temperatura media diaria se ha procedido al cálculo de los valores de grados-día calefacción y refrigeración de cada registro. Obviamente, puede darse el caso de que en un mismo registro diario se produzcan necesidades de calefacción y refrigeración. Ello sucede siempre que en un mismo día se sobrepasan los dos umbrales establecidos para calcular ambos tipos de necesidades, situación que suele producirse en las estaciones equinocciales y con

especial intensidad en las zonas de menor influencia marítima, al poder presentar amplitudes térmicas diarias mayores. En cualquier caso, las contribuciones a los valores acumulados en estos días de transición no suelen ser demasiado destacadas.

En último lugar, como nuestro objetivo es obtener una estimación anual y mensual de la variable grados-día, se han calculado los respectivos valores acumulados de grados-día calefacción y refrigeración para cada observatorio, tanto para el periodo de observación como para los periodos futuros considerados (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099). De esta forma, se han obtenido los valores de grados-mes calefacción (GMC), grados-mes refrigeración (GMR), grados-año calefacción (GAC) y grados-año refrigeración (GAR).

III.1.2. BREVE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES GRADOS-MES Y GRADOS-AÑO CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

Con carácter previo a la espacialización de las necesidades de calefacción y refrigeración se ha realizado un breve análisis estadístico descriptivo de las variables grados-mes y grados-año calefacción y refrigeración. Se describen únicamente las principales características de los datos de observación y de los datos simulados de la proyección que prevé mayores cambios (CNCM3_A2_2071-2099), asumiendo que el resto de posibilidades (periodos anteriores o proyecciones más moderadas) se sitúan en un estado intermedio entre ambos escenarios.

A tenor de los principales estadísticos descriptivos de los datos puntuales de observación y simulación futura, existe -y existirá- una notable variabilidad espacial y temporal de las necesidades de calefacción y refrigeración (ver tablas III.1 y III.2). En el periodo de observación, el valor medio de las primeras varía entre los 27'22 GMC de octubre y los 168'48 GMC del mes de enero, mientras que en el caso de las segundas se sitúa entre 27'01 GMR en octubre y 174'88 GMR en julio.

El valor medio de GAC en el periodo de observación (728'48 GAC) es superior al valor medio de GAR (620'88 GAR), predominancia que según el escenario de mayor cambio se invertirá sustancialmente (349'98 GAC vs. 1243'06 GAR). En ningún observatorio se observan o prevén valores nulos de GMR, ni siquiera en los meses menos cálidos. Ello se debe a que ningún observatorio se sitúa en los ámbitos más elevados de la región. Para estos meses, sin embargo, sí se simulan valores nulos de GMC en algunos observatorios.

Escenario: 1985-1999										
Variable/Estadístico	N	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis	
GMC	enero	135	41,54	355,26	168,48	160,89	65,78	4327,15	0,53	0,05
	febrero	135	32,76	290,92	120,45	111,72	52,81	2788,67	0,89	0,69
	marzo	135	16,12	241,80	86,17	77,19	47,72	2276,90	1,34	1,75
	abril	135	9,30	211,20	65,52	55,80	40,12	1609,43	1,38	2,11
	mayo	135	,62	120,28	28,02	21,08	23,44	549,29	1,88	4,13
	octubre	135	,62	134,85	27,22	19,22	25,56	653,25	1,90	3,79
	noviembre	135	9,00	241,50	79,80	70,50	47,61	2266,80	1,08	1,02
	diciembre	135	22,32	308,45	134,72	125,86	62,18	3866,93	0,63	0,00
GAC	135	135,90	2066,10	728,48	644,19	381,23	145336,88	1,13	1,31	
Escenario: CNCM3_A2_2071-2099										
Variable/Estadístico	N	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis	
GMC	enero	112	6,82	243,35	88,87	77,66	53,10	2819,94	1,07	0,89
	febrero	112	6,44	205,80	69,52	60,90	44,50	1979,96	1,35	1,64
	marzo	112	3,41	169,26	44,97	37,05	35,32	1247,80	1,77	2,99
	abril	112	0,30	109,20	23,74	18,30	22,74	517,25	1,93	3,67
	mayo	112	0,00	48,05	6,24	3,10	9,22	85,10	2,63	7,13
	octubre	112	0,00	70,06	7,83	3,26	12,38	153,31	2,66	7,55
	noviembre	112	0,90	151,50	35,78	29,85	29,67	880,19	1,69	2,89
	diciembre	112	3,10	217,31	71,41	62,47	46,16	2130,58	1,20	1,23
GAC	112	21,87	1269,95	349,98	304,34	252,26	63633,50	1,56	2,41	

Tabla III.1. Estadísticos descriptivos de las variables GMC y GAC en los observatorios del periodo de observación (1985-1999) y del periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.

Fuente: Elaboración propia.

Escenario: 1985-1999										
Variable/Estadístico		N	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis
GMR	mayo	135	0,93	74,40	36,94	37,82	16,38	268,40	-0,10	-0,71
	junio	135	6,00	154,80	87,59	89,10	30,41	924,98	-0,41	-0,35
	julio	135	29,14	269,39	174,88	181,66	44,51	1981,42	-0,66	0,19
	agosto	135	36,89	253,58	172,64	177,94	40,39	1631,63	-0,74	0,56
	septiembre	135	13,50	154,20	94,08	96,90	30,00	900,23	-0,49	-0,17
	octubre	135	1,24	57,35	27,01	26,97	13,47	181,44	-0,01	-0,87
GAR		135	95,53	1005,56	620,88	645,04	182,37	33257,47	-0,51	-0,12
Escenario: CNCM3_A2_2071-2099										
Variable/Estadístico		N	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis
GMR	mayo	112	22,01	204,60	114,16	121,83	43,84	1921,60	-0,22	-0,85
	junio	112	75,00	332,70	215,98	219,60	59,06	3487,77	-0,22	-0,89
	julio	112	117,18	408,89	290,66	302,41	64,54	4164,83	-0,24	-0,83
	agosto	112	124,31	396,80	279,14	289,39	57,18	3270,11	-0,30	-0,58
	septiembre	112	61,80	295,20	193,77	201,30	51,52	2653,99	-0,41	-0,58
	octubre	112	8,68	147,56	78,20	81,38	30,76	946,34	-0,23	-0,48
GAR		112	494,33	1921,20	1243,06	1292,88	326,20	106408,98	-0,26	-0,85

Tabla III.2. Estadísticos descriptivos de las variables GMR y GAR en los observatorios del periodo de observación (1985-1999) y del periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.

Fuente: Elaboración propia.

El amplio rango de los valores y los estadísticos de dispersión alrededor de la media dan fe de la aludida diversidad territorial de las variables, tanto intermensual como anualmente. La magnitud de las necesidades de calefacción viene marcada fundamentalmente por la componente altitudinal. Los valores más elevados se corresponden, tanto en los valores observados como en los previstos, con los observatorios situados a mayor altitud, mientras que los valores más bajos se sitúan, fundamentalmente, en el litoral (ver figura III.1). Existen excepciones, como es el caso de los observatorios situados en el coto de Doñana, que presentan valores más propios de zonas deprimidas de interior. Una posible explicación de esta situación es la relativa frecuencia de vientos catabáticos nocturnos que, canalizados por el valle del río Guadalquivir, hacen descender las temperaturas mínimas por la influencia del aire frío procedente del interior.

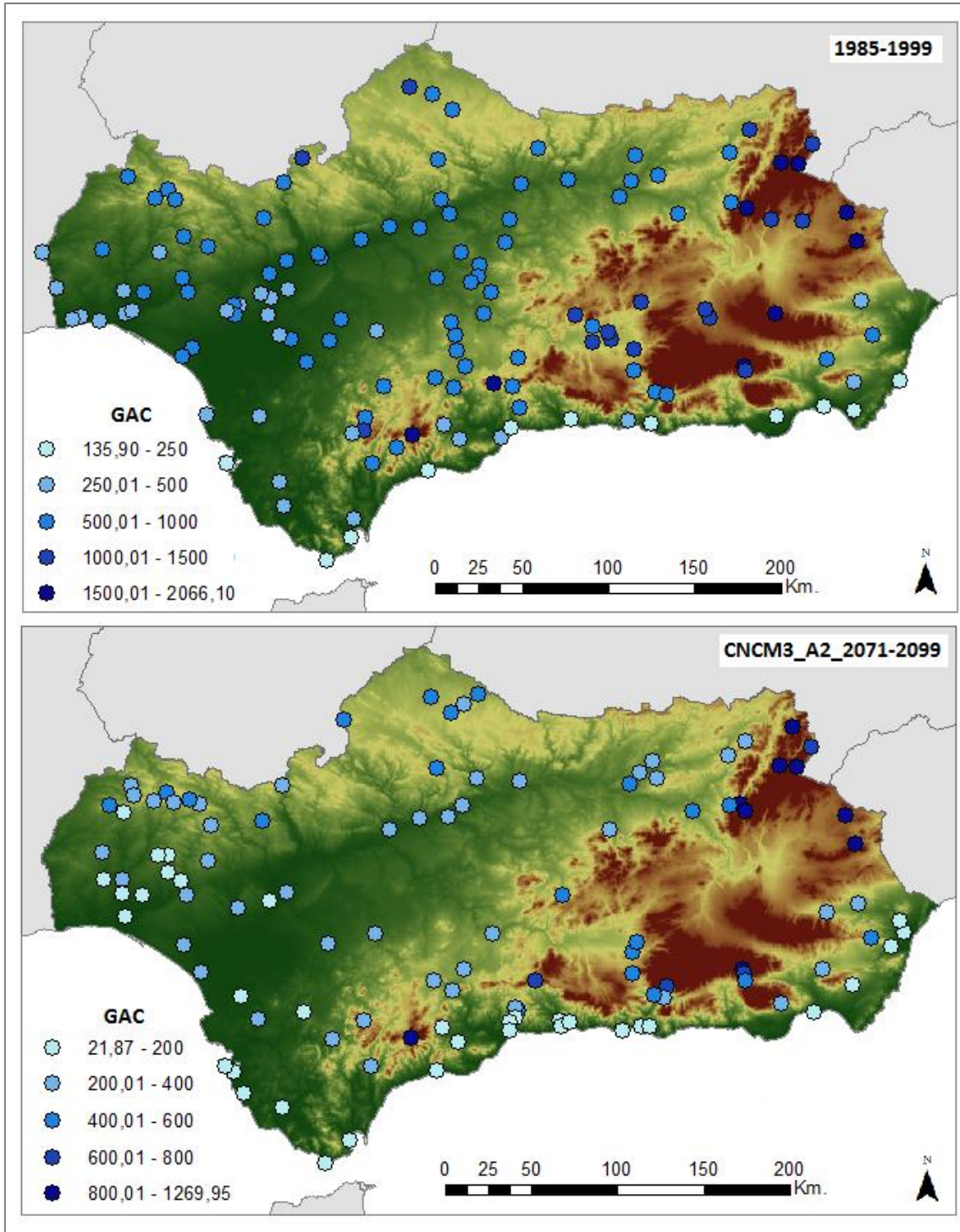


Figura III.1. Valores puntuales observados (1985-1999) y previstos (CNCM3_A2_2071-2099) de GAC.

Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades de refrigeración más elevadas se localizan en zonas deprimidas del interior de la comunidad, aunque no necesariamente en observatorios muy alejados de la costa (ver figura III.2). Los valores más reducidos se sitúan -y situarán- tanto en los observatorios costeros, debido a la influencia marítima suavizadora, como en los de mayor altitud. En el ámbito costero destaca el observatorio de Tarifa que, como consecuencia de las características climáticas del Estrecho de Gibraltar y de su ubicación geográfica (especialmente expuesta a la influencia marítima), es el que presenta -y para el que se prevén- las menores necesidades de refrigeración del litoral andaluz.

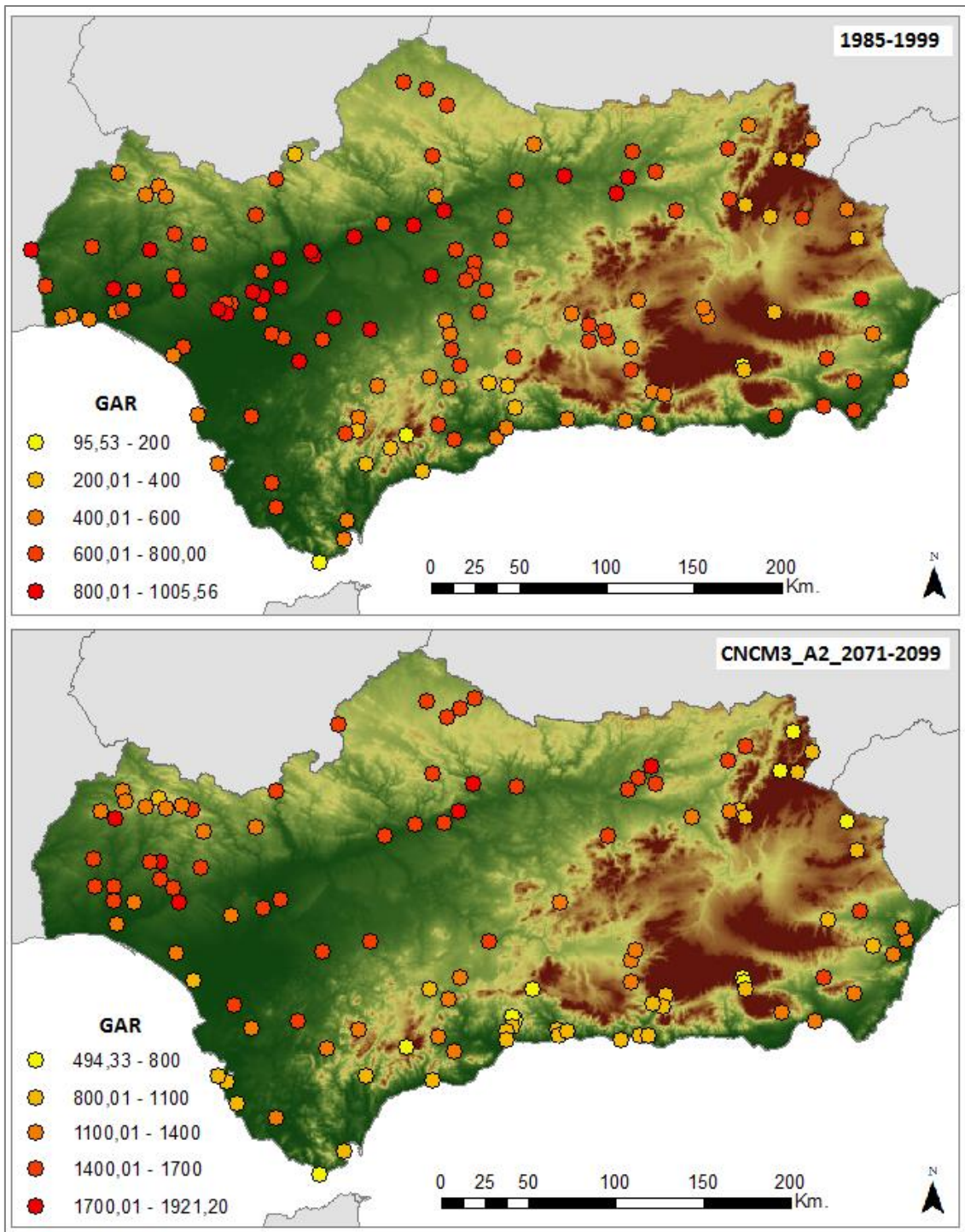


Figura III.2. Valores puntuales observados (1985-1999) y previstos (CNCM3_A2_2071-2099) de GAR.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las necesidades de calefacción los meses que ajustan mejor a una distribución normal son diciembre y enero. Tanto a escala anual como mensual se observa un cierto sesgo negativo, es decir, los valores tienden a reunirse a la

izquierda de la media (asimetría positiva), especialmente en los meses de mayo y octubre, situación que con el transcurso del siglo se agudizará, especialmente según lo previsto por las proyecciones de mayor cambio, al ser más frecuentes los valores inferiores (ver figura III.3). Las necesidades de refrigeración presentan, en general, un mejor ajuste a la distribución normal, presentando un sesgo ligeramente positivo (asimetría negativa). En este caso, no se observa para ningún mes que vayan a producirse, a lo largo de este siglo, cambios notables en cuanto a la normalidad de la distribución de los valores (ver figura III.4).

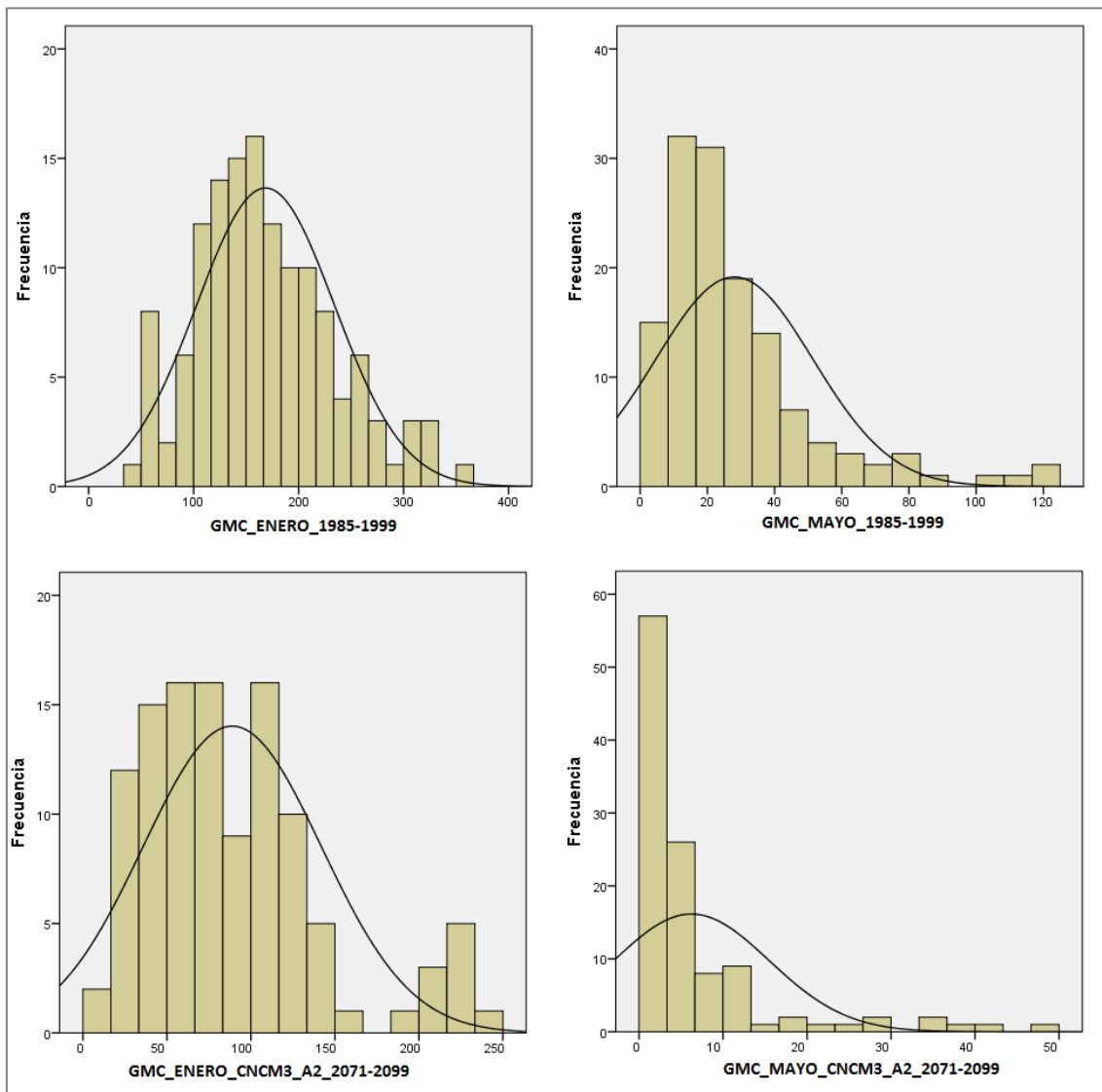


Figura III.3. Histogramas de los GMC observados y previstos de enero y mayo. Los valores previstos hacen referencia al periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.
Fuente: Elaboración propia.

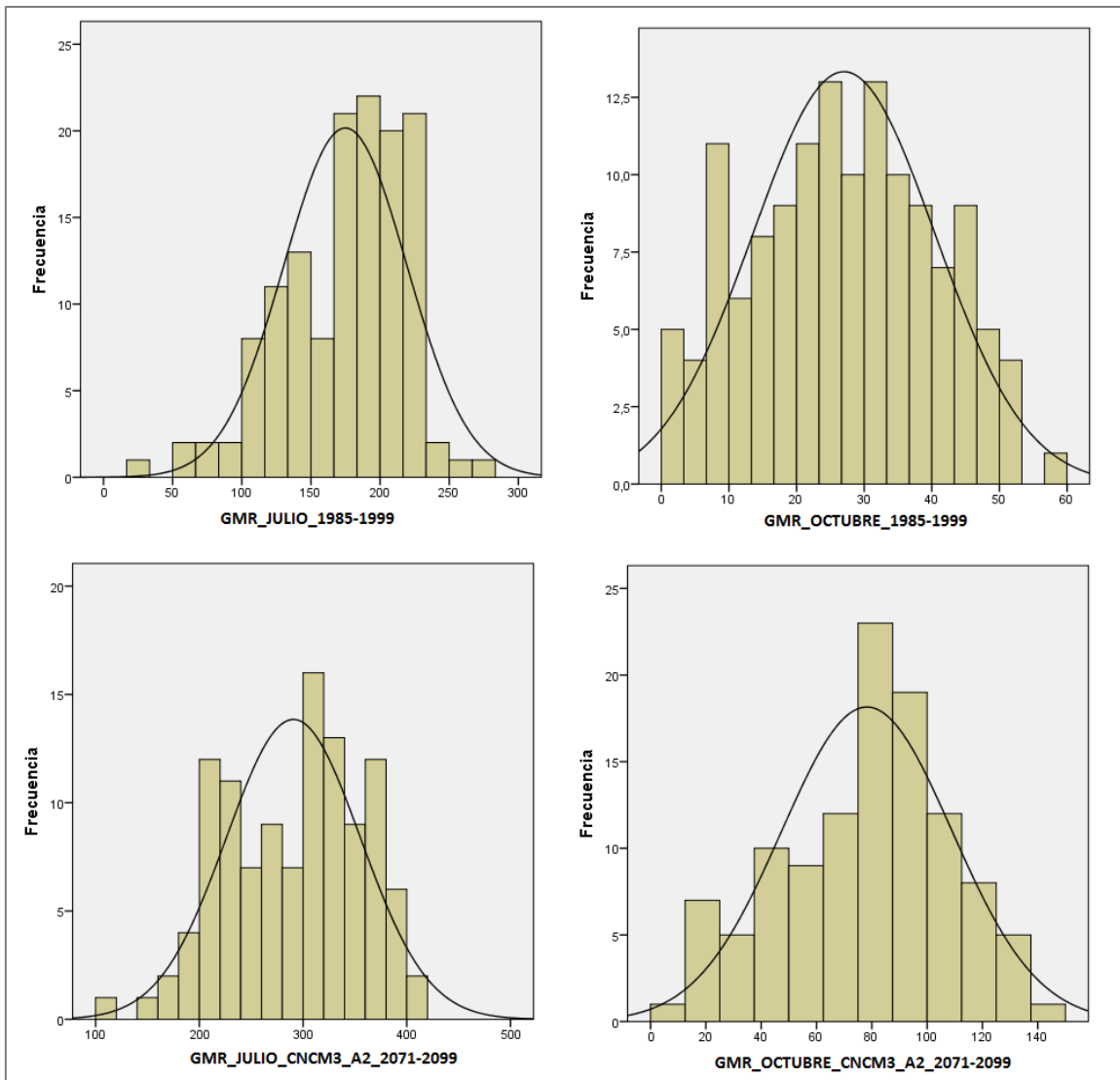


Figura III.4. Histogramas de los GMR observados y previstos de enero y mayo. Los valores previstos hacen referencia al periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.

Fuente: Elaboración propia.

III.2. BREVE REVISIÓN SOBRE ESPACIALIZACIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS

En las últimas décadas se ha producido la creciente necesidad de conocer, con un nivel de detalle cada vez mayor, los problemas medioambientales que afectan a la sociedad, al tener consecuencias sobre las posibilidades de satisfacer sus necesidades a través de unos recursos cada vez más escasos y maltrechos. En

este sentido, la importancia de la climatología como ciencia que explica muchos de los fenómenos que suceden en la superficie terrestre queda fuera de toda duda.

Muchas disciplinas teóricas o aplicadas (biología, geología, hidrología, agricultura, y otras) necesitan información espacial climática para entender los procesos que estudian. Disponer de una buena cartografía climática regional aporta información valiosa acerca del medio físico de una región. Pero esta información está supeditada a los observatorios meteorológicos, puntos discretos en el espacio. De ello se deriva la necesidad de espacializar las variables climáticas, a pesar de las dificultades e imprecisiones que ello conlleva, debidas sobre todo a la elevada variabilidad espacial que presentan, y la habitual insuficiencia en la densidad de las redes de observación.

Se han desarrollado una gran variedad de métodos para espacializar variables climáticas, no existiendo un consenso que relacione la mayor o menor conveniencia de utilizar uno u otro con cada una de ellas. La resolución espacial con la que se trabaja, el ámbito climático, la densidad y distribución de las estaciones meteorológicas, o los parámetros que se utilizan en las distintas técnicas de interpolación espacial son algunas de las razones que explican esta situación (MacEachren y Davidson, 1987; Isaaks y Srivastava, 1989). Ello, en ocasiones, justifica la conveniencia de realizar un proceso de evaluación de diversas técnicas de espacialización en cada caso (Vicente-Serrano *et al.*, 2003; Álvarez, 2011).

La interpolación espacial se define como el proceso mediante el cual se predice el valor de una variable en un punto no muestreado del espacio a partir de los valores de la misma variable tomados en uno o varios puntos del mismo espacio (Burrough y McDonell, 1998).

Previo a la revolución que han supuesto en las dos últimas décadas los avances informáticos y los sistemas de información geográfica (SIG), que han permitido implementar numerosos métodos de espacialización automática (Ninyerola *et al.*, 2000), tradicionalmente la interpolación espacial de las variables

climáticas se había llevado a cabo manualmente, a través del trazado de isolíneas o la poligonación de Thiessen, procesos en los que el conocimiento que el experto tuviera del área de estudio intervenía de una manera fundamental (Lennon y Turner, 1995; Burrough y McDonell, 1998).

Según si se consideran todos los individuos de la muestra o sólo aquéllos de los observatorios situados en un área previamente seleccionada del entorno del punto a interpolar, los métodos se pueden considerar globales o locales, respectivamente. El método global por excelencia es la regresión, mientras que el método del vecino más próximo (Nearest Neighbor), el de los vecinos naturales (Natural Neighbor), la interpolación por splines, el inverso de la distancia ponderada (Inverse Distance Weighted), el krigado (kriging) o el cokrigado (cokriging) son ejemplos de métodos locales. Existe también la posibilidad de combinar los métodos globales y los locales, en los que se recogen tanto la tendencia general de los datos como las variaciones locales; estos métodos se consideran mixtos. Por otra parte, los métodos pueden considerarse exactos o inexactos, según si el resultado de la interpolación coincide con el valor real de las estaciones de observación utilizadas para la obtención del modelo o no.

III.2.1. LA ESPACIALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA

Dada la relación directa existente con nuestra variable de estudio es necesario realizar un breve estado de la cuestión acerca de la espacialización de la temperatura, un ítem ciertamente menos habitual que el de la interpolación espacial de la precipitación. Ello se debe fundamentalmente a que la temperatura, en igualdad de condiciones fisiográficas, suele presentar un comportamiento espacial bastante más continuo que la precipitación. En cualquier caso, en una región de compleja fisiografía como la andaluza, que cuenta con una red de observatorios termométricos relativamente escasa, y en la que tienen cabida diversos mesoclimas, sí parece tener todo el sentido acometer estas lagunas.

En la mayoría de trabajos que espacializan la temperatura se utilizan modelos que se basan en la relación existente entre ésta (variable dependiente) y una o diversas variables fisiográficas (variables independientes o explicativas), en las que la altitud siempre tiene un papel preponderante (Pielke, 1976; Lennon y Turner, 1995; Bolstad *et al.*, 1998; Ninyerola *et al.*, 2000; Ninyerola *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2006; Gómez *et al.*, 2008; Álvarez, 2011). Nuestro interés se centra en este tipo de métodos, no sólo porque estamos interesados en obtener una buena estimación de las necesidades de climatización, sino porque, además, pretendemos conocer qué relaciones se establecen entre ellas y las distintas variables fisiográficas o geográficas.

Encaminados hacia estos propósitos también se han utilizado métodos geoestadísticos como el krigado (Hudson y Wackernagel, 1994) o el cokrigado (Hevesi *et al.*, 1992; Phillips *et al.*, 1992), un método más sofisticado que tiene en cuenta información geográfica adicional. Por último, también destacan los trabajos en los que se han utilizado imágenes de satélite como información añadida (Vogt *et al.*, 1997; Ibáñez y Rosell, 2001).

En Andalucía existen, a nuestro juicio, dos antecedentes importantes. Por una parte, en el trabajo de Justicia y Domínguez (1992) se aplicaron modelos de regresión lineal para estimar los gradientes térmicos de la región en función de la altura, habiéndola dividido en 16 zonas consideradas homogéneas a nivel climático. El precedente más cercano a la filosofía metodológica de esta tesis doctoral es el realizado por Álvarez (2011), en el que se espacializaron las temperaturas medias mensuales de la región realizando un testeo previo de diversos métodos de interpolación espacial. Los modelos de regresión, en los que se utilizó como variables independientes la altitud y la continentalidad, ofrecieron los resultados más satisfactorios, utilizando, en algunos meses, otros interpoladores (krigado e inverso de la distancia ponderada) como complemento a la regresión (modelos mixtos), no sólo con el objetivo de hacer coincidir los valores previstos y los observados en las estaciones meteorológicas, sino también para mejorar, aunque en muy poca medida, la calidad de los modelos.

III.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LA VARIABLE GRADOS-DÍA

Como ya se ha comentado, en la mayoría de estudios que intentan estimar las necesidades energéticas derivadas de la climatización el objetivo se acomete sobre un número reducido de observatorios meteorológicos, no recogiendo la gran variedad térmica que existe en cualquier área dotada de una mínima diversidad topográfica y fisiográfica. Existen, por tanto, pocos trabajos en los que se ha espacializado la variable grados-día.

Mención especial merece el trabajo de Matzarakis y Balafoutis (2004), que fue uno de los pioneros en este sentido, al interpolar espacialmente la variable grados-día calefacción en Grecia a partir de modelos de regresión simple, en los que únicamente se tiene en cuenta la altitud como variable fisiográfica explicativa.

Correa *et al.* (2005), utilizan el método del inverso de la distancia para espacializar la variable grados-día (calefacción y refrigeración) en el Área Metropolitana de Mendoza (Argentina), con el objetivo de detectar distintos comportamientos derivados de la isla de calor existente en la aglomeración urbana. Lógicamente, en ámbitos territoriales tan reducidos no parece demasiado conveniente recurrir a modelos de regresión que utilicen información fisiográfica como variable(s) explicativa(s), al no existir una suficiente diversidad en este sentido que pueda explicar la distribución de los grados-día, ni mucho menos si ella se debe, en gran medida, a la isla de calor.

Otros precedentes a destacar son el trabajo de Semmler *et al.* (2010), en el que se realiza una espacialización de la variable grados-día calefacción y refrigeración en distintos escenarios de cambio climático en Irlanda, y el trabajo de Giannakopoulos *et al.* (2009), que realizaron la primera espacialización, de la que se tenga constancia, de las necesidades de climatización futuras en la cuenca mediterránea en celdas de 25 kilómetros de resolución.

III.3. ESPACIALIZACIÓN A PARTIR DE VARIABLES FISIAGRÁFICAS

Es de sobra conocido el efecto que ejercen las variables fisiográficas sobre las climáticas, y por ello son utilizadas habitualmente en los procesos de espacialización. Como ya se ha comentado en el epígrafe III.2.1, los métodos de regresión son los más utilizados para interpolar espacialmente las variables climáticas, y su interés no únicamente radica en su capacidad para inferir información en puntos donde no existen datos de observación, sino que, además, permiten conocer las relaciones que se establecen entre las variables dependientes e independientes. En esta investigación se va a utilizar el método de la regresión múltiple, en el que se considera que la variable grados-día, espacialmente, se comporta de manera estacionaria.

Resulta conveniente aclarar las razones por las que se ha decidido no utilizar un método mixto de espacialización (regresión + interpolación de residuos):

- Habiendo constatado la homocedasticidad de los residuos su espacialización carece de sentido. Interpolar espacialmente los residuos implicaría asumir que éstos presentan autocorrelación espacial, lo cual invalidaría la regresión.
- Estimar los valores exactos para los observatorios no tiene demasiada utilidad en el caso de este trabajo, ya que el interés de éste radica fundamentalmente en lo territorial y no en lo puntual.
- A pesar de las dos razones anteriores, se han realizado algunas pruebas para comprobar el posible grado de mejora que supondría la espacialización mediante un método mixto. Sólo en pocos casos se consigue explicar un mayor porcentaje de varianza, aunque en cualquier caso el grado de mejora es muy bajo.

III.3.1. REGRESIÓN MÚLTIPLE

Los métodos de regresión lineal múltiple modelan la relación existente entre una variable dependiente y una serie de variables independientes (explicativas), que en nuestro caso son variables geográficas y fisiográficas (altitud, distancia al mar, etc.) que, en alguna medida, pueden explicar las necesidades de climatización de la región. Disponiendo de esta información en lugares donde no existen datos reales de grados-día podemos ser capaces de inferir las necesidades de climatización mediante el modelo de regresión.

En este tipo de modelos matemáticos se asume que los procesos que se dan son estacionarios espacialmente, es decir, un mismo estímulo provoca la misma respuesta en cualquier punto del área de estudio, y por ello se es capaz de explicar la variable dependiente en toda la región mediante una única ecuación. El modelo de regresión lineal múltiple se expresa de la siguiente forma:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e$$

Donde a es la constante, b es el coeficiente de regresión de la variable explicativa X , y e es el error.

La utilización de este tipo de modelos en la espacialización de variables climáticas es muy habitual, incluso hegemónica en el caso de la interpolación espacial de las temperaturas. Ello se debe, en gran medida, a que existe una relación evidente entre éstas y la altitud. No obstante, como consecuencia de la gran diversidad fisiográfica de la región andaluza, esta relación es desigual tanto espacial como temporalmente (Justicia y Domínguez, 1993; Álvarez, 2011). Es decir, el gradiente altitudinal varía sensiblemente de un lugar a otro y, especialmente, según la época del año. Además, en Andalucía la distancia al mar juega un papel fundamental en las variaciones espaciales de temperatura, especialmente en los meses de verano, por lo que lógicamente es previsible que suceda de la misma forma en la variable grados-día.

III.3.2. RELACIONES ENTRE LAS NECESIDADES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN Y LAS VARIABLES FISIOGRÁFICAS ESTUDIADAS

III.3.2.1. VARIABLES FISIOGRÁFICAS

Los valores de grados-día se obtienen directamente de las temperaturas diarias, por lo que se parte de la hipótesis de que ambas variables responden de manera muy similar a los mismos factores fisiográficos.

Es de sobra conocida la relación existente entre la altitud y la temperatura, que de forma general se considera lineal e inversa. Es decir, a medida que se asciende en altitud la temperatura disminuye. Esta asunción, sin embargo, no siempre se cumple. A escala meteorológica, por ejemplo, son frecuentes las inversiones térmicas, que se producen como consecuencia de firmes anticiclones que provocan, por un lado, fuertes enfriamientos nocturnos por radiación en los valles y, por otro, temperaturas más altas en las zonas circundantes más elevadas.

Esta relación anómala no es únicamente coyuntural y vinculable a este tipo de patrones sinópticos, sino que a escala climática también se pueden observar relaciones directas entre altitud y temperatura. En la región andaluza esta situación se produce con especial intensidad en los meses estivales (ver figura III.5), en los que las zonas de costa presentan temperaturas medias mensuales muy inferiores con respecto a zonas de interior situadas en altitudes similares o incluso superiores. Ello se debe especialmente a los valores máximos excesivos de estas zonas de interior en el núcleo del periodo estival. En estos casos, por lo tanto, el factor que determina estas grandes diferencias térmicas es otro: la continentalidad.

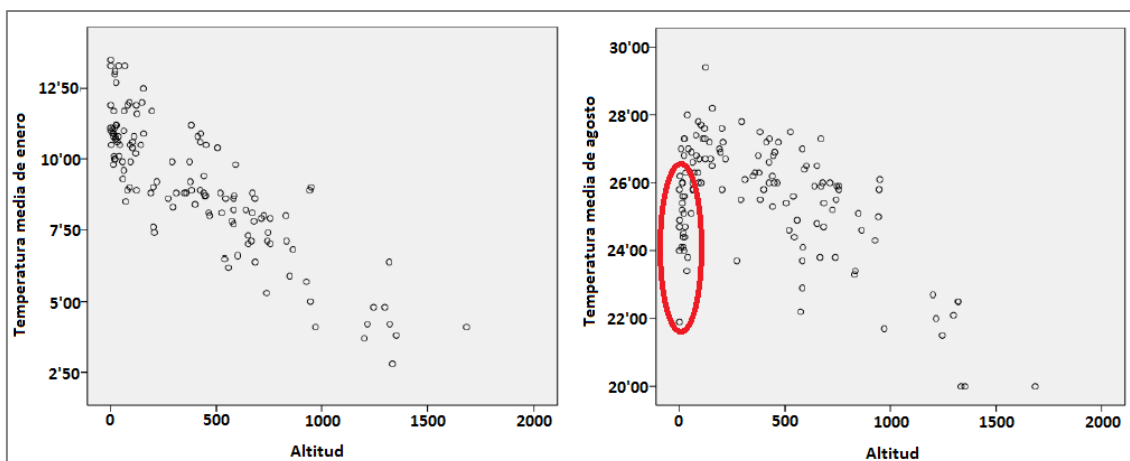


Figura III.5. Diagramas de dispersión entre la temperatura media mensual de enero y agosto de algunos observatorios y su altitud.

Fuente: Álvarez (2011).

La continentalidad es, sin duda, uno de los factores que tienen una mayor influencia sobre las temperaturas de la región andaluza. Las masas de agua extensas ejercen un efecto suavizador, por lo que las amplitudes térmicas diarias y anuales de las zonas costeras son sustancialmente inferiores a las registradas en los ámbitos de interior. Tradicionalmente, la continentalidad ha sido expresada mediante la distancia lineal al mar, pero algunos autores consideran que las distancias logarítmicas explican mejor su efecto (Lennon y Turner, 1995; Hargy, 1997; Ninyerola *et al.*, 2000). Otros autores, incluso, han tenido en cuenta el efecto de las barreras orográficas como potenciadoras del efecto de continentalidad, mediante la construcción de modelos de distancia al mar en los que la altitud supone una superficie de fricción (Ninyerola *et al.*, 2000; Álvarez, 2011), algo que en Andalucía puede tener sentido ya que el relieve contribuye a configurar un área muy continentalizada en el interior de la región, donde tanto las influencias atlánticas como las mediterráneas se ven obstaculizadas para acceder (Pita, 2003).

La latitud es otra de las variables geográficas más utilizadas en la literatura para modelizar la temperatura, pero los resultados obtenidos en trabajos anteriores para el caso de Andalucía (Álvarez, 2011) no parecen aconsejar ni siquiera su exploración previa para el caso que nos ocupa. Ello se debe a que, debido a la disposición geográfica de la región, la latitud presenta una notable correlación

lineal tanto con la altitud como con la distancia al mar. La longitud, por otra parte, realmente no tiene ningún sentido físico (Ninyerola *et al.*, 2000), y además también presenta una importante correlación con la altitud. Otro factor que sin duda ejerce influencia sobre la temperatura es la radiación solar, pero la escasez de datos sobre esta variable en Andalucía no permite un análisis mínimamente riguroso. En cualquier caso, a tenor de los resultados obtenidos en experiencias previas (Ninyerola *et al.*, 2000) no parece que su ausencia en los modelos pueda implicar una carencia resaltable. Por último, debe mencionarse también la importancia de las coberturas del suelo, aunque este último factor parece bastante más apropiado para las escalas puramente locales (climas urbanos, por ejemplo), algo que escapa a los objetivos de esta tesis doctoral.

Partiendo de este estado de la cuestión se han analizado las relaciones existentes entre las necesidades de calefacción y refrigeración (mensuales y anuales) y las variables fisiográficas altitud y continentalidad. Ésta última se ha caracterizado mediante tres variables distintas: la distancia lineal al mar (euclídea), que es la forma clásica de hacerlo; la distancia logarítmica al mar, que explicaría un incremento de la continentalidad decreciente a medida que el alejamiento del mar es mayor; y la distancia al mar ponderada por la altitud, con la finalidad de modelizar el efecto de las barreras orográficas.

Los valores de altitud de los observatorios se han extraído del modelo digital de elevaciones de Andalucía de 20 metros de resolución, mientras que para extraer los valores de las tres variables de distancia al mar (lineal, logarítmica y ponderada por la altitud) previamente ha sido necesario construir los modelos correspondientes. Para calcular el modelo de distancia lineal al mar se ha aplicado la función del *software* ArcGis *Distancia Euclidiana* sobre la capa vectorial de la línea de costa andaluza. La distancia logarítmica al mar se ha calculado mediante la función matemática de Arcgis *Log10* (logaritmo en base 10) sobre la capa ráster de distancia lineal al mar previamente calculada. Por último, la distancia al mar ponderada por la altitud se ha calculado utilizando la función *Coste de Distancia* de ArcGis sobre la capa vectorial de línea de costa, utilizando como superficie de coste

el modelo digital de elevaciones. Todos estos modelos (ver figura III.6) se han elaborado con una resolución de píxel de 20 metros, en consonancia al modelo digital de elevaciones.

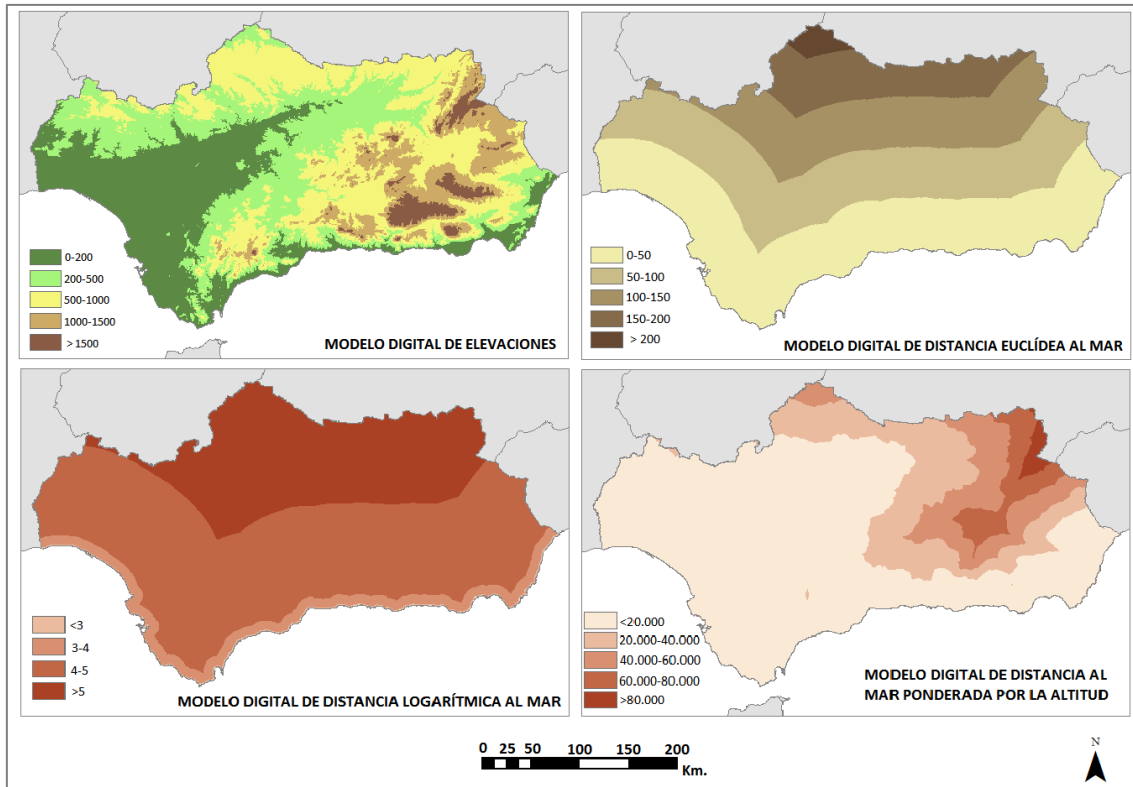


Figura III.6. Modelo digital de elevaciones y modelos digitales de continentalidad.
Fuente: Elaboración propia.

La altitud de la región oscila entre los 0 y los 3.480 msnm., siendo su valor medio 526 msnm. Según el modelo digital de distancia euclídea al mar el ámbito más continental se sitúa en el extremo septentrional de la región, a prácticamente 230 kilómetros de la masa marítima más cercana. El modelo digital de distancia logarítmica al mar estima un aumento muy significativo de la continentalidad en las zonas más próximas a la línea de costa, incremento que sigue produciéndose, aunque de forma cada vez más tenue, a medida que el alejamiento del mar es mayor. Por su parte, atendiendo al modelo digital de distancia al mar ponderada por la altitud el ámbito de mayor continentalidad se sitúa en el extremo nororiental de la región, como consecuencia de las importantes barreras orográficas que deben salvar las masas de aire marítimas para ejercer su (poca)

influencia en estos ámbitos. En cambio, amplias zonas de la región notablemente alejadas del mar, principalmente situadas en el valle del Guadalquivir, serían consideradas, según este modelo, poco continentales.

III.3.2.2. RELACIONES ENTRE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN Y LAS VARIABLES FISIOGRAFICAS SELECCIONADAS

Se pretenden estimar las necesidades de calefacción y refrigeración de toda la región a partir de su relación con la orografía (altitud) y la continentalidad. Ésta última ha sido modelizada mediante la distancia lineal al mar, la distancia logarítmica al mar y la distancia al mar ponderada por la altitud, por lo que el primer objetivo es determinar cuál de las tres describe mejor la influencia marítima sobre ambos tipos de necesidades. En este sentido, se ha descartado la variable distancia al mar ponderada por la altitud, al presentar una correlación con la altitud demasiado marcada ($R = 0'63$), signo inequívoco de su colinealidad con ésta, que indudablemente debe participar en todos los modelos como variable predictora.

Se han calculado las correlaciones semiparciales entre cada variable independiente (altitud, distancia lineal al mar y distancia logarítmica al mar) y las variables GMC, GMR, GAC y GAR, con el objetivo de estimar la influencia de cada variable fisiográfica al margen de su protagonismo aparente, que es lo que se obtendría calculando la correlación bivariada.

En referencia a los datos observados, la altitud es la variable más influyente tanto en las necesidades de calefacción como en las de refrigeración, con valores de correlación semiparcial superiores a 0'7 en la mayoría de meses en ambos tipos de necesidades. Lógicamente, en el caso de las necesidades de refrigeración la relación con la altitud es inversa.

La continentalidad en todos los casos se explica mejor mediante la distancia logarítmica al mar, teniendo una importancia capital en el caso de las necesidades de refrigeración, a tenor de sus correlaciones semiparciales, superiores a 0'3 en todos los meses y de prácticamente 0'4 en la estimación anual. En el caso de las

necesidades de calefacción la continentalidad no es determinante pero sí influyente, especialmente en los meses más fríos.

	E	F	M	A	M	O	N	D	AÑO
ALTITUD	0'69	0'75	0'79	0'78	0'78	0'77	0'74	0'71	0'76
DISMAR	0'05	0'05	0'06	0'03	0'01	0'02	0'06	0'07	0'06
DISLOG	0'14	0'10	0'07	0'07	0'07	0'06	0'09	0'12	0'09

Tabla III.3. Correlaciones semiparciales entre las necesidades de calefacción y las variables fisiográficas en el periodo 1985-1999.

Fuente: Elaboración propia.

	M	J	J	A	S	O	AÑO
ALTITUD	-0'74	-0'72	-0'69	-0'69	-0'86	-0'85	-0'78
DISMAR	-0'04	0'04	0'05	0'03	0'04	-0'05	-0'01
DISLOG	0'43	0'38	0'39	0'34	0'31	0'30	0'39

Tabla III.4. Correlaciones semiparciales entre las necesidades de refrigeración y las variables fisiográficas en el periodo 1985-1999.

Fuente: Elaboración propia.

El incremento de temperaturas esperado a lo largo del presente siglo va a implicar un cambio en las necesidades de calefacción y refrigeración, por lo que es previsible que algunas relaciones con las variables fisiográficas puedan cambiar. Así se confirma para el caso de las relaciones previstas entre las variables independientes y las necesidades de refrigeración, en las que destaca un progresivo descenso de la capacidad explicativa de la altitud, especialmente acusado en los meses de julio y agosto según lo previsto por los escenarios de emisiones A2. Esta situación, unida al incremento previsto de las correlaciones semiparciales con la distancia logarítmica al mar, apunta hacia un protagonismo prácticamente equilibrado entre altitud y continentalidad a la hora de explicar las necesidades de refrigeración en la región, especialmente en el núcleo estival y según las proyecciones más extremas. En cuanto a las relaciones previstas con las necesidades de calefacción no se esperan cambios destacados, siendo la altitud la variable hegemónicamente explicativa.

En el Anexo 2 se recogen las tablas con las correlaciones semiparciales entre las necesidades de calefacción y refrigeración y las variables fisiográficas en todos los escenarios de futuro.

Tras estos resultados, las variables que inequívocamente deben formar parte de todos los modelos son la altitud y la distancia logarítmica al mar.

III.3.3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

Previamente a la espacialización definitiva de las necesidades de calefacción y refrigeración mediante las variables fisiográficas seleccionadas se ha procedido a evaluar la calidad de la modelización. En un principio se pensó en seguir un procedimiento iterativo de validación cruzada dejando un dato fuera (*leave-one-out-cross-validation*), separando los datos de manera que en cada iteración sólo hubiera un dato de prueba y el resto constituyeran los datos de entrenamiento, con el objetivo de no despilfarrar tanta información a la hora de elaborar los modelos de regresión múltiple de ajuste. Sin embargo, este procedimiento es demasiado costoso computacionalmente y no aporta resultados manifiestamente mejores, por lo que finalmente se ha optado por realizar una validación cruzada utilizando subconjuntos de entrenamiento y test (Ninyerola, 2000; Álvarez, 2011). Mediante este procedimiento se puede calibrar la fiabilidad de los modelos, porque se predicen los valores de observatorios que no forman parte de los datos de entrenamiento, garantizándose de este modo su independencia.

Estos subconjuntos (ver figura III.7) se han seleccionado aleatoriamente. Los modelos de regresión de entrenamiento se han elaborado a partir de los datos del 60% de observatorios, mientras que el 40% restante se han utilizado para comparar los valores estimados por los modelos de entrenamiento y los valores exactos (observados en el caso del periodo de referencia, previstos según los escenarios de futuro). Se asume que la fiabilidad de los modelos finales, que se han construido con los datos de todos los observatorios, será igual o superior a la obtenida según el procedimiento de validación, al recoger mejor la variabilidad de las variables de estudio.

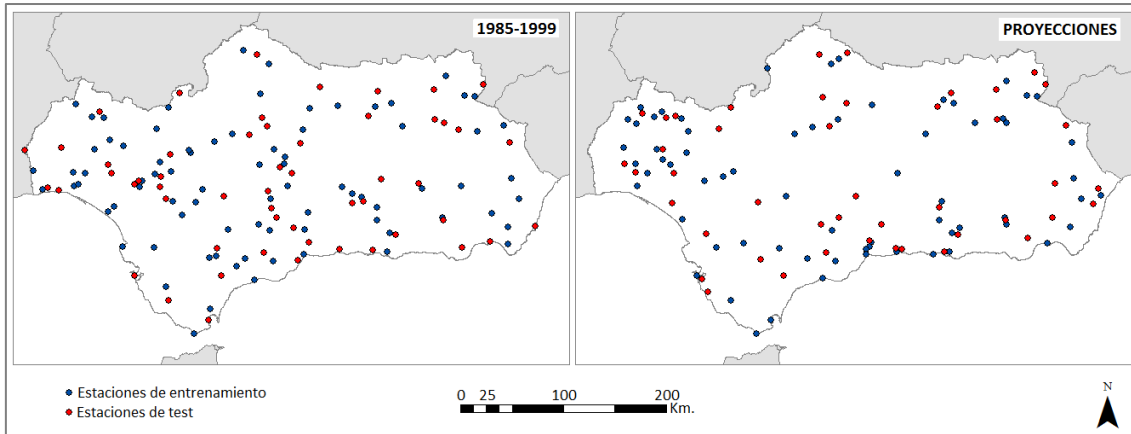


Figura III.7. Estaciones de entrenamiento y test en el periodo de observación y en las proyecciones futuras.

Fuente: Elaboración propia.

Para calibrar la calidad de las estimaciones se han utilizado dos estadísticos que expresan la relación entre los valores estimados y los valores exactos: el error medio absoluto (EMA) y el coeficiente de correlación de Pearson (R).

Los coeficientes de correlación son más elevados en el caso de las necesidades de calefacción, situándose en valores alrededor de 0'90 tanto en las estimaciones anuales como en las mensuales del núcleo invernal (ver tabla III.5). En los meses de mayo y octubre las correlaciones son algo inferiores (aproximadamente 0'85), e incluso se sitúan por debajo de 0'80 según los modelos derivados de las proyecciones más extremas a finales de siglo (ver Anexo 3). Ello se debe a la mayor frecuencia de valores nulos en estos meses, lo cual dificulta la relación entre variables. En cualquier caso, en general no existen diferencias significativas entre las correlaciones del periodo de observación o en cualquiera de las proyecciones de futuro.

Las necesidades de refrigeración anuales presentan correlaciones de alrededor de 0'85 tanto en el periodo de observación (ver tabla III.6) como en los escenarios futuros (ver Anexo 3). Los valores mensuales se sitúan, de forma prácticamente generalizada, entre 0'80 y 0'85.

	E	F	M	A	M	O	N	D	AÑO
EMA	21'52	16'48	16'40	13'26	9'35	10'06	15'89	20'31	128'17
R	0'90	0'90	0'89	0'89	0'84	0'84	0'88	0'90	0'89

Tabla III.5. Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de Pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de calefacción.

Fuente: Elaboración propia.

	M	J	J	A	S	O	AÑO
EMA	7'21	13'80	19'74	19'78	11'38	5'82	76'79
R	0'84	0'83	0'83	0'81	0'88	0'84	0'86

Tabla III.6. Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de Pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia.

III.3.4. ESPACIALIZACIÓN DEFINITIVA

A tenor de los resultados de la validación puede considerarse que la fiabilidad de los modelos definitivos, realizados con todos los observatorios, está garantizada. En el Anexo 4 se presentan todos los modelos de cálculo de las necesidades de calefacción y refrigeración y sus coeficientes de determinación.

Disponiendo de las ecuaciones de regresión definitivas, así como de los modelos digitales de elevaciones y de distancia logarítmica al mar, ha sido posible generar los modelos ráster de las necesidades de calefacción y refrigeración para todos los escenarios contemplados. Prácticamente todos los modelos digitales de las necesidades de refrigeración han inferido valores negativos, algo esperable teniendo en cuenta que mediante los datos puntuales no se han cubierto las altitudes más elevadas de la región. De igual forma, algunos modelos digitales de necesidades de calefacción también infieren valores negativos para las zonas costeras. Aunque matemáticamente la inferencia de valores negativos tiene sentido, conceptualmente es erróneo considerar que existen necesidades negativas de uno u otro tipo. De hecho, en el cálculo de la variable grados-día se contabilizan únicamente los valores positivos. Por esta razón se ha considerado que todos los valores negativos de los modelos digitales generados debían ser sustituidos por el valor 0. Una vez realizada esta sustitución en los casos pertinentes ya se disponía de todos los modelos digitales definitivos de las necesidades de calefacción y refrigeración (ver figura III.8).

Por último, se ha procedido a la obtención de los modelos digitales expresivos de las necesidades de climatización anuales de cada escenario, y también mensuales para los meses de mayo y octubre. Para hacerlo únicamente se han debido sumar, mediante álgebra de mapas, los correspondientes modelos digitales de las necesidades de calefacción y refrigeración.

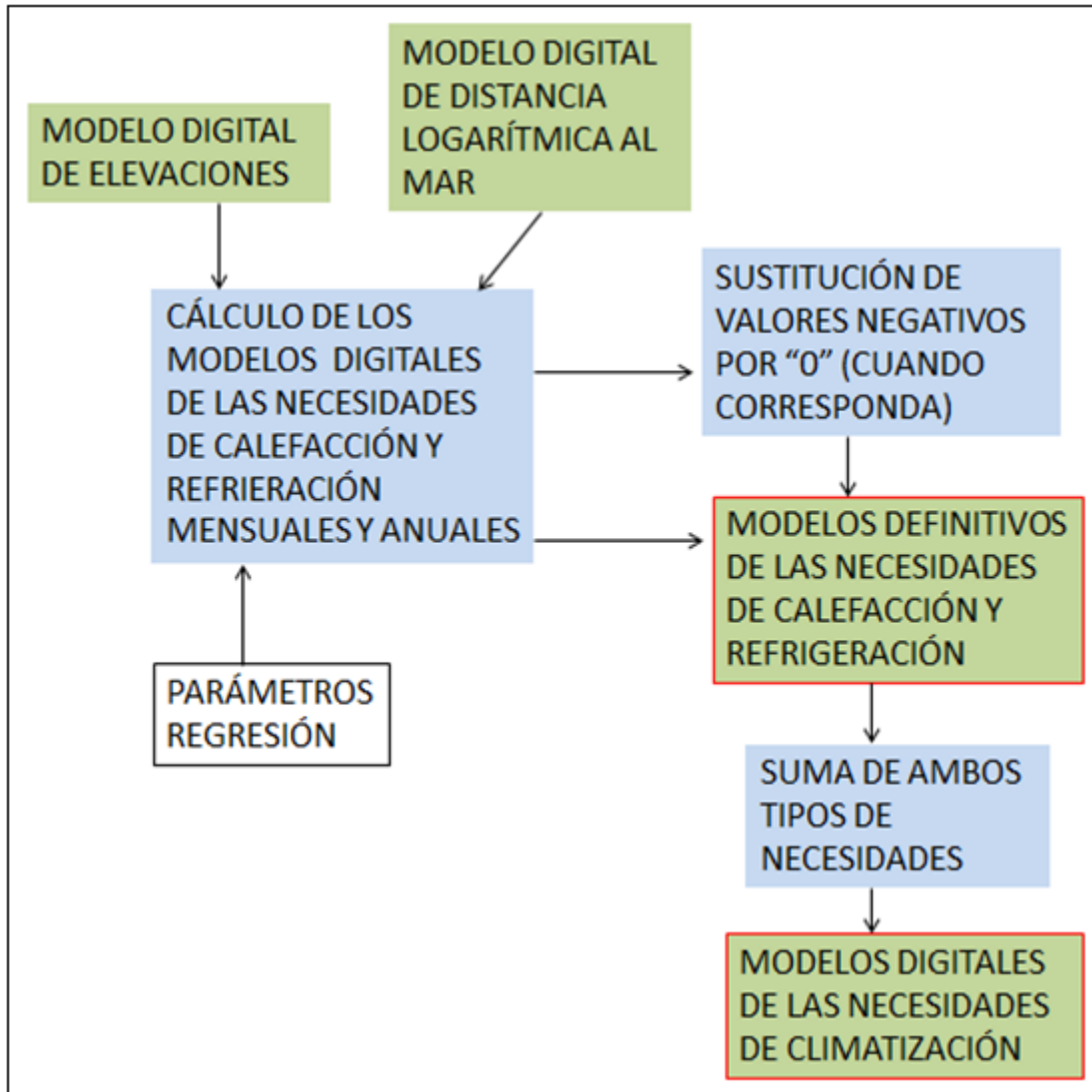


Figura III.8. Proceso de espacialización definitiva.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

IV.1. EVOLUCIÓN DE LAS NECESIDADES ANUALES DE CLIMATIZACIÓN A LO LARGO DEL PRESENTE SIGLO

El principal objetivo de analizar la evolución prevista de las necesidades anuales de climatización es caracterizar temporal y territorialmente su balance, que será el resultado de la contrapuesta evolución que experimentarán las necesidades de calefacción y refrigeración como respuesta al aumento de temperaturas previsto. Para realizarlo de forma sintética se ha calculado la variable GACL tanto en la actualidad como en las distintas proyecciones utilizadas en esta investigación. Ello ha permitido valorar, tanto a escala regional como a nivel de detalle territorial, las variaciones –positivas o negativas- que se producirán sobre las necesidades de climatización en la región, permitiendo la identificación de aquellos ámbitos que, en el balance anual, saldrán beneficiados o perjudicados como consecuencia del incremento de temperaturas previsto.

IV.1.1. EVALUACIÓN A ESCALA REGIONAL

La espacialización de las variables GAC, GAR Y GACL en Andalucía, tanto en el periodo de observación como en los escenarios de futuro analizados, ha permitido identificar las principales características de la evolución regional de las necesidades de calefacción, refrigeración y climatización, respectivamente, teniendo en cuenta todo el territorio regional y no únicamente los observatorios puntuales.

En todas las proyecciones analizadas existe un acuerdo claro en torno a la identificación, para el siglo actual, de un descenso progresivo de las necesidades de calefacción acompañado de un incremento de las de refrigeración. Ello conduciría inicialmente a un descenso de las necesidades globales de climatización, que se invertiría a partir del periodo 2011-2040 para dar lugar a un aumento de las mismas a final de siglo con respecto al periodo de observación (figura IV.1).

Esta situación global es el reflejo de un aumento de las necesidades de refrigeración superior a la disminución experimentada por las de calefacción: a final de siglo las primeras habrán aumentado entre 316'6 (CNCM3_B1) y 663'5 GAR (CNCM3_A2) con respecto al periodo de observación, mientras que las segundas habrán disminuido entre 297'3 (CNCM3_B1) y 437'3 GAC (CNCM3_A2).

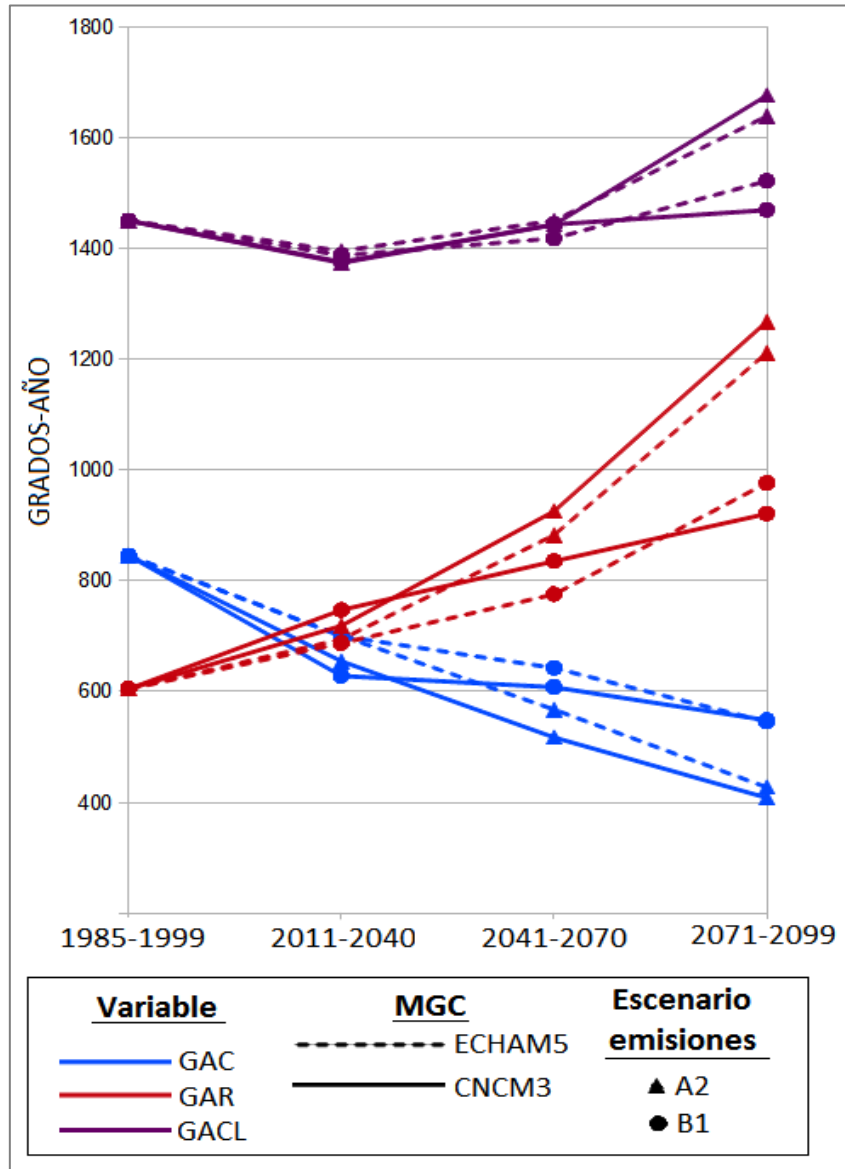


Figura IV.1. Evolución de los valores medios regionales de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según los MGCs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

Atendiendo a la situación regional prevista, el aumento de las necesidades de climatización no constituirá un problema importante en ningún momento, ni siquiera a finales de siglo, dado que en el peor de los casos (CNCM3_A2) el incremento se estima en un 15'59% y en el mejor (CNCM3_B1) apenas alcanza el 1'33% (ver tabla IV.1). De todas formas, a finales de siglo las necesidades de refrigeración habrán aumentado entre un 52'3% (CNCM3_B1) y un 109'7% (CNCM3_A2), cambios en cualquier caso muy notables sobre un tipo de necesidades que, a diferencia de las de calefacción, se cubren mediante un único sector energético: el eléctrico. Por lo tanto, si bien es innegable que se prevé un cierto equilibrio en el balance de la climatización regional, se espera que el impacto sobre la demanda regional de energía eléctrica sea notable, teniendo en cuenta que el descenso de las necesidades de calefacción, en las que la demanda de energía eléctrica es minoritaria, no podría atenuar semejante incremento.

MCG ESCENARIO DE EMISIONES	Y	PERIODO	GAC	%	GAR	%	GACL	%
ACTUAL		1985-1999	845,7		604,8		1450,5	
CNCM3_A2		2011-2040	655,1	-22,5	719,1	18,9	1374,2	-5,26
		2041-2070	517,3	-38,8	926,0	53,1	1443,3	-0,49
		2071-2099	408,4	-51,7	1268,3	109,7	1676,7	15,59
CNCM3_B1		2011-2040	628,5	-25,7	747,4	23,6	1375,9	-5,14
		2041-2070	608,1	-28,1	835,6	38,2	1443,7	-0,47
		2071-2099	548,4	-35,2	921,4	52,3	1469,8	1,33
ECHAM5_A2		2011-2040	701,1	-17,1	694,6	14,8	1395,7	-3,78
		2041-2070	567,7	-32,9	882,9	46,0	1450,6	0,01
		2071-2099	427,3	-49,5	1212,1	100,4	1639,4	13,02
ECHAM5_B1		2011-2040	700,3	-17,2	687,5	13,7	1387,8	-4,32
		2041-2070	642,8	-24,0	775,8	28,3	1418,6	-2,20
		2071-2099	545,4	-35,5	976,9	61,5	1522,3	4,95

Tabla IV.1. Valores medios regionales de GAC, GAR y GACL en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 y sus tasas de cambio (%) con respecto al periodo de observación, según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

En el periodo de observación el valor medio regional de GAC es mayor que el de GAR, aunque el MCG CNCM3 prevé, en sus dos escenarios de emisiones, que a partir del periodo 2011-2040 esta situación se invierta. Según el MCG ECHAM5, en cambio, esta situación no se produciría hasta el periodo 2041-2070. Se detecta, por tanto, un rápido proceso regional de sustitución de la calefacción por la refrigeración.

En algunos ámbitos de la región no se produce ni se producirá coexistencia de necesidades de calefacción y refrigeración, a tenor de los valores nulos de GAR tanto en el periodo de observación como en todo el conjunto de escenarios futuros (ver figura IV.2). Por consiguiente, existen zonas, presumiblemente las más frías de la región, en las que, al no presentar necesidades de refrigeración, el incremento de temperaturas sólo produciría un descenso de las necesidades de calefacción. Por otra parte, según la proyección ECHAM5_A2 algunos ámbitos en la región no presentarán necesidades de calefacción en el último tramo del presente siglo.

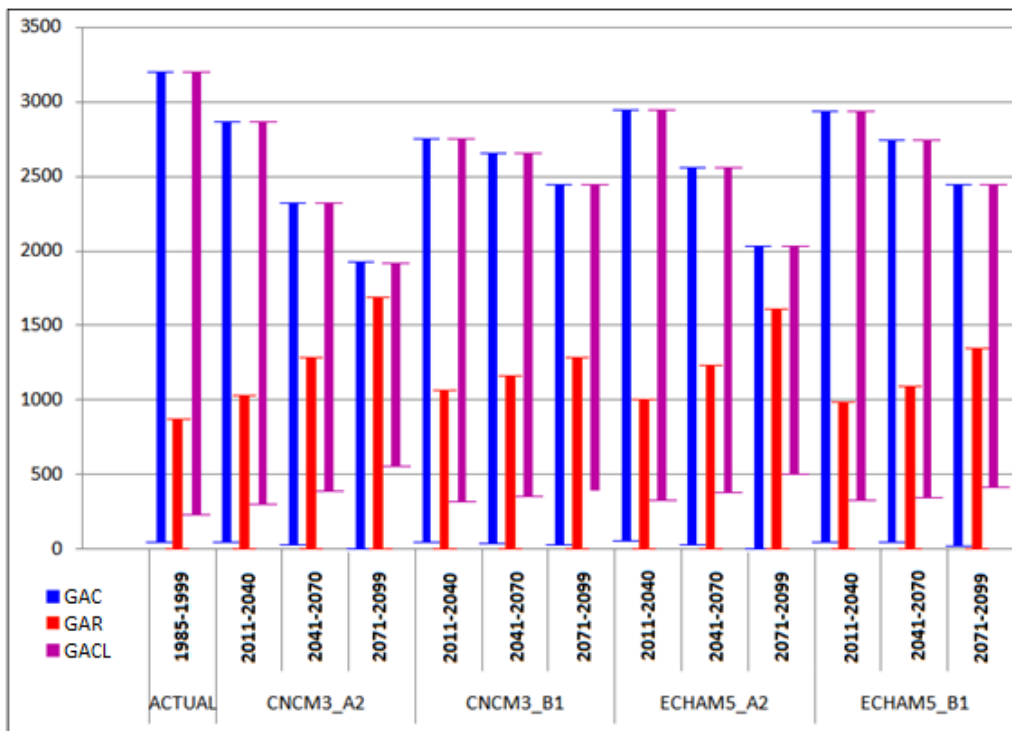


Figura IV.2. Evolución del rango de los valores de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

Se entrevé, además, un cambio de patrón espacial de las necesidades de climatización, a tenor de la progresiva reducción del rango de la variable GACL prevista por todas las proyecciones. Ello sugiere que a medida que avance el presente siglo la región experimentará un proceso de despolarización de las necesidades de climatización, produciéndose una mayor homogeneidad territorial de esta variable.

IV.1.2. EVALUACIÓN A ESCALA DE DETALLE TERRITORIAL

La pluralidad climática de Andalucía, a la que ya hemos aludido en repetidas ocasiones, determina que las necesidades de climatización de partida sean muy variables espacialmente. Por otra parte, el incremento de temperaturas esperable en el futuro no es uniforme ni espacial ni temporalmente, y depende además del grado de extremosidad de las distintas proyecciones climáticas. Estas razones justifican sobradamente la necesidad de analizar a escala de detalle territorial las variaciones que experimentarán las variables GAC, GAR y GACL.

Todas las proyecciones prevén un progresivo y generalizado descenso de los valores de GAC. El ascenso de los GAR, sin embargo, no se prevé generalizado, al modelizarse valores nulos en algunos lugares incluso en el periodo 2071-2099. En cualquier caso, se espera que las variaciones de ambas variables sean especialmente acusadas en el caso de los escenarios de emisiones A2, y muy diversas espacialmente, acarreando un balance temporal y espacialmente desigual de las necesidades de climatización anuales.

IV.1.2.1. GRADOS-AÑO CALEFACCIÓN

Las necesidades de calefacción presentan una relación directa con la altitud y con la continentalidad, por lo que la disposición geográfica de sus valores responde a la presentada por estos factores causales.

A pesar de que las zonas de mayores necesidades de calefacción tanto en el periodo de observación como en el conjunto de proyecciones representan un

porcentaje muy bajo de la superficie regional (ver tabla IV.2), los cambios previstos son muy significativos. Según el modelo obtenido a partir de los valores observados, en las cumbres más elevadas de Sierra Nevada se superan los 3000 GAC, valor que según todas los escenarios descenderá de manera progresiva y notable a lo largo del presente siglo. Tanto es así que para el último treintenio no se espera que existan valores superiores a 1938'3 GDC (CNCM3_A2) o 2450'7 GDC (CNCM3_B1) en la región.

Las zonas en las que se superan los 1000 GAC representan, en el periodo de observación, el 29'3% de la superficie regional, situándose mayoritariamente en altitudes medias y elevadas de los ámbitos interiores (a partir de 550 msnm en las zonas de mayor continentalidad, y 750 msnm en los relieves más cercanos a la costa, aproximadamente). A finales del siglo XXI este porcentaje se reducirá al 2,2% en el caso más extremo (CNCM3_A2) y al 7,1% en el más moderado (CNCM3_B1).

En el extremo opuesto se situarían las áreas con menos necesidades de calefacción (menos de 500 GAC), las cuales se localizan actualmente en el litoral y zonas bajas de marcada influencia marítima, constituyendo sólo el 16,9% de la región, a pesar de la imagen que acompaña a Andalucía en el imaginario colectivo como región permanentemente cálida. Lógicamente, este porcentaje aumenta en el futuro, y llega a alcanzar el 48,5% en el caso del calentamiento menos extremo (CNCM3_B1) y el 70,6% en el más acusado (CNCM3_A2), afectando ya a áreas alejadas de la costa y con altitudes que pueden alcanzar los 400 o incluso los 800 msnm según los modelos más extremos (ver figura IV.3). Un cambio similar se registra en las áreas con menos de 250 GAC, que en la actualidad solo representan un modestísimo 0,6% ubicado en la estricta línea de costa, y que llegarán a constituir el 28,7% de la región a finales de siglo en el caso de calentamiento más marcado (CNCM3_A2).

En la misma línea es también destacable el hecho de que en la actualidad no existe ningún lugar en Andalucía en el que las necesidades de calefacción sean nulas y, de hecho, solo la proyección ECHAM5_A2 prevé para el final de siglo áreas con esta

característica. Estas áreas libres de necesidades de calefacción se situarían en una estrecha franja costera.

VALORES	1985-1999	2071-2099			
		CNCM3_A2	CNCM3_B1	ECHAM_A2	ECHAM5_B1
0	-	-	-	13,3 (0,0)	-
0-250	563,9 (0,6)	25.155,4 (28,7)	11.318,4 (12,9)	23.329,5 (26,6)	11.953,0 (13,6)
250-500	14.201,1 (16,2)	36.646,5 (41,8)	31.129,8 (35,5)	35355,0 (40,4)	30.807,9 (35,2)
500-750	23.569,1 (26,9)	18.710,1 (21,4)	26.719,9 (30,5)	20.111,8 (23,0)	26.521,9 (30,3)
750-1000	23.556,9 (26,9)	5.164,6 (5,9)	12.173,0 (13,9)	6.353,6 (7,3)	12.092,7 (13,8)
1000-1250	13.727,0 (15,7)	1.489,6 (1,7)	4.020,5 (4,6)	1.879,6 (2,1)	3.989,0 (4,6)
1250-1500	7.374,0 (8,4)	300,6 (0,3)	1.615,7 (1,8)	367,4 (0,4)	1.612,9 (1,8)
1500-1750	2.573,0 (2,9)	121,1 (0,1)	370,5 (0,4)	157,1 (0,2)	369,9 (0,4)
1750-2000	1.347,5 (1,5)	7,7 (0,0)	170,1 (0,2)	28,2 (0,0)	169,9 (0,2)
2000-2250	365,1 (0,4)	-	73,1 (0,1)	0,1 (0,0)	73,6 (0,1)
2250-2500	175,1 (0,2)	-	4,6 (0,0)	-	4,7 (0,0)
> 2500	142,7 (0,2)	-	-	-	-

Tabla IV.2. Superficie (Km²) según las necesidades anuales de calefacción en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1. Entre paréntesis, porcentaje que representa cada valor con respecto a la superficie total de la región.

Fuente: Elaboración propia.

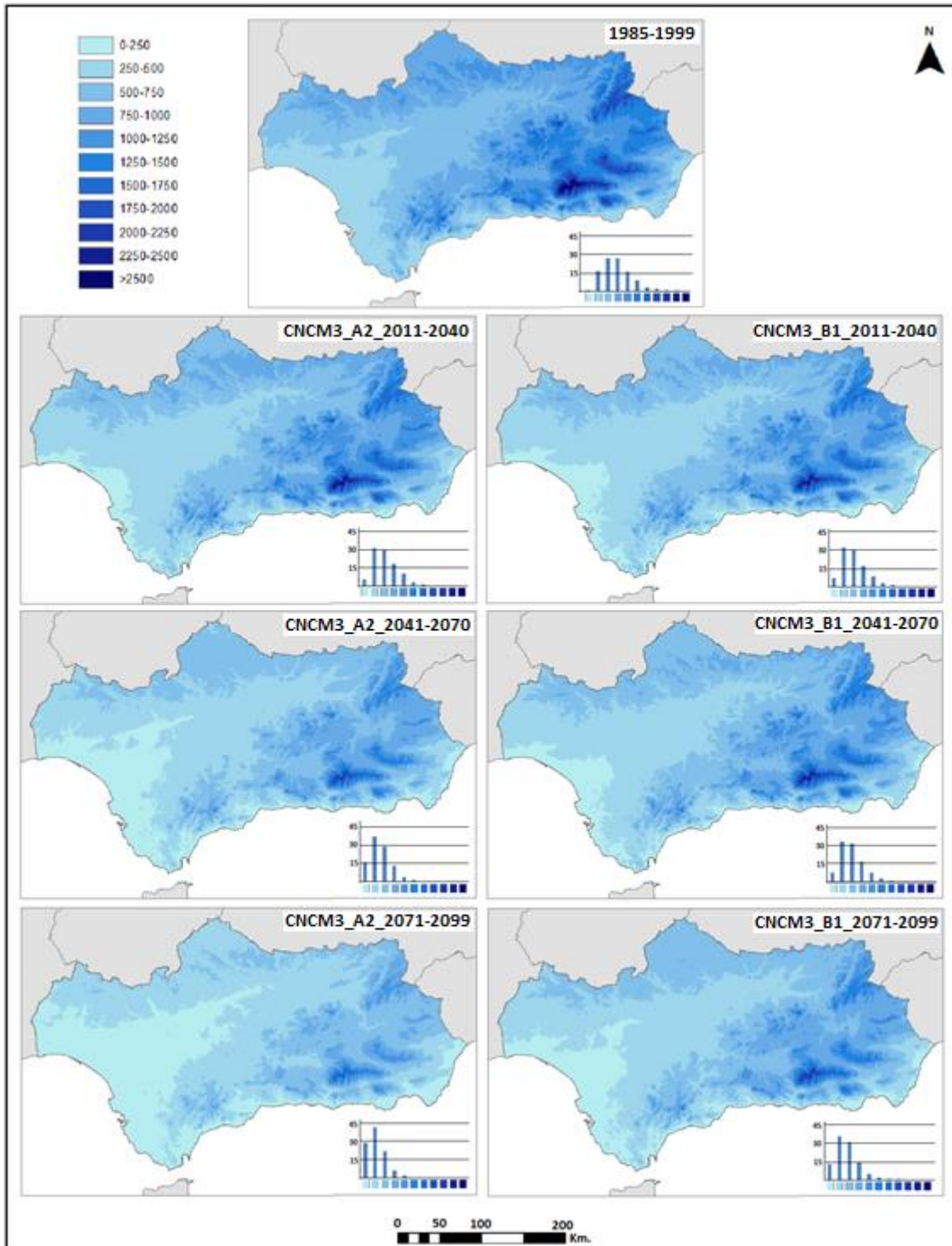


Figura IV.3. Distribución de los valores de GAC en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.
Fuente: Elaboración propia.

El decrecimiento de las necesidades de calefacción será general y sostenido según todas las proyecciones, directamente relacionado con la altitud y la continentalidad, y claramente más intenso en los escenarios de emisiones A2 en el balance global del periodo analizado (ver figura 5).

A finales de siglo, entre el 47'36% (CNCM3_B1) y el 85'85% de la región (CNCM3_A2) habrá sufrido un descenso superior a 300 GAC, comprendiendo las zonas superiores a 400-900 msnm (dependiendo de la menor o mayor influencia marítima) en el caso de la proyección más moderada (CNCM3_B1), o cualquier zona de la región que esté a una distancia al mar superior a 55 kilómetros o por encima de 300 msnm, según la proyección más extrema (CNCM3_A2). Por encima de 1800 msnm, aproximadamente, el descenso será superior a 500 (CNCM3_B1) u 800 GAC (CNCM3_A2).

En contraposición a estos descensos tan notables, las zonas estrictamente costeras habrán experimentado descensos muy inferiores a 100 GAC, por lo que incluso en los escenarios de mayor incremento de temperatura no existirán cambios muy notables con respecto a la situación actual. De hecho, en el periodo de observación el valor de GAC en la línea de costa apenas supera los 60 GAC, un valor muy reducido que contrasta con los más de 500 GAC de gran parte de la campiña sevillana o cordobesa, zonas de baja altitud pero que sufren una marcada continentalidad.

A tenor de estos resultados cabe esperar un progresivo descenso de la demanda energética por el uso de calefacción, que incidirá especialmente en un menor consumo de combustibles líquidos derivados del petróleo (básicamente gasóleo), así como de gas natural, que son, junto a la biomasa, las principales fuentes de energía que se utilizan para calentar los hogares y edificios. El descenso en la demanda de energía eléctrica derivado de esta situación sería notablemente inferior, pues actualmente se utiliza en mucha menor medida para estos propósitos.

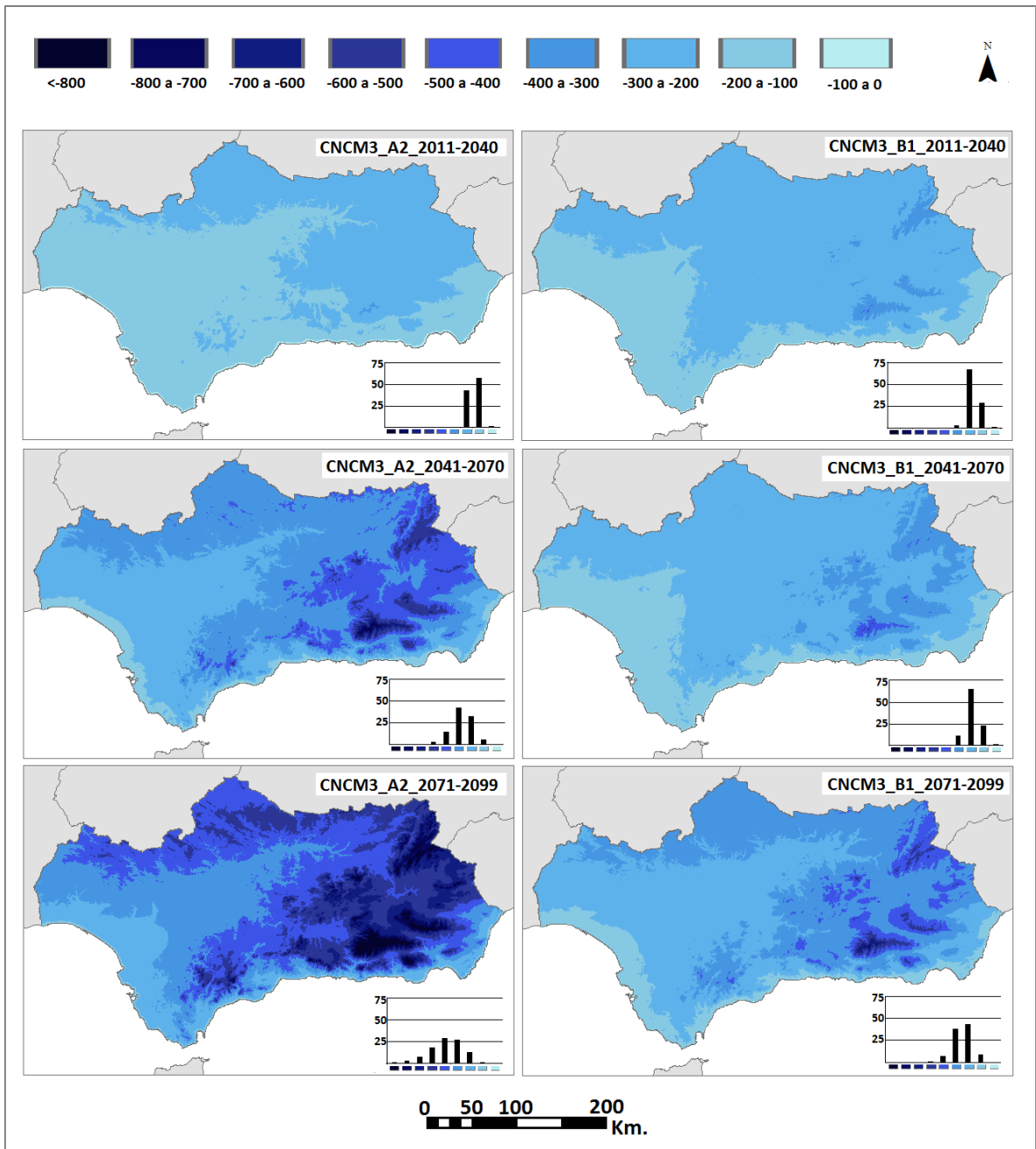


Figura IV.4. Variación absoluta de las necesidades de calefacción anuales (GAC) en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

IV.1.2.2. GRADOS-AÑO REFRIGERACIÓN

Las necesidades de refrigeración presentan también una relación directa con la continentalidad, pero con la altitud la relación es inversa. Es por ello que los valores más elevados de GAR cubren importantes extensiones de territorio, a diferencia de las necesidades de calefacción más elevadas, que incluso en el periodo de observación quedan limitadas a zonas de gran altitud, de muy reducida superficie.

Las necesidades de refrigeración sufrirán también cambios sustanciales. En el periodo de referencia, sólo el 19'1% de la región –las zonas más deprimidas del valle del Guadalquivir- se sitúa en valores superiores a 750 GAR anuales; en el último treintenio del presente siglo, entre el 78'5% (CNCM3_B1) y el 94'9% (CNCM3_A2) de la región superará este umbral (ver tabla IV.3).

VALORES	1985-1999	2071-2099			
		CNCM3_A2	CNCM3_B1	ECHAM5_A2	ECHAM5_B1
0	621,5 (0,7)	196,9 (0,2)	416,1 (0,5)	176,4 (0,2)	350,3 (0,4)
0-250	2.905,9 (3,3)	310,1 (0,4)	931,6 (1,1)	315,0 (0,4)	725,0 (0,8)
250-500	17.922,9 (20,5)	907,5 (1,0)	3.567,5 (4,1)	971,6 (1,1)	2.774,7 (3,2)
500-750	49.373,7 (56,4)	2.956,6 (3,4)	13.926,1 (15,9)	3.437,9 (3,9)	10.862,4 (12,4)
750-1000	16.771,6 (19,1)	9.842,6 (11,2)	27.501,1 (31,4)	12.315,8 (14,1)	22.653,6 (25,9)
1000-1250	-	18.587,9 (21,2)	40.626,9 (46,4)	21.744,1 (24,8)	43.472,4 (49,6)
1250-1500	-	37.510,8 (42,8)	626,3 (0,7)	40.769,6 (46,5)	6.757,2 (7,7)
1500-1750	-	17.283,2 (19,7)	-	7.865,2 (9,0)	-

Tabla IV.3. Superficie (Km²) según las necesidades anuales de refrigeración en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1. Entre paréntesis, porcentaje que representa cada valor con respecto a la superficie total de la región.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores más elevados de GAR se modelizan siempre para las zonas más deprimidas del valle del Guadalquivir en su transcurso por las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén, donde a finales de siglo se esperan valores superiores a 1250 GAR según la proyección CNCM3_B1, y por encima de 1500 GAR según la proyección CNCM3_A2. La influencia de la continentalidad en los valores más elevados es, por lo tanto, evidente (ver figura IV.5), y ello tendrá vastos efectos territoriales.

En la costa, a diferencia de lo que sucede con las necesidades de calefacción, las necesidades de refrigeración sí son moderadamente intensas en el periodo de observación, presentando un valor de 172 GAR. En el treintenio 2071-2099 tales necesidades se situarán entre los 350 GAR (CNCM3_B1) y 551 GAR (CNCM3_A2), lo cual acrecentará todavía más el protagonismo de la refrigeración sobre la calefacción en este ámbito.

Las zonas con necesidades nulas de refrigeración se verán reducidas progresivamente. En el periodo de observación estas zonas representan sólo el 0'7% de la región, situándose por encima de 1.800 msnm de altitud en la Cordillera Penibética o en cotas algo más elevadas en las sierras nororientales por efecto de la elevada continentalidad. A finales de siglo se situarían por encima de entre 2.200 msnm (CNCM3_B1) o 2.500 msnm (CNCM3_A2), ocupando una extensión del 0'4% o 0'2% de la región, respectivamente, y quedando circunscritas, por lo tanto, a las cumbres más elevadas de Sierra Nevada.

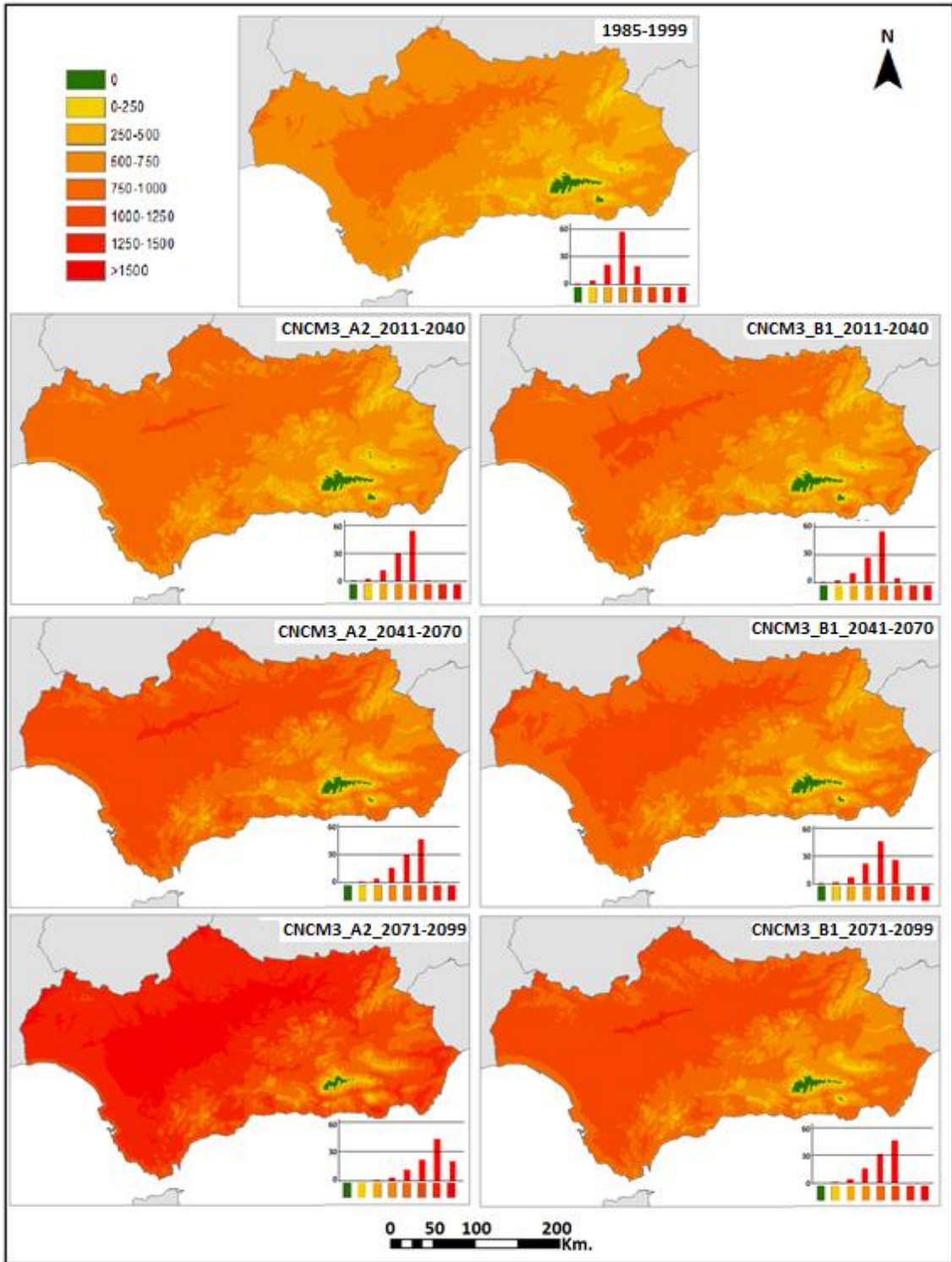


Figura IV.5. Distribución de los valores de GAR en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1. Fuente: Elaboración propia.

Se espera que el ascenso de las necesidades de refrigeración anuales sea especialmente importante en zonas de elevada continentalidad y baja altitud, y más intenso en la globalidad del periodo 2011-2099 según los escenarios de emisiones A2 (ver figura IV.6).

A finales de siglo el ritmo de ascenso se acrecentará considerablemente en los escenarios de emisiones A2. Según el escenario CNCM3_A2, las zonas en las que se producirá un mayor ascenso habrán aumentado en más de 800 GAR sus necesidades de refrigeración con respecto al periodo de observación, y amplias zonas del interior de la región (un 44'89% del territorio andaluz) habrán incrementado sus necesidades entre 700 y 800 GAR. Según el escenario más moderado, los mayores cambios superarían ligeramente los 400 GAR, y una amplia mayoría de la región se situaría en un incremento acumulado de entre 300 y 400 GAR (66'80% de la región).

Las zonas de costa, a diferencia de lo que se prevé que ocurra con las necesidades de calefacción, sí experimentarán una variación (positiva) considerable, superior a entre 200 GAR (CNCM3_B1) o 375 GAR (CNCM3_A2), lo cual ya deja entrever, en estos ámbitos, un incremento de las necesidades de climatización globales. Las necesidades de refrigeración en este ámbito se incrementarían, por tanto, entre un 103% y un 220% con respecto al periodo de observación, cambios sin duda muy notables que se producirán en ámbitos muy poblados, trayendo consigo un incremento destacado de la demanda de energía eléctrica, que prácticamente es el único sector energético que satisface este tipo de necesidades en la actualidad.

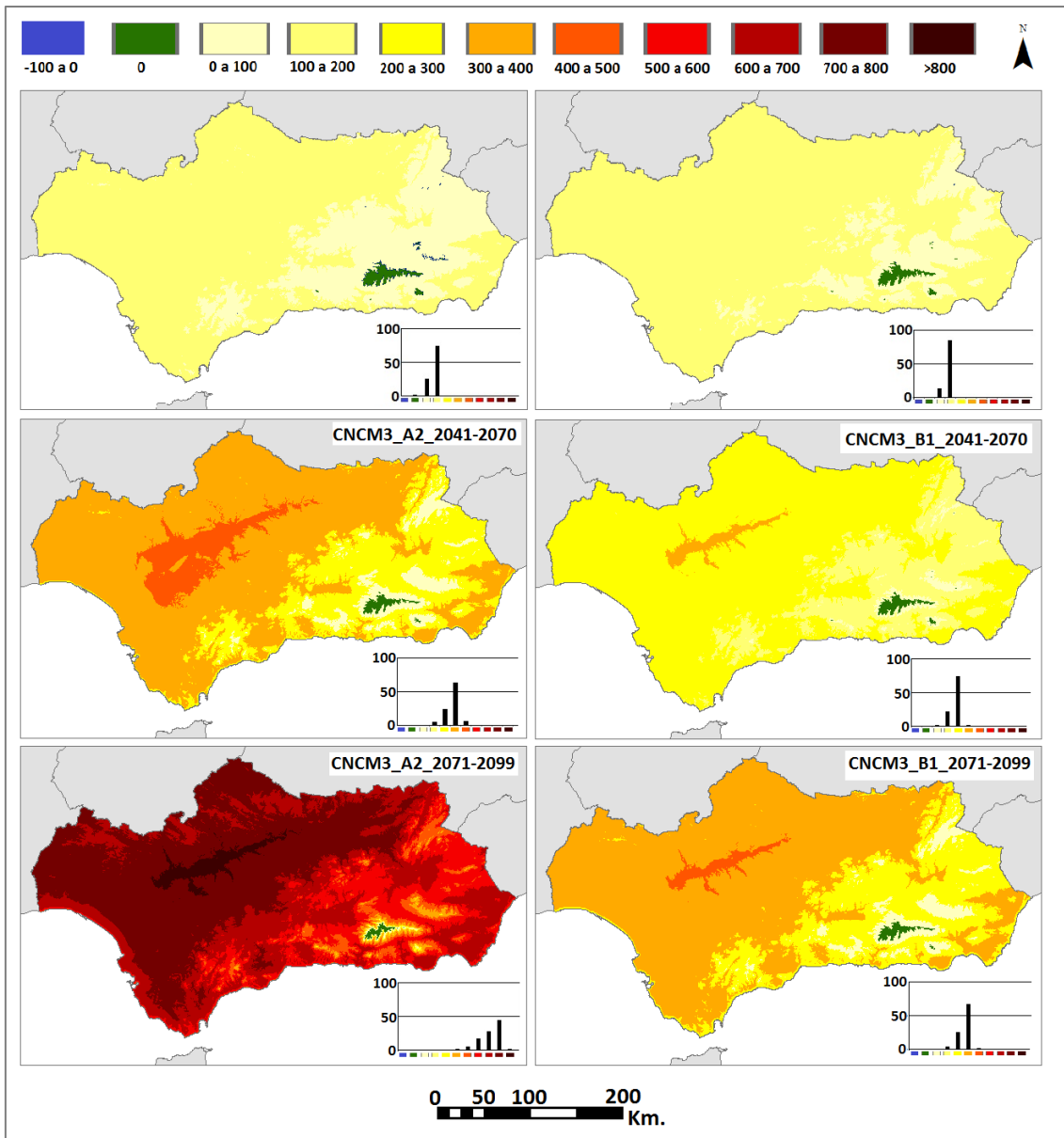


Figura IV.6. Variación absoluta de las necesidades de refrigeración anuales en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

IV.1.2.3. GRADOS-AÑO CLIMATIZACIÓN

Uno de los rasgos más significativos de la evolución que experimentarán los GACL a nivel regional es el progresivo decrecimiento de su rango de valores a lo largo del presente siglo, especialmente notable en los escenarios de emisiones A2. En el periodo de referencia, la altitud es la variable causante de los valores más elevados de GACL; en cambio, en su evolución durante el presente siglo esta disposición prácticamente se desdibujará, de manera que la continentalidad pasará a ser la variable determinante, siendo este proceso especialmente intenso y rápido en las proyecciones más extremas (ver figura IV.7). Lógicamente, este fenómeno es atribuible al hecho de que en la actualidad el protagonismo de las necesidades de climatización corresponde a la calefacción, la cual está estrechamente asociada a la altitud, mientras que a medida que avance el siglo actual y se intensifique el proceso de calentamiento global tal protagonismo será asumido por las necesidades de refrigeración, las cuales alcanzan su máxima expresión en los ámbitos más continentales y de menor altitud.

Esta situación resulta especialmente patente en el caso de lo previsto por el modelo CNCM3_A2 hacia finales de siglo. A pesar de que el valor máximo regional (1938,33 GACL, coincidente con el valor máximo de GAC) se localiza en el pico más alto de la Cordillera Penibética, los modelos prevén zonas relativamente extensas de gran continentalidad y no excesiva altitud que presentarán valores prácticamente tan elevados (superiores a 1900 GDCL), en las que coexistirán necesidades de calefacción y refrigeración. Tal quasi-equiparación no se produciría en el caso de lo previsto por los escenarios de emisiones B1.

En cualquier caso, la tendencia es que las zonas más frías de la región (las de mayor altitud) vayan cediendo el protagonismo a ámbitos en los que las necesidades de refrigeración se incrementarán en mayor medida a la merma de las necesidades de calefacción.

Según el escenario CNCM3_A2, a finales de siglo el 87'4% del territorio se situaría por encima de 1500 GACL, porcentaje que en el periodo de observación es del 45%

(ver tabla IV.4). En los escenarios más moderados esta tendencia no es tan marcada; de hecho, según el escenario CNCM3_B1 sólo se situaría por encima de este umbral un 10% más de territorio que en el periodo de referencia (el 55'1%).

VALORES	1985-1999	2071-2099			
		CNCM3_A2	CNCM3_B1	ECHAM_A2	ECHAM5_B1
0	-	-	-	-	-
0-250	16,9 (0,0)	-	-	-	-
250-500	111,9 (0,1)	-	39,8 (0,1)	-	33,1 (0,0)
500-750	651,4 (0,7)	59,2 (0,1)	215,4 (0,3)	89,3 (0,1)	185,3 (0,2)
750-1000	3.214,4 (3,7)	265,2 (0,3)	1.277,1 (1,5)	377,5 (0,4)	1.002,4 (1,1)
1000-1250	12.334,6 (14,1)	1.365,8 (1,6)	6.855,4 (7,8)	1.969,1 (2,3)	5.119,4 (5,8)
1250-1500	31.624,4 (36,1)	9.356,5 (10,7)	30.987,1 (35,4)	10.949,4 (12,5)	21.435,6 (24,5)
1500-1750	32.090,1 (36,3)	41.095,0 (46,9)	47.972,1 (54,8)	48.500,2 (55,4)	59.004,2 (67,4)
1750-2000	6.197,0 (7,1)	35.454,0 (40,5)	170,9 (0,2)	25.710,1 (29,4)	737,2 (0,8)
2000-2250	1.036,9 (1,2)	-	73,1 (0,1)	0,1 (0,0)	73,6 (0,1)
2250-2500	175,1 (0,2)	-	4,6 (0,0)	-	4,7 (0,0)
> 2500	142,7 (0,2)	-	-	-	-

Tabla IV.4. Superficie (Km²) según las necesidades anuales de climatización en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1. Entre paréntesis, porcentaje que representa cada valor con respecto a la superficie total de la región.

Fuente: Elaboración propia.

Las menores necesidades de climatización están directamente vinculadas con la mayor influencia marítima, aunque en estas zonas la tendencia desde el primer treintenio es ascendente. Según todas las proyecciones, a finales de siglo menos del 10% del territorio se situará en valores inferiores a 1250 GACL, disminuyendo desde el 18'6% de la región en el periodo de observación.

A diferencia de lo que sucede con los GAR y GAC, ningún escenario prevé ausencia total de necesidades de climatización para el periodo 2011-2099, estando en todos los casos por encima de 250 GACL. La franja costera, que en el periodo de observación presenta unas necesidades de climatización de 233'65 GACL, progresivamente verá sus valores aumentados, situándose entre 391'28 GACL (CNCM3_B1) y 553'95 GACL (CNCM3_A2) a finales de siglo. Ello implica que, en uno de los ámbitos más poblados de la región, las necesidades de climatización anuales serían entre un 67% y un 135% mayores.

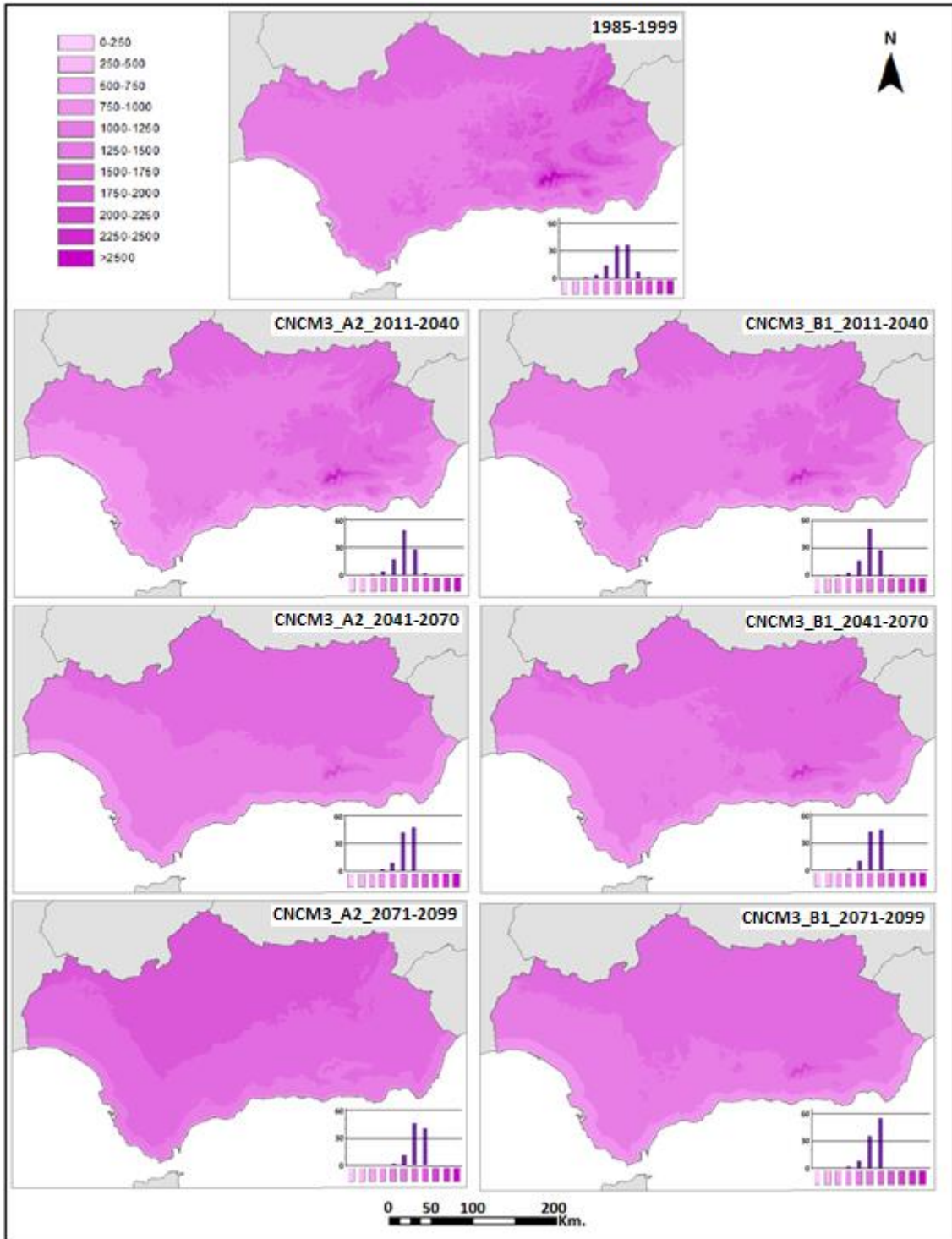


Figura IV.7. Distribución de los valores de GACL en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1. Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad espacial de los cambios generados por el ascenso de la temperatura sobre las necesidades de climatización a lo largo del siglo XXI es expresiva en relación a su intensidad y a su signo (ver figura IV.8). En el balance final del periodo 2011-2099 se esperan dos tendencias muy claras: la más mayoritaria territorialmente apunta hacia un ascenso de las necesidades de climatización con respecto al periodo de observación, más extenso e intenso según los escenarios de emisiones A2; por otra parte, el descenso de las necesidades de climatización, aunque minoritario espacialmente, será especialmente acusado en los ámbitos más elevados de la región, sobre todo según los escenarios de emisiones más extremos. Por lo tanto, la extremosidad de los escenarios de emisiones estará directamente relacionada con la polarización de los cambios.

En el periodo 2011-2040 se espera, por parte de todas las proyecciones, que la mayor parte de la región haya experimentado un descenso de los valores de GACL. Los descensos afectarán a entre el 84'06% (CNM3_B1) y el 94'50% (ECHAM5_B1) de la región, aunque mayoritariamente lo harán en menos de 100 GACL. Únicamente las zonas de mayor influencia marítima del territorio andaluz verán incrementadas las necesidades de climatización en este primer treintenio, aunque en cualquier caso de forma muy discreta (inferior a 100 GACL). Se podría afirmar entonces que, desde un punto de vista del balance de climatización, el incremento de temperaturas en este primer treintenio a nivel regional sería beneficioso, existiendo, por tanto, un cierto margen temporal en cuanto a la adaptación de la región al futuro incremento de la demanda de climatización.

Posteriormente se prevé que esta situación se invierta, de manera que en el periodo 2041-2070 sólo la proyección ECHAM5_B1 modeliza los descensos como mayoritarios (un 58'95% de la región). Pese a este cambio de tendencia, según la proyección de mayor cambio (CNM3_A2) únicamente el 55'49% de la región (zonas por debajo de 500 msnm, en general) habría aumentado sus necesidades de climatización con respecto al periodo de observación, y en cualquier caso por debajo de 200 GACL.

Según la proyección CNCM3_A2, a finales de siglo los ámbitos situados por debajo de 850-1000 metros de altitud (dependiendo de la menor o mayor influencia marítima, respectivamente) habrán experimentado un ascenso de las necesidades de climatización con respecto al periodo de observación, lo cual supone un 84'55% de la región. Según el escenario CNCM3_B1, las zonas de ascenso de las necesidades de climatización se situarían por debajo de 600 msnm (63'53% de la región), experimentando un repunte que en ningún caso superaría los 200 GACL.

Por el contrario, entre un 15'45% (CNCM3_A2) y un 36'47% (CNCM3_B1) de la región verá reducidas las necesidades de climatización a finales de siglo con respecto al periodo de observación. Por encima de entre 1700 msnm (CNCM3_A2) y 1900 msnm (CNCM3_B1) se habrán producido descensos de las necesidades de climatización de más de 400 GDCL. Lógicamente, en aquellas zonas en las que no se prevén necesidades de refrigeración el descenso de las necesidades de climatización será equivalente al descenso de las necesidades de calefacción.

Los escenarios más extremos (A2) implican una polarización más intensa de los cambios en las necesidades de climatización. Según estos escenarios, en algunas zonas los GACL aumentarán de forma muy notable, como consecuencia de un incremento más intenso de las necesidades de refrigeración en comparación a la mengua de las de calefacción, al partir, en el caso de estas últimas, de unos niveles ya muy bajos y, en consecuencia, con escaso margen de descenso. Por el contrario, al existir zonas (las más frías de la región) para las que no se estiman necesidades de refrigeración ni en el escenario de mayor cambio, el mayor incremento de temperaturas asociado a los escenarios de emisiones A2 implica un mayor descenso de las necesidades de calefacción, y por lo tanto, un descenso también mayor de las necesidades de climatización.

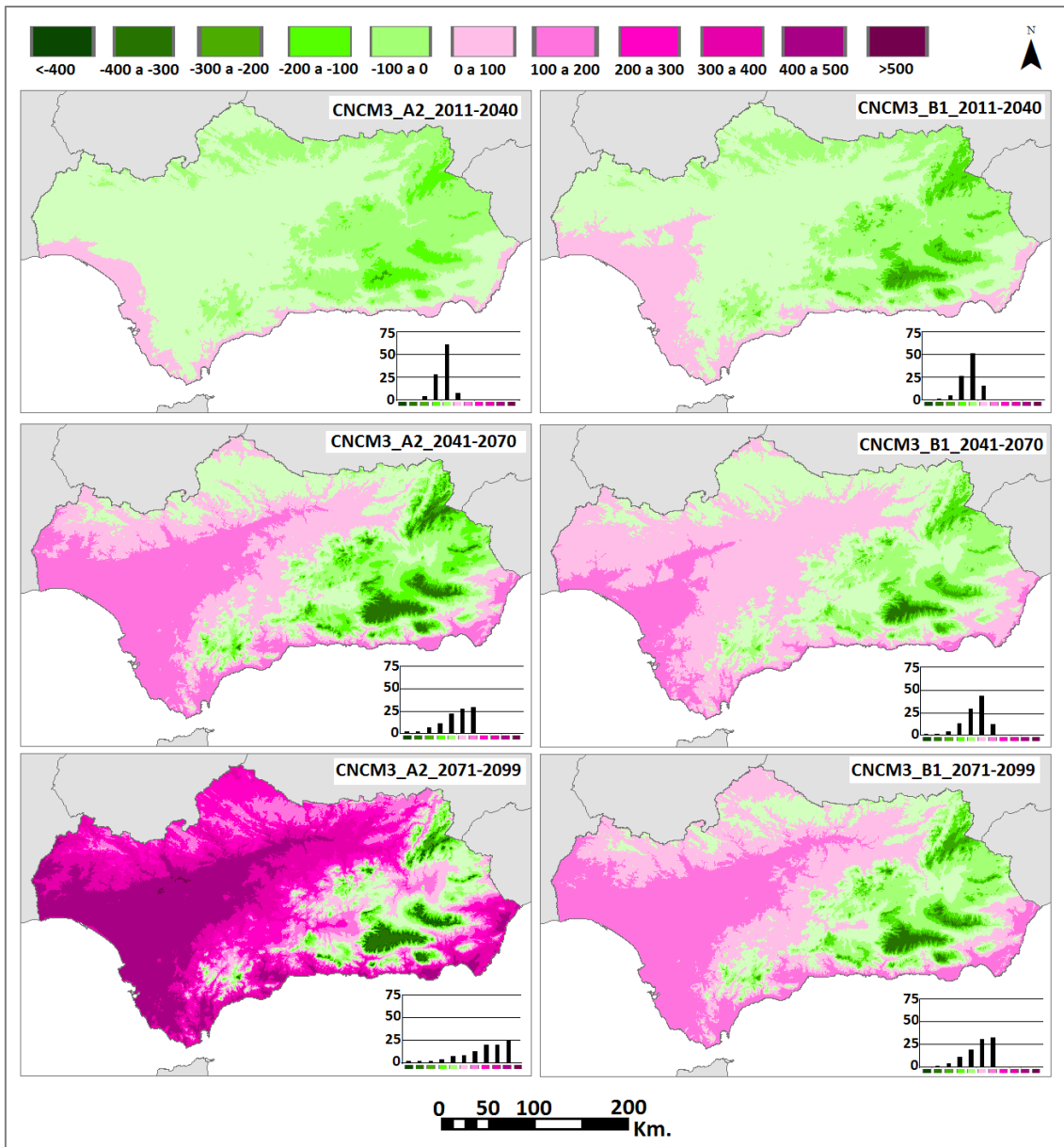


Figura IV.8. Variación absoluta de las necesidades de climatización anuales en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

IV.1.2.3.1. Coexistencia de las necesidades de calefacción y refrigeración

En más del 99% del territorio andaluz coexisten, en todos los escenarios y en muy diversas proporciones, necesidades de calefacción y refrigeración. Las zonas que requieren o requerirán solo calefacción se corresponden, obviamente, con aquellas en las que no se producen o prevén necesidades de refrigeración. Por otra parte, únicamente el modelo ECHAM5, en su escenario de emisiones A2, prevé que algunas zonas de la región no presenten necesidades de calefacción a finales de siglo.

En el periodo de referencia, el 61'2% del territorio andaluz requiere mayoritariamente calefacción. Esta situación se produce en zonas superiores a 250-350 msnm, dependiendo de la mayor o menor influencia marítima, respectivamente. Esto rompe la imagen de la Andalucía permanentemente cálida.

Posteriormente, todos los modelos coinciden en un cambio de esta hegemonía (ver tabla IV.5 y figura IV.9). Más concretamente, ya en el periodo 2011-2040 se prevé que entre el 64'3% (ECHAM_A2) y el 68'3% (CNCM3_B1) del territorio requiera mayoritariamente refrigeración, llegando a generalizarse este predominio hacia finales de siglo en el 79'6% del territorio en el periodo 2071-2099 en el caso del modelo más moderado (CNCM3_B1), y en el 94'1% en el caso del modelo más extremo (CNCM3_A2). Según estas previsiones, en el último treintenio cualquier ámbito que se sitúe por debajo de 900 (CNCM3_B1) a 1300 msnm (CNCM3_A2) presentaría un predominio de las necesidades de refrigeración sobre las de calefacción.

El máximo predominio de las necesidades de refrigeración se seguirá produciendo, según todos los modelos, en las zonas de menor altitud de la región. A finales de siglo, el 80% de las necesidades de climatización se deberá a necesidades de refrigeración para el 17'3 (CNCM3_B1) o el 44'9% (CNCM3_A2) de la región, afectando básicamente al litoral y pre-litoral en el caso del modelo más moderado, o pudiendo sumarse cualquier punto del interior de la región por debajo de 400 msnm según lo previsto por la proyección más extrema.

VALORES	1985-1999	2011-2040		2041-2070		2071-2099	
		CNCM3_A2	CNCM3_B1	CNCM3_A2	CNCM3_B1	CNCM3_A2	CNCM3_B1
0	622,1 (0,7)	647,1 (0,7)	616,4 (0,7)	447,1 (0,5)	515,9 (0,6)	197,0 (0,2)	416,4 (0,5)
0-10	1.536,5 (1,8)	1.012,3 (1,2)	886,6 (1,0)	419,0 (0,5)	649,4 (0,7)	147,6 (0,2)	423,3 (0,5)
10-20	4.529,9 (5,2)	2.407,8 (2,7)	2.089,7 (2,4)	944,0 (1,1)	1.523,7 (1,7)	251,0 (0,3)	1.004,1 (1,1)
20-30	10.640,8 (12,1)	5.518,9 (6,3)	4.570,6 (5,2)	2.010,7 (2,3)	3.244,9 (3,7)	563,3 (0,6)	2.193,8 (2,5)
30-40	14.473,5 (16,5)	9.169,3 (10,5)	8.867,6 (10,1)	4.268,7 (4,9)	7.501,7 (8,6)	1.266,5 (1,4)	4.866,1 (5,6)
40-50	21.767,9 (24,9)	12.557,6 (14,3)	10.775,7 (12,3)	8.560,6 (9,8)	9.323,7 (10,6)	2.765,5 (3,2)	8.937,1 (10,2)
50-60	19.661,1 (22,4)	19.187,4 (21,9)	19.340,1 (22,1)	11.039,6 (12,6)	17.481,8 (20,0)	7.191,9 (8,2)	12.457,2 (14,2)
60-70	14.331,1 (16,4)	17.071,5 (19,5)	17.148,1 (19,6)	20.939,3 (23,9)	19.338,4 (22,1)	11.194,8 (12,8)	21.149,1 (24,1)
70-80	32,5 (0,0)	19.864,0 (22,7)	22.326,3 (25,5)	20.475,1 (23,4)	21.608,7 (24,7)	24.715,8 (28,2)	20.931,9 (23,9)
80-90	0,0	159,7 (0,2)	974,5 (1,1)	18.426,9 (21,0)	6.407,3 (7,3)	28.734,5 (32,8)	15.196,9 (17,3)
90-100	0,0	0,0	0,0	64,6 (0,1)	0,0	10.567,7 (12,1)	19,9 (0,0)
100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla IV.5. Superficie (Km2) según porcentaje de las necesidades de refrigeración respecto a las necesidades de climatización en el periodo de referencia (1985-1999) y en los treintenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1, siendo 0 cuando GAC = GACL y siendo 100 cuando GAR = GACL. Entre paréntesis, el porcentaje que representa cada valor con respecto a la superficie total de la región.

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados son relevantes y útiles para el campo de la arquitectura, disciplina cuyo conocimiento es fundamental a la hora de establecer estrategias de adaptación al cambio climático en el campo del diseño de viviendas o edificios. Con la finalidad de minimizar en la medida de lo posible el uso de sistemas mecánicos, es recomendable que en amplias zonas de la región andaluza las viviendas o edificios de nueva construcción se diseñen y construyan teniendo en cuenta la creciente supremacía de las necesidades de refrigeración con respecto a las de calefacción, redundando en un ahorro energético (y económico) y, en consecuencia, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

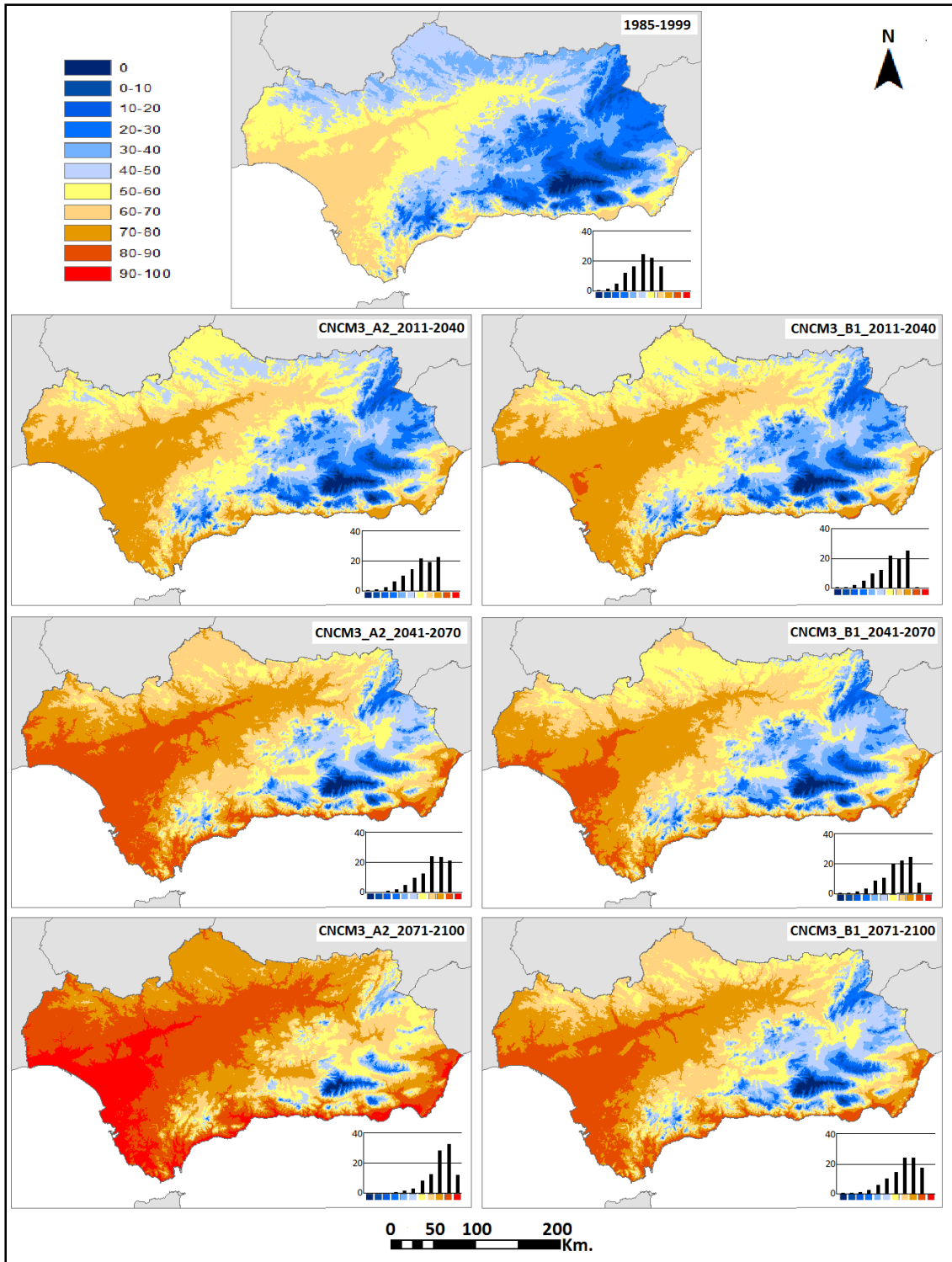


Figura IV.9. Porcentaje de GAR sobre el total de GACL en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1. Fuente: Elaboración propia.

IV.2. EVOLUCIÓN DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN MENSUALES EN EL PRESENTE SIGLO

La escala de análisis mensual es habitual en los trabajos que estudian la demanda energética, en consonancia a los datos de consumo, que se suelen ofrecer en esta escala temporal.

La aproximación mensual no únicamente tiene sentido desde este punto de vista. Si bien es innegable que la distribución espacial de las variables obedece a los mismos factores que en la escala anual, existen diferencias intermensuales notables en cuanto a los valores observados y previstos, así como en relación a la intensidad de las variaciones derivadas del incremento de temperaturas pronosticado.

Las necesidades de calefacción han sido calculadas para los meses comprendidos entre octubre y mayo (ambos inclusive). Para el caso de las necesidades de refrigeración la estimación se ha realizado para los meses comprendidos entre mayo y octubre (también incluidos). Ello no implica que en los meses no incluidos no se produzcan necesidades de uno u otro tipo, pero son cuantitativa o territorialmente poco relevantes en todos los escenarios y, derivado en parte de esta razón, la calidad de la espacialización no queda suficientemente garantizada, debido a la existencia de demasiados valores nulos en los valores puntuales. Habiendo realizado esta determinación, se han podido estimar las necesidades de climatización para los meses de mayo y octubre, que son los únicos en los que coinciden de manera significativa las necesidades de calefacción y de refrigeración.

IV.2.1. EVALUACIÓN A ESCALA REGIONAL

IV.2.1.1. NECESIDADES DE CALEFACCIÓN

En la evolución prevista del ciclo intermensual de las necesidades de calefacción se aprecian las mismas tendencias de descenso que en la evolución del ciclo anual: en el periodo 2011-2040 se prevé un gran acuerdo entre todas las salidas de los modelos; en el periodo 2041-2070 las salidas del escenario B1 atenúan

notablemente su descenso (especialmente en el caso del MCG CNCM3), y ello tiene como consecuencia que sea en el último tramo de siglo cuando se espere un claro desmarque de los valores según el escenario de emisiones. En cualquier caso, el consenso hacia una progresiva atenuación de las necesidades de calefacción en todos los meses es total (ver figura IV.10).

A nivel regional, el mes con mayores necesidades de calefacción es enero, cuyo valor medio regional en el periodo de observación es de 189'26 GMC (6'11 GDC medios diarios), previéndose que a finales de siglo se haya reducido entre un 33'81% (CNCM3_B1) y un 46,06% (CNCM3_A2).

Las necesidades de calefacción en diciembre (155'32 GMC) y febrero (137'83 GMC) en el periodo de observación pueden considerarse prácticamente equivalentes si se atiende al valor medio diario (diciembre tiene un valor medio diario de 5'01 GDC y febrero de 4'92 GDC), aunque todas las proyecciones prevén que la ligera preponderancia inicial de diciembre sobre febrero tenga tendencia a invertirse en su evolución durante el presente siglo, como consecuencia de un decrecimiento más intenso del primero.

La envergadura de los cambios en valor absoluto tiene una relación directa con los valores iniciales de partida. Es por ello que los meses no invernales experimentarán cambios bastante más discretos. Destacan en este sentido los meses de mayo y octubre, que parten de valores de 34'91 GMC y 34'74 GMC, respectivamente, y su descenso previsto a finales de siglo estaría comprendido entre 19'91 GDC (ECHAM5_B1) y 26'87 GDC (CNCM3_A2) en el caso del mes mayo, y entre 15'96 GMC (CNCM3_B1) y 25'03 GMC (ECHAM5_A2) en octubre. En todos los casos, estos descensos implican una variación inferior a 1 GDC medio diario en la globalidad del periodo 2011-2099, mucho más leve que el descenso previsto para el mes más frío, para el que las proyecciones más extremas prevén un descenso tres veces superior.

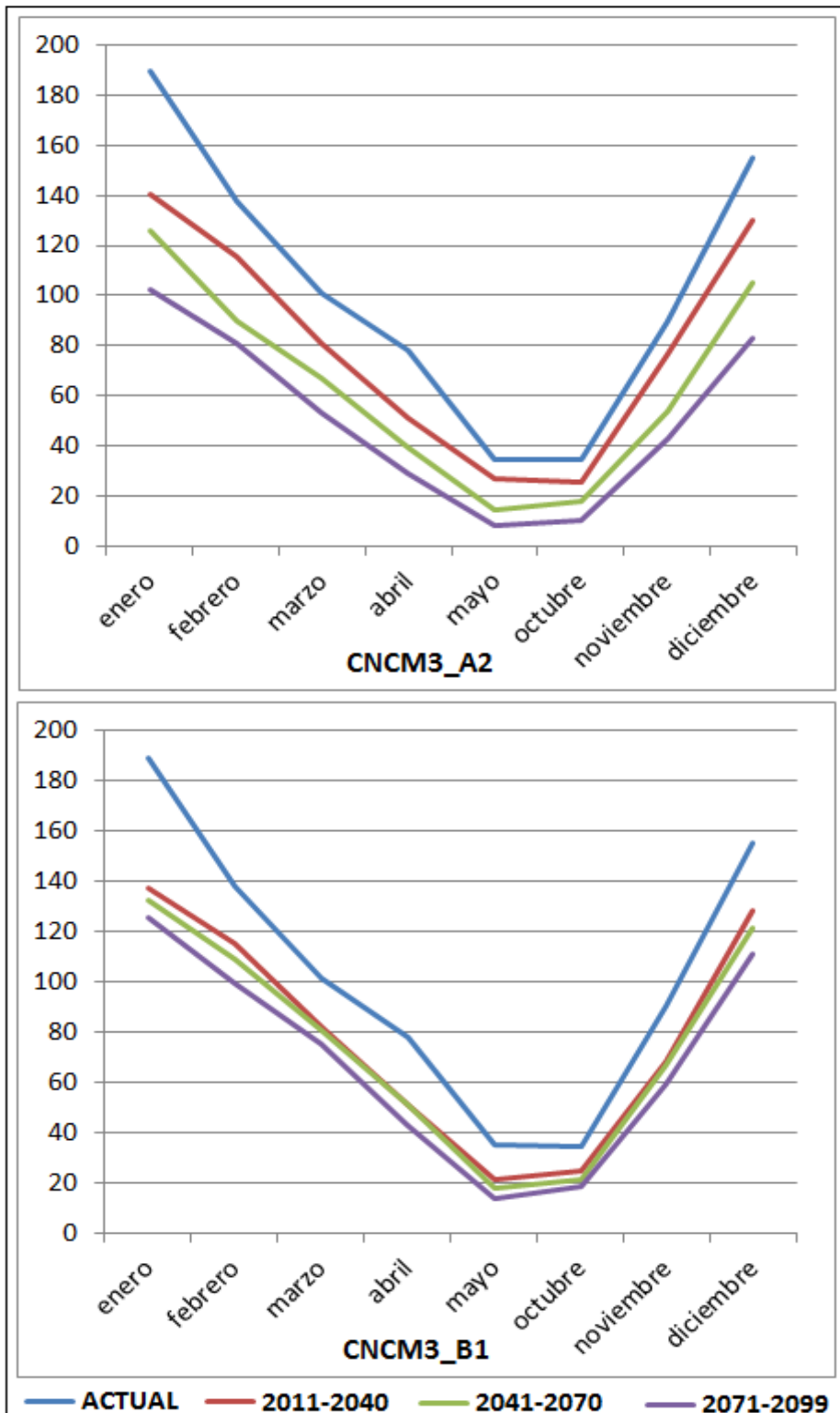


Figura IV.10. Evolución intermensual de los valores medios regionales de GMC en los treintenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999). Fuente: Elaboración propia.

Ello implica que en los meses invernales los descensos de las necesidades de calefacción presentan una mayor correspondencia con los ascensos de temperatura previstos. De esta forma, en el periodo 2071-2099 el valor medio diario de GDC del mes de enero habría descendido con respecto al periodo de observación entre 2,06 GDC (CNCM3_B1) y 2,81 GDC (CNCM3_A2), que se corresponden notablemente con los ascensos previstos para la temperatura media mensual de enero para esos escenarios⁶ (1'92°C y 2'95°C, respectivamente). Ello tiene mucho sentido, porque la temperatura media de la mayoría de zonas de la región se sitúa por debajo del umbral utilizado para el cálculo de los GDC⁷, incluso en el escenario de mayor aumento de temperatura (ver figura IV.11).

En el caso del mes de abril, en cambio, no existe semejante correspondencia. El valor medio regional de GMC en el periodo de observación es de 77'59 GMC (2'59 GDC medios diarios), previéndose para el periodo 2071-2099 un descenso de entre 35'73 GMC (1,19 GDC medios diarios) según la proyección más moderada (CNCM3_B1) y 49,11 GMC (1'64 GDC medios diarios) según la proyección más extrema (CNCM3_A2), cuando el ascenso estaría comprendido entre 1'52°C (CNCM3_B1) y 3'17°C (CNCM3_A2). La discrepancia es especialmente evidente en el caso del modelo más cálido, al presentar una mayor frecuencia de valores de temperatura más alejados de la temperatura umbral.

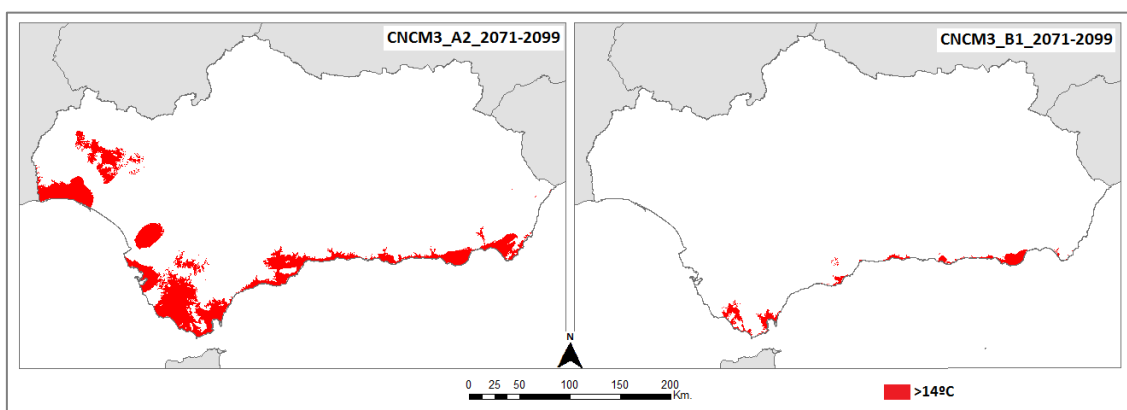


Figura IV.11. Ámbitos con una temperatura media mensual en enero superior a 14°C (umbral para el cálculo de los grados-día calefacción) según el MCG CNCM3 en el periodo 2071-2099. Fuente: Elaboración propia.

⁶ Según la espacialización realizada en el proyecto AdaptaclimaII, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

⁷ Aunque el umbral utilizado en esta tesis doctoral para el cálculo de los grados-día no se aplica teniendo en cuenta únicamente la temperatura media diaria, ésta sí puede considerarse válida para este ejemplo.

Ello demuestra lo inexacto que podría resultar el cálculo de las necesidades de climatización (calefacción en este caso) a partir de las temperaturas medias mensuales y, por supuesto, la conveniencia de realizar una evaluación espacial en detalle de los cambios previstos.

Los cambios en valor absoluto de los valores máximos regionales no se verán tan afectados por los valores de partida, al ser estos últimos notablemente elevados (ver figura IV.12), incluso en los meses de mayo y octubre, los más cálidos de los analizados. En el periodo de observación se modeliza para el mes de enero un valor máximo regional de 560'46 GMC, lo que supone una discrepancia media diaria de 18'08 GDC. El descenso previsto hacia finales de siglo es de entre 104'79 GMC (CNCM3_B1) y 152'55 (CNCM3_A2), suponiendo en consecuencia una caída de entre 3'38 y 4'92 GDC medios diarios. Para los meses de abril, noviembre y diciembre los escenarios de emisiones A2 prevén descensos incluso más abruptos, superando los 5 GDC medios diarios en el mismo lapso.

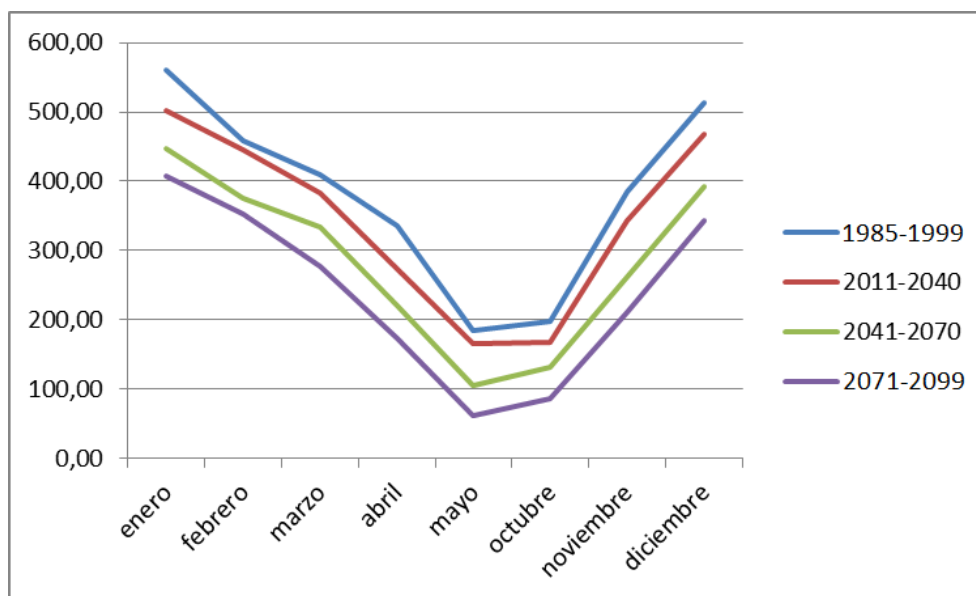


Figura IV.12. Evolución intermensual de los valores máximos regionales de GMC en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 en el escenario de emisiones A2 con respecto al periodo de observación (1985-1999).

Fuente: Elaboración propia.

Los mínimos valores regionales de GMC experimentarán variaciones discretas, o incluso nulas en aquellos meses para los que ya en el periodo de observación se prevé que algún ámbito de la región no presente necesidades de calefacción: es el caso de los meses de octubre y noviembre, y prácticamente también mayo (al

modelizarse un valor mínimo de 0'33 GMC en el periodo de referencia, que podemos considerar irrelevante). El resto de meses, partiendo en todos los casos de valores mínimos inferiores a 30 GMC, experimentarán un descenso progresivo que a finales de siglo situará los valores por debajo de entre 5 GMC (escenarios A2) y 15 GMC (escenarios B1), incluso en los meses más fríos. Descensos que, en cualquier caso, se prevén discretos, al partir de valores ya de por sí bajos.

IV.2.1.2. NECESIDADES DE REFRIGERACIÓN

El consenso hacia un progresivo aumento de las necesidades de refrigeración en todos los meses analizados es absoluto (ver figura IV.13).

A diferencia de lo que sucede con las necesidades de calefacción, en las que el mes de enero es claramente preponderante sobre el resto de meses invernales, en el caso de las necesidades de refrigeración la hegemonía estival es compartida por los meses de julio y agosto. Sus valores medios regionales en el periodo de referencia son de 173'78 GMR y 170'54 GMR, respectivamente, previéndose que a finales de siglo se sitúen entre 233'55 GMR (CNM3_B1) y 300'95 GMR (CNM3_A2) en el caso del mes de julio, y entre 229'60 GMR (CNM3_B1) y 295'61 GMR (ECHAM5_A2) en el caso del mes de agosto. Ello supondría un aumento del valor medio diario regional de entre 1'92 y 4'10 GDR en julio y de entre 1'90 y 4'03 GDR en agosto.

En el periodo de observación, los valores medios regionales en junio (86'26 GMR) y septiembre (89'90 GMC) representan aproximadamente el 50% de las necesidades de refrigeración de los meses más cálidos. En ambos casos las previsiones también apuntan a un incremento muy notable de las necesidades regionales. Tanto es así que se prevé que en el periodo 2071-2099 ambos valores se hayan incrementado entre 64'79 GMR (CNM3_B1) y 137'14 GMR (CNM3_A2) en el caso del mes de junio, y entre 59'19 GMR (CNM3_B1) y 105'85 GMR (CNM3_A2) en el mes de septiembre. Ello supone un ascenso de entre 2'16 y 4'57 GDR medios diarios en el caso de junio (mayor incluso que los meses estivales centrales), y de entre 1'97 GDR y 3'52 GDR medios diarios en el caso del mes de septiembre.

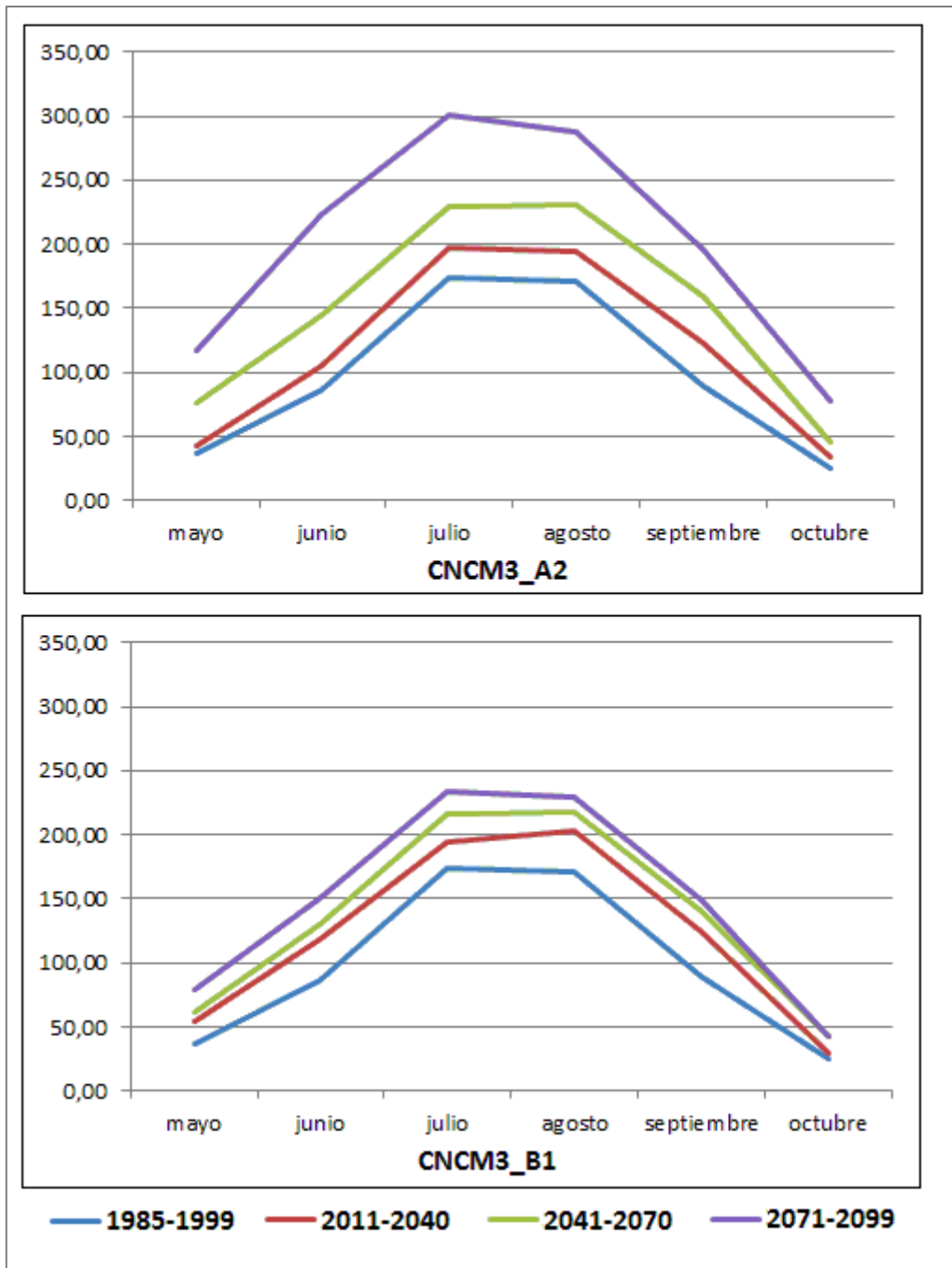


Figura IV.13. Evolución intermensual de los valores medios regionales de GMR en los trentenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999).

Fuente: Elaboración propia.

Los meses menos cálidos de los analizados experimentarán ascensos de menor envergadura. En el periodo de observación las necesidades de refrigeración medias en mayo y octubre son de 36'21 GMR y 25'04 GMR, respectivamente. A finales de siglo, el mes de mayo habrá experimentado un ascenso de entre 42'18 GMR

(ECHAM5_B1) y 81'35 GMR (CNM3_A2), y en el caso del mes de octubre de entre 17'66 GMR (ECHAM5_B1) y 55'71 (ECHAM_A2).

Según la modelización de los GAR, ningún escenario prevé que la totalidad de la región llegue a presentar necesidades de refrigeración. Por el contrario, si se atiende al análisis intermensual esta previsión es contradicha, al modelizarse valores mínimos superiores a 0 en el periodo 2071-2099 en los meses de julio y agosto según los escenarios de emisiones A2. En concreto, según estas proyecciones más extremas el valor mínimo regional en el mes de julio oscilaría entre 5'87 GMR (ECHAM5_A2) y 21'05 GMR (CNM3_A2), y en agosto entre 27'65 GMR (ECHAM5_A2) y 31'80 GMR (CNM3_A2).

IV.2.1.3. NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN

La intensidad de las necesidades de calefacción y refrigeración, así como su extensión territorial, alcanzan su máxima expresión en el corazón de las estaciones invernal y estival, respectivamente. En estas estaciones se presenta, de forma mayoritaria, uno u otro tipo de necesidades de forma prácticamente exclusiva, lo cual no es óbice para que algunos ámbitos concretos de la región puedan presentar ambos tipos de necesidades o incluso únicamente el contrario al hegemónico regional. Es el caso, por ejemplo, de las zonas más elevadas de la región, donde las necesidades de calefacción no dejan de producirse ni siquiera en el periodo más cálido del año. No obstante, su extensión territorial es tan reducida que, desde una óptica regional, no tiene demasiado sentido tener en consideración estos casos, además de que su modelización, tal y como se ha realizado en esta tesis doctoral, no es viable.

Los únicos meses del año en los que ambos tipos de necesidades coexisten de una forma más o menos significativa son mayo y octubre. Por ello tiene sentido obtener los valores medios regionales de GMCL de ambos meses en los escenarios futuros, con el objetivo de valorar su evolución a lo largo del presente siglo (ver figura IV.14).

Para el mes de octubre todas las previsiones apuntan a un descenso de las necesidades de climatización en el periodo 2011-2040, mientras que para el mes

de mayo únicamente la proyección CNCM3_A2 prevé esta posibilidad. Con posterioridad, la tendencia mayoritaria en ambos meses es ascendente, aunque con especial intensidad en el mes de mayo, para el que la proyección de mayor cambio prevé un incremento de más del 75% con respecto al valor medio regional inicial, obviamente generado por un ascenso muy notable de las necesidades de refrigeración. La proyección CNCM3_B1, que prevé cambios muy poco significativos para el mes de octubre, predice para el último tramo de siglo un ligero descenso de la climatización regional con respecto al treintenio anterior; esta situación se produciría por el estancamiento en el ascenso de la refrigeración que esa proyección espera para ese mes a finales de siglo.

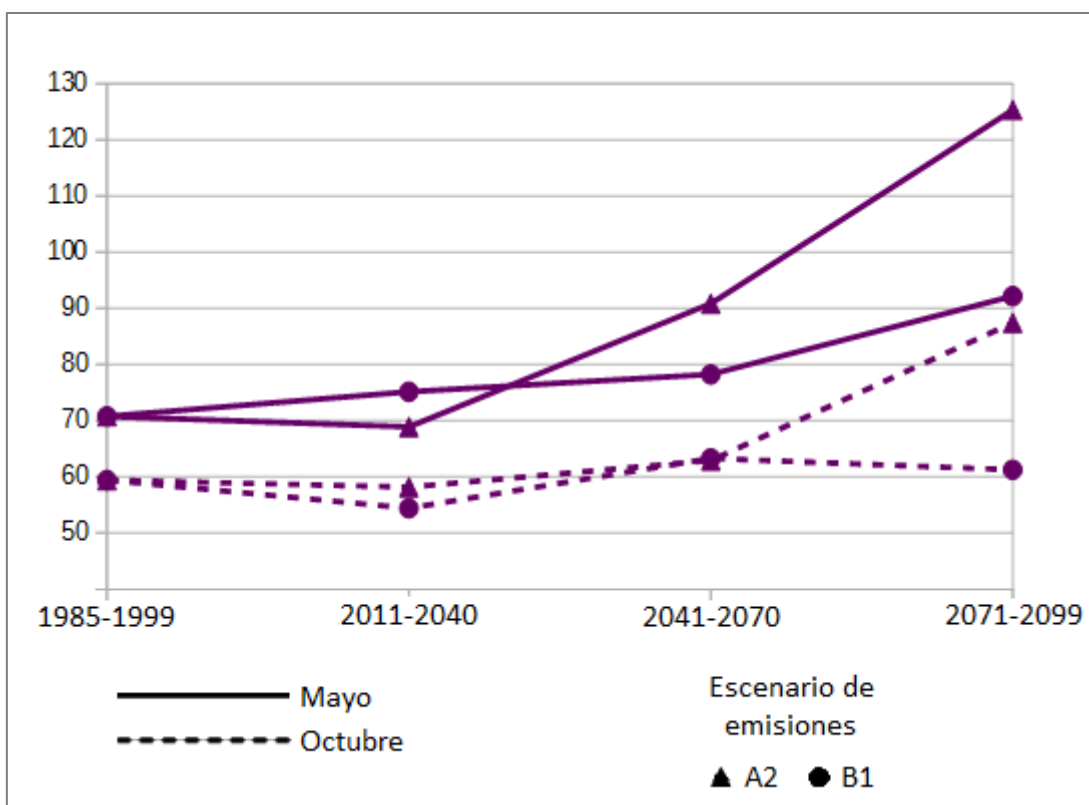


Figura IV.14. Evolución de los valores medios regionales de GMCL de los meses de mayo y octubre, en los trentenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999).

Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2 EVALUACIÓN A ESCALA DE DETALLE TERRITORIAL

Habiendo analizado la evolución intermensual de los valores regionales de GMC, GMR y GMCL se han puesto de relieve las principales tendencias previstas de las necesidades de climatización intra-anales en Andalucía.

La envergadura de los cambios previstos en valor absoluto presenta una relación directa con los valores de grados-mes observados. Por lo tanto, en lo que respecta a las necesidades de calefacción se prevén mayores descensos en los meses puramente invernales (especialmente en enero), así como en los ámbitos de mayor altitud de la región. Por el contrario, en los meses menos fríos y en los ámbitos de litoral se experimentarán descensos menos significativos.

Los mayores ascensos de las necesidades de refrigeración se producirán en el núcleo estival, en zonas de baja altitud y continentalidad elevada. Por el contrario, en los meses menos cálidos y en los ámbitos de alta montaña se experimentarán cambios menos significativos, o incluso inexistentes.

IV.2.2.1. NÚCLEO INVERNAL

En el periodo comprendido entre diciembre y abril (ambos inclusive) cualquier zona de la región presenta necesidades de calefacción, situación que según los escenarios de mayor cambio acabará ciñéndose a los meses de enero, febrero y marzo a finales de siglo.

Este pronóstico intermensual contradice en alguna medida lo modelizado por la estimación anual derivada de la proyección ECHAM5_A2, según la cual se espera que a finales de siglo una estrecha franja costera no presente necesidades de calefacción en ningún momento del año. En cualquier caso, los valores previstos de GMC en la franja costera son, incluso en los meses más fríos, muy reducidos (cerca de cero), y por lo tanto las diferencias entre la estimación anual e intermensual no son más que matices derivados de la modelización, por lo que en realidad se valida el hecho de que las necesidades de calefacción en la costa, siendo en la actualidad muy reducidas (inferiores a 30 GMC en enero, el mes más frío), tendrán tendencia a desaparecer.

El mes que presenta mayores necesidades de calefacción en todos los ámbitos es enero (ver figura IV.15), y es también para el que todas las proyecciones prevén un mayor descenso de los valores de GMC (ver figura IV.16).

En el periodo de observación, los ámbitos que se encuentran por encima de 900-1200 msnm (dependiendo del mayor o menor grado de continentalidad, respectivamente) presentan unas necesidades de calefacción superiores a 250 GMC, afectando prácticamente al 15% del territorio andaluz. A finales de siglo está previsto que sólo entre el 0'82% (CNCM3_A2) y el 2'42% (CNCM3_B1) de la región presente estos valores, ciñéndose a ámbitos por encima de 1500-1700 msnm (CNCM3_B1) o 1800-2000 msnm (CNCM3_A2).

En los meses de diciembre y febrero se sitúan por encima de 250 GMC sólo el 5'85% y el 3'00% de la región, respectivamente. En ambos casos, a pesar de que los cambios previstos en la superficie afectada son muy inferiores a los que se producen en enero, la cota altitudinal donde se presentarán estas necesidades energéticas tan elevadas sí se incrementará en una magnitud similar: entre 600 (CNCM3_B1) y 800 (CNCM3_A2) msnm., aproximadamente, hacia finales de siglo. En este sentido, la progresiva reducción de los ámbitos con necesidades de calefacción de este calibre en los meses de marzo, abril y noviembre tendrá un efecto similar: escasa variación territorial, al partir en todos los casos de menos del 1% de la superficie regional, pero gran variación altitudinal.

El litoral es el único ámbito donde los valores se sitúan por debajo de 50 GMC, representando un porcentaje de la región muy bajo (0'12%). El escenario de mayor cambio (CNCM3_A2) prevé que a finales de siglo esta situación afecte ya a más del 10% de la región, siempre en zonas de baja altitud con una cierta influencia marítima. En el caso de la proyección más moderada (CNCM3_B1) este umbral se extendería de forma mucho más leve, limitándose a zonas costeras. En este mes únicamente la proyección ECHAM5_A2 prevé que a finales de siglo las zonas de costa deje de presentar necesidades de calefacción; el resto de proyecciones modelizan valores muy bajos, que pueden considerarse irrelevantes.

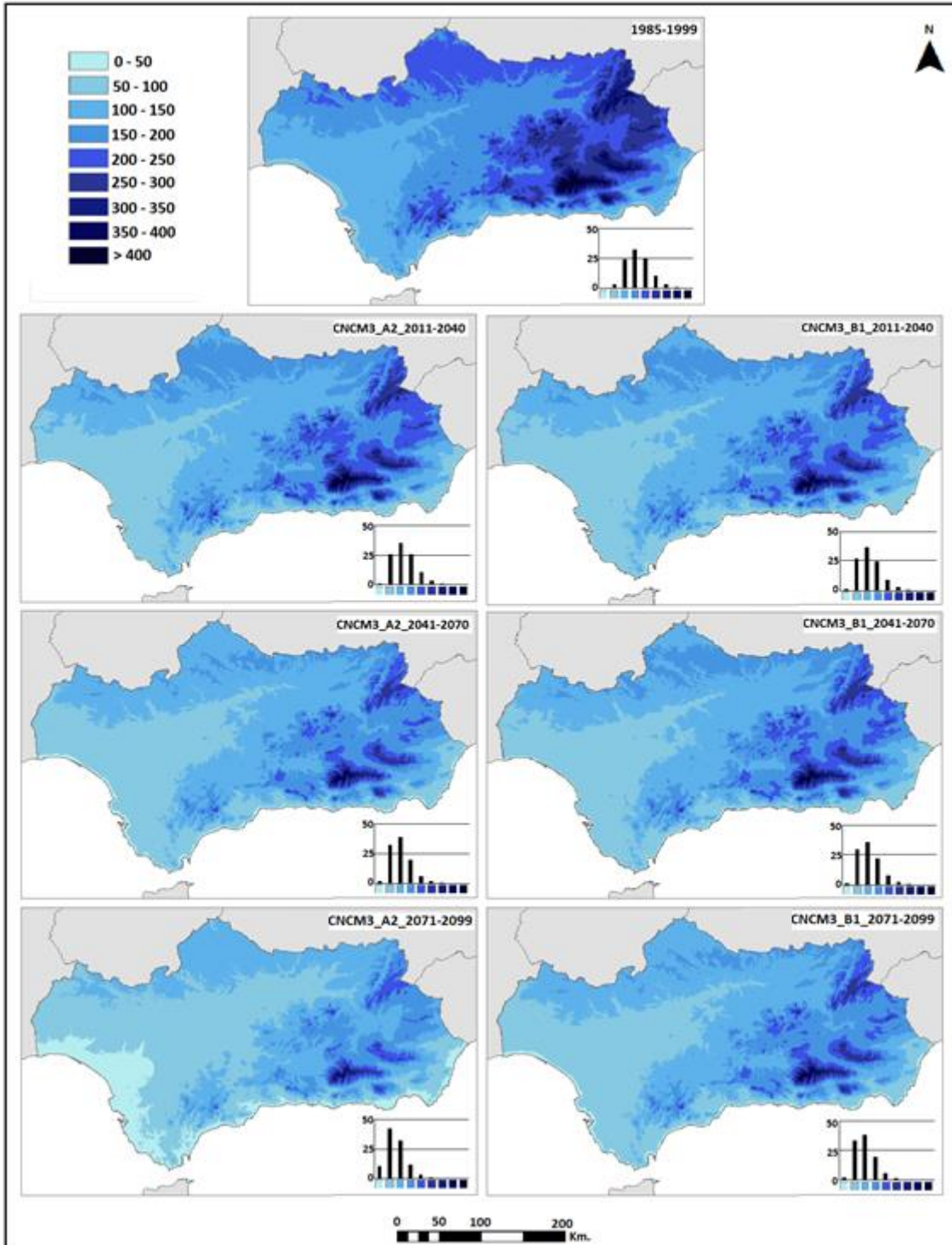


Figura IV.15. Distribución de los valores de GMC en el mes de enero en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

Según la proyección de mayor cambio (CNCM3_A2), más del 85% de la región habrá sufrido un descenso superior a 70 GMC a finales de siglo, produciéndose en cualquier zona con una distancia al mar superior a 25 kilómetros (ver figura 21). Según esta proyección, en altitudes superiores a 800-1500 msnm (dependiendo de la mayor o menor continentalidad, respectivamente), el descenso a finales de siglo superaría los 100 GMC, una diferencia en el valor medio diario de como mínimo 3'23 GDC. La proyección CNCM3_B1, en cambio, prevé que los descensos superiores a 70 GMC se produzcan precisamente a partir de estas altitudes.

Las zonas que experimentarán cambios más tenues son las que tienen una mayor influencia marítima. Esta influencia, al disminuir exponencialmente a medida que aumenta la distancia a la costa, impide que existan zonas muy extensas con reducciones leves de los valores de GMC. De hecho, sólo entre el 0'22% (CNCM3_A2) y el 1'68% (CNCM3_B1) del territorio vería reducidas las necesidades de calefacción en valores inferiores a 40 GMC (1'29 GDC medios diarios) a final de siglo, correspondiéndose estrictamente con zonas de litoral.

Estos resultados nos dirigen hacia la conclusión de que, si bien el descenso que se va a producir en todos los meses va a ser significativo, especialmente notable en el mes de enero, es tal el protagonismo actual de las necesidades de calefacción que, a pesar del incremento de temperaturas previsto, en la mayor parte de la región se seguirá produciendo una demanda energética significativa motivada por la calefacción en el periodo más frío del año, a excepción de la franja costera donde, por otra parte, la situación actual es ya bastante liviana.

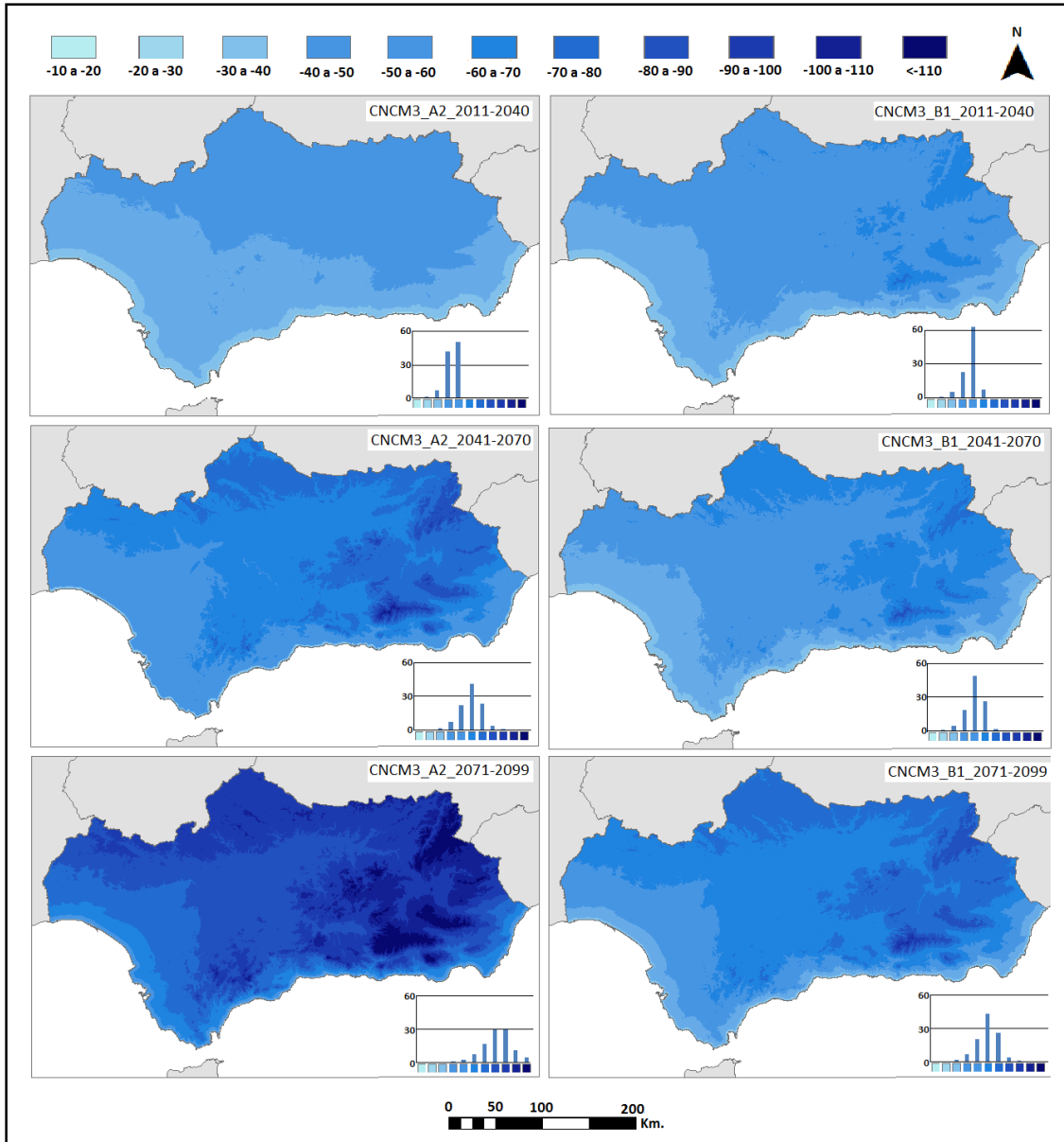


Figura IV.16. Variación absoluta de las necesidades de calefacción en el mes de enero en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2.2. NÚCLEO ESTIVAL

En los meses de julio y agosto prácticamente toda la región (el 99'7%) presenta necesidades de refrigeración (ver figura IV.17). Únicamente los ámbitos que se sitúan por encima de 2.500 msnm en la Cordillera Penibética están libres de este tipo de necesidades. Por lo tanto, la ausencia de necesidades de refrigeración a día de hoy en los meses más cálidos es ya muy residual en la región, y es esperable que progresivamente quede totalmente reducida (escenarios A2) o circunscrita a las cumbres más elevadas de Sierra Nevada (escenarios B1). Las previsiones de los escenarios A2 para estos dos meses, por lo tanto, contradicen las estimaciones anuales, según las cuales no se prevé que toda la región llegue a presentar necesidades de refrigeración.

En ambos meses, más del 75% de la región presenta valores superiores a 150 GMR, umbral que no se supera ni en junio ni en septiembre. Por debajo de este valor se sitúan el litoral y sus sierras cercanas, la Cordillera Penibética, y por encima de 1000 msnm en el extremo nororiental de Andalucía. A finales de siglo, prácticamente la totalidad de la región (más del 95% según escenarios B1, más del 99% según escenarios A2) superará este umbral en ambos meses. De hecho, el umbral de 250 GMR, que en el periodo de observación no se alcanza en ningún punto, se superará en alrededor del 40% de la región según los escenarios más benevolentes, y en más del 85% del territorio según el escenario más extremo (CNCM3_A2). En las zonas más deprimidas del Valle del Guadalquivir, donde habitualmente se alcanzan los valores de temperatura máxima más extremos de la región y de la Península Ibérica, se llegarán a superar los 350 GMR, una discrepancia media diaria con respecto a la temperatura de base superior a 10 GDR, afectando a prácticamente el 10% del territorio andaluz. Para encontrar semejante discrepancia con la temperatura de referencia en el caso de las necesidades de calefacción, en el periodo de observación deberíamos situarnos en zonas superiores a 2.000 msnm en la Cordillera Penibética, y a finales de siglo, según la proyección CNCM3_A2, por encima de 3.000 msnm. Se trata, por tanto, de valores muy extremos de refrigeración que, además, afectarán a amplias extensiones de territorio, a diferencia de los valores más elevados de GMC.

En la franja costera, en cambio, ni siquiera el peor de los escenarios prevé que en julio o agosto se superen los 125 GMR, habiendo sufrido un ascenso bastante moderado desde los algo más de 60 GMR que se modelizan en el periodo de observación. Por lo tanto, si bien estos valores se modelizan en una franja territorial muy estrecha, puesto que pocos kilómetros hacia el interior la situación es radicalmente distinta, parece evidente que en el núcleo estival se trata de un ámbito menos vulnerable que la gran mayoría de la región ante la subida de temperaturas esperada, gracias sin duda a la influencia suavizadora del mar. De hecho, a finales de siglo sólo las zonas de alta montaña (por encima de 2.200 msnm) presentarán necesidades de refrigeración de menor entidad.

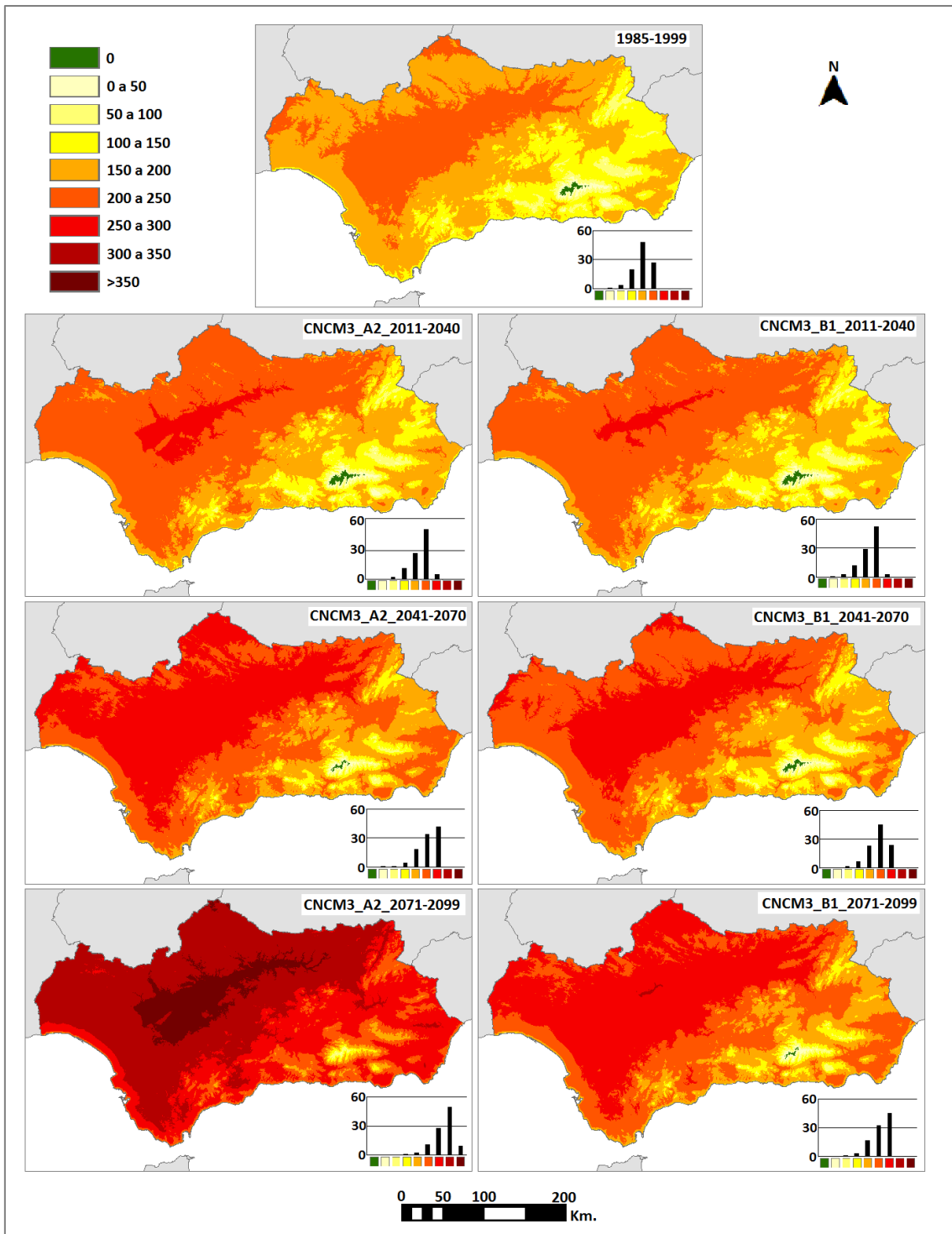


Figura IV.17. Distribución de los valores de GMR en el mes de julio en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

No existen demasiadas diferencias en la magnitud de los ascensos previstos en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. El mes para el que se prevén cambios de mayor magnitud es junio, en el que según la proyección más extrema (CNCM3_A2)

a finales de siglo se habrán producido ascensos de más de 150 GMR (5 GDR medios diarios) en el 30'81% de la región, una dimensión de cambio no prevista para ningún ámbito en cualquier otro mes. De igual forma sucedería según el escenario más moderado (CNCM3_B1), que prevé que el 45'84% de la región haya sufrido ascensos de más de 70 GMR, frente al 17'57% del mes de septiembre, el 0'03% del mes de julio, o la inexistencia de zonas con semejante evolución en el mes de agosto.

El aumento de las necesidades de refrigeración previsto es especialmente preocupante en el caso de los meses de julio y agosto, al partir de valores notablemente más elevados que el mes de junio. La proyección más optimista (CNCM3_B1) prevé que el 98'93% de la región haya aumentado entre 40 y 70 GMR (un 56'31% entre 60 y 70 GMR) en el mes de julio (ver figura IV.18), mientras que según la proyección más pesimista (CNCM3_A2) se espera que el 98'45% de la región haya aumentado como mínimo 100 GMR (3'23 GDR medios). El 45'90% de la región habrá aumentado entre 130 y 140 GMR, cambios muy notables que no sólo se producirían en las zonas más deprimidas del valle del Guadalquivir, sino que afectarían a ámbitos de hasta 700-800 msnm del interior de la región (Sierra de Huelva, Sierra Morena, etc.). Todos los escenarios prevén que los aumentos, aunque ligeramente inferiores, sean de un orden similar en el mes de agosto.

Estas previsiones tan poco alentadoras constituyen una información valiosa para la planificación energética de la región, que deberá enfocarse hacia la asunción de un progresivo ascenso de la demanda eléctrica especialmente notable en el núcleo estival. En este sentido, la apuesta por la desestacionalización del turismo, que en la actualidad se concentra en los meses de julio y agosto, puede representar un factor atenuante de esta presión tan elevada sobre los recursos energéticos, además de los conocidos beneficios económicos, sociales y medioambientales que ello supondría.

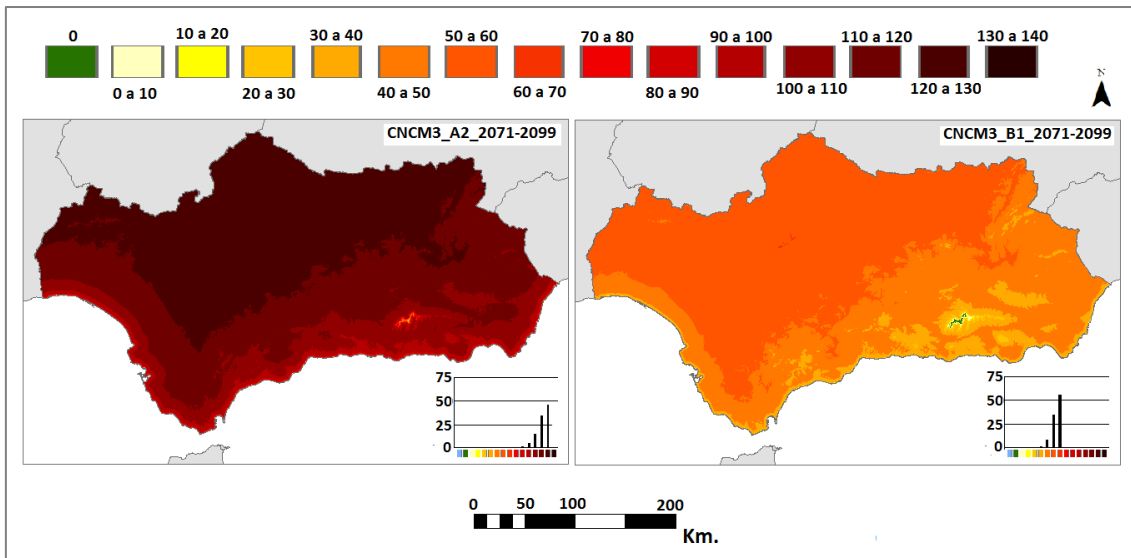


Figura IV.18. Variación absoluta de las necesidades de refrigeración en el mes de julio en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2.3. PERIODOS DE TRANSICIÓN

Los cambios que el incremento de temperaturas causará en las necesidades de calefacción y refrigeración en los meses de transición (fundamentalmente mayo y octubre) serán bastante más leves que los previstos para los meses puramente invernales o estivales. No obstante, se prevé que en la globalidad del periodo 2011-2099 las variaciones en las intra-estaciones sean significativas, constatándose la progresiva contracción del periodo intra-anual en el que se necesitará calefacción, así como la creciente dilatación del periodo en el que será necesaria la refrigeración.

Uno de los cambios más destacados que se producirá en los meses de mayo y octubre es el progresivo incremento de la superficie libre de necesidades de calefacción. En el periodo de observación prácticamente cualquier zona de la región presenta valores de GMC (a excepción de la línea de costa en el mes de octubre), aunque muy reducidos en la mayoría de zonas. De hecho, en estos meses más del 75% de la región se encuentra por debajo de 50 GMC.

A finales de siglo, entre el 8'46% (CNCM3_B1) y el 15'00% (CNCM3_A2) de la región no presentaría necesidades de calefacción en el mes de mayo, porcentajes que incluso serían superiores en el mes de octubre (entre el 8'97% y el 19'64%,

según las mismas proyecciones). Esta situación afectaría a zonas por debajo de entre 50 msnm (CNCM3_B1) y 120 msnm (CNCM3_A2), por lo que, especialmente en el caso del escenario más extremo, ocuparían gran parte de las campiñas gaditana y sevillana y las zonas más deprimidas de la provincia de Córdoba, además de, por supuesto, el litoral andaluz (ver figura IV.19).

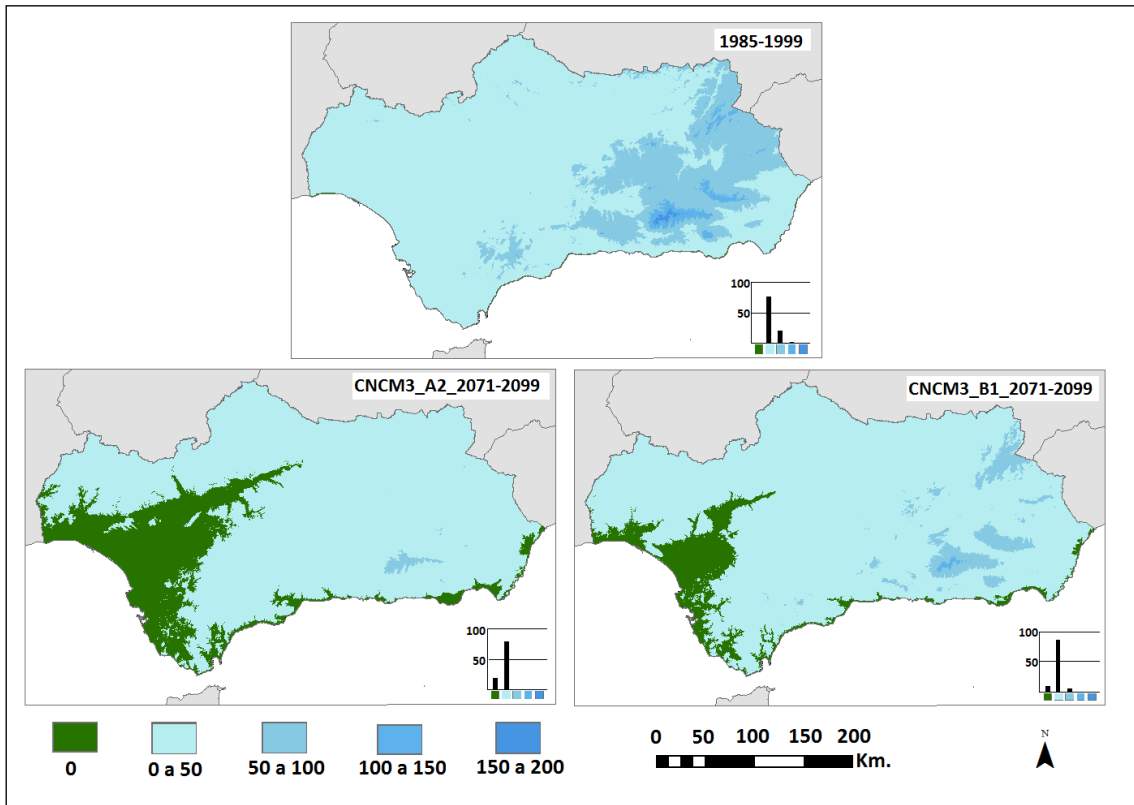


Figura IV.19. Necesidades de calefacción en el mes de octubre en el periodo de referencia y en el periodo 2071-2099 según el MCG CNCM3_A2 a tenor de los escenarios de emisiones A2 y B1. Fuente: Elaboración propia.

El descenso de GMC que se producirá en estas zonas para que dejen de presentarse necesidades de calefacción será realmente muy leve, inferior a 10 GMC de forma mayoritaria (ver figura IV.20). Estas zonas, por lo tanto, al presentar valores tan reducidos de GMC en el periodo de observación, apenas verían reducidas sus necesidades de calefacción en este mes a pesar del incremento de temperaturas previsto (no existe margen de cambio). Sin embargo, en las zonas más elevadas de la región el descenso previsto superará incluso los 110 GMC según la proyección de mayor cambio. Sin duda, éste es un ejemplo evidente de la gran disparidad de los efectos que el incremento de temperaturas producirá sobre las necesidades de climatización de la región.

Es evidente que en muchos ámbitos, fundamentalmente de litoral o baja altitud, el inicio del periodo de calefacción se retrasará hasta entrado el mes de noviembre, y cesará antes de llegar el mes de mayo. De hecho, el mes de abril, que en el periodo de observación presenta menos del 30% del territorio por debajo de 50 GMC (zonas inferiores a la cota 200 msnm), verá incrementado en gran medida el porcentaje de territorio con estas necesidades de calefacción tan reducidas; a finales de siglo se situarían por debajo de este umbral entre el 67'10% (CNCM3_B1) y el 84'18% (CNCM3_A2) del territorio, implicando a todas aquellas zonas situadas por debajo de entre 600 y 900 msnm.

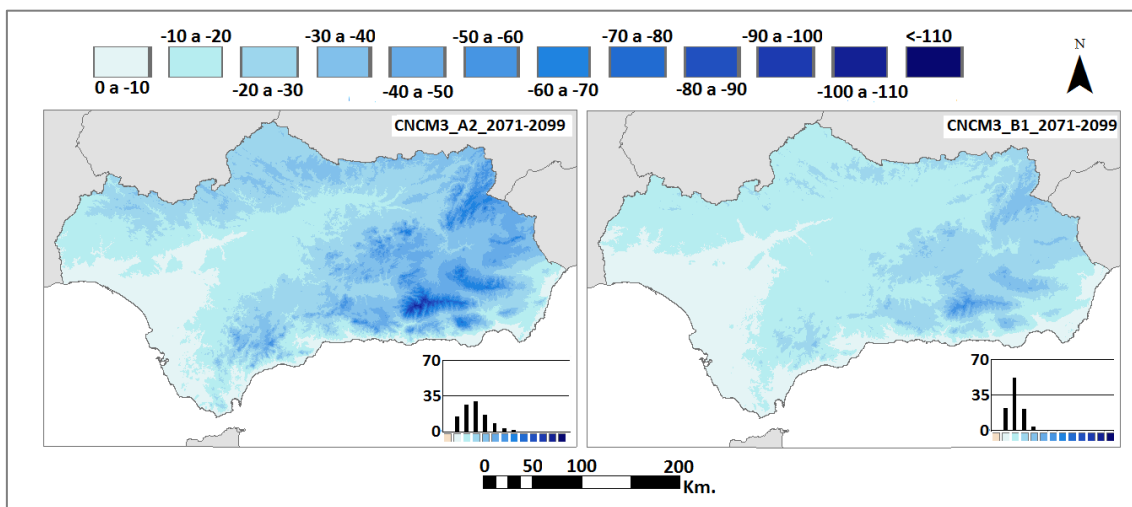


Figura IV.20. Variación absoluta de las necesidades de calefacción en el mes de octubre en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades de refrigeración se presentan de forma incipiente a partir del mes de mayo en prácticamente toda la región, a excepción de las zonas superiores a 1.500-1800 msnm (dependiendo de la mayor o menor influencia marítima, respectivamente). En las zonas más deprimidas del Valle del Guadalquivir se superan ligeramente los 50 GMR, aunque en la mayoría del territorio los valores son muy leves. El aumento previsto de los valores de GMR hacia finales de siglo es notable (ver figura IV.21), especialmente en el caso de lo previsto por los escenarios de emisiones A2. Según el escenario de mayor cambio (CNCM3_A2), en el periodo 2071-2099 casi toda la región presentará valores superiores a 50 GMR, y prácticamente el 20% del territorio estará por encima de 150 GMR, umbral que en el periodo de observación sólo se supera en los meses de julio y agosto.

Lógicamente, la extensión de las zonas sin necesidades de refrigeración irá reduciéndose paulatinamente, quedando reducidas a zonas de alta montaña.

Para el mes de octubre no se prevé un incremento tan intenso como en mayo, pero en cualquier caso la tendencia apunta hacia una dilatación del periodo en el que será necesaria la refrigeración, de manera que abril y noviembre acabarán cogiendo el testigo de los meses con necesidades de refrigeración incipientes y residuales, respectivamente.

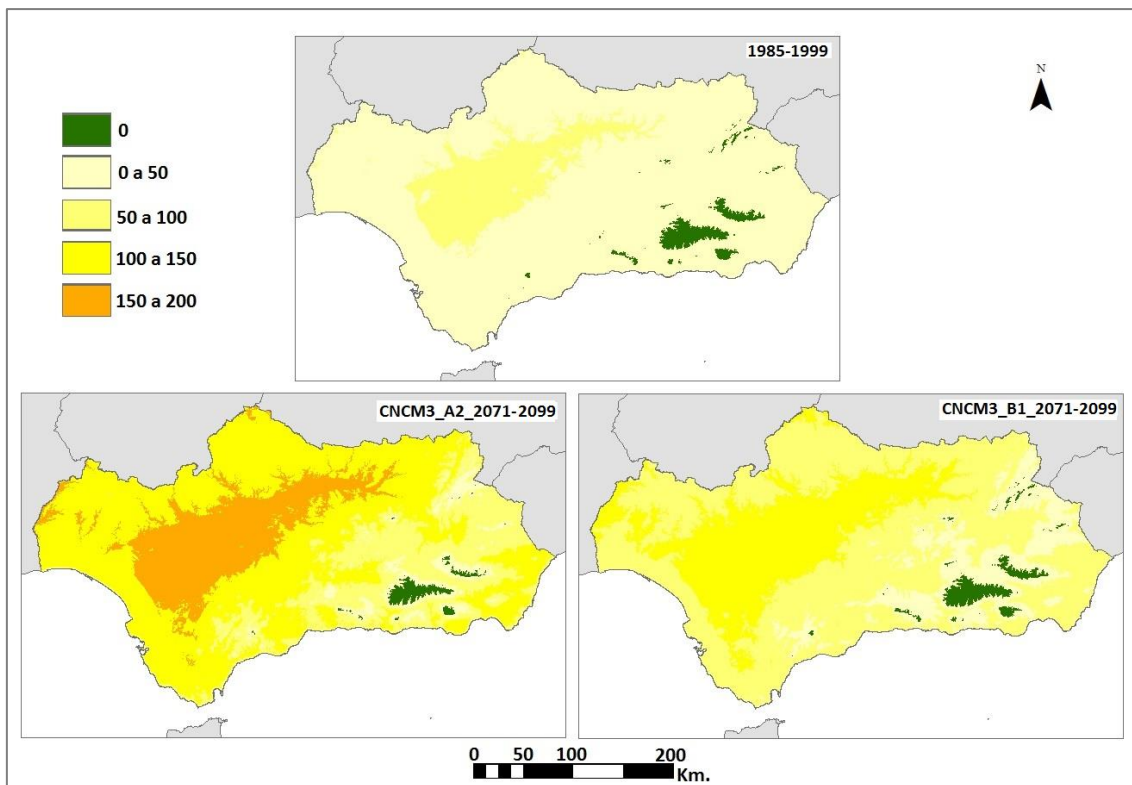


Figura IV.21. Distribución de los valores de GMR en el mes de mayo en el periodo 1985-1999, y en el periodo 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.
Fuente: Elaboración propia.

IV.3. LA DIMENSIÓN POBLACIONAL EN LA EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN

Algunos de los cambios previstos más significativos de las necesidades de calefacción y refrigeración se producirán en ámbitos escasamente poblados, por lo que no tendrán una incidencia significativa en términos de demanda energética real. Ello motiva que, con el objetivo de realizar una estimación más realista de la posible evolución de ésta, se deba tener en cuenta la distribución espacial de la población.

Todos los trabajos en los que se utiliza la población como variable explicativa de la demanda energética por climatización utilizan datos puntuales tanto en la dimensión climática (cálculo de grados-día sobre observatorios) como en la poblacional (número de habitantes de ciudades o demarcaciones territoriales). Por otra parte, en ninguna de las pocas investigaciones en las que se ha especializado la variable grados-día se ha tenido en cuenta cómo se distribuye la población en el territorio.

Con el objetivo de obtener una estimación más realista de la evolución de las necesidades de climatización regionales, además de haber espacializado la información climática se ha utilizado una fuente que trata la información poblacional de manera continua: el grid de distribución espacial de la población en Andalucía.

IV.3.1. GRID DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN EN ANDALUCIA

Las estadísticas socioeconómicas suelen recogerse según determinados límites administrativos (provincias, municipios, secciones censales, etc.). Es el caso de la población, que tradicionalmente se ha representado mediante mapas en los que se asume que los habitantes se distribuyen de manera uniforme en cada demarcación territorial (ver figura IV.22), algo que no suele corresponderse con la realidad.

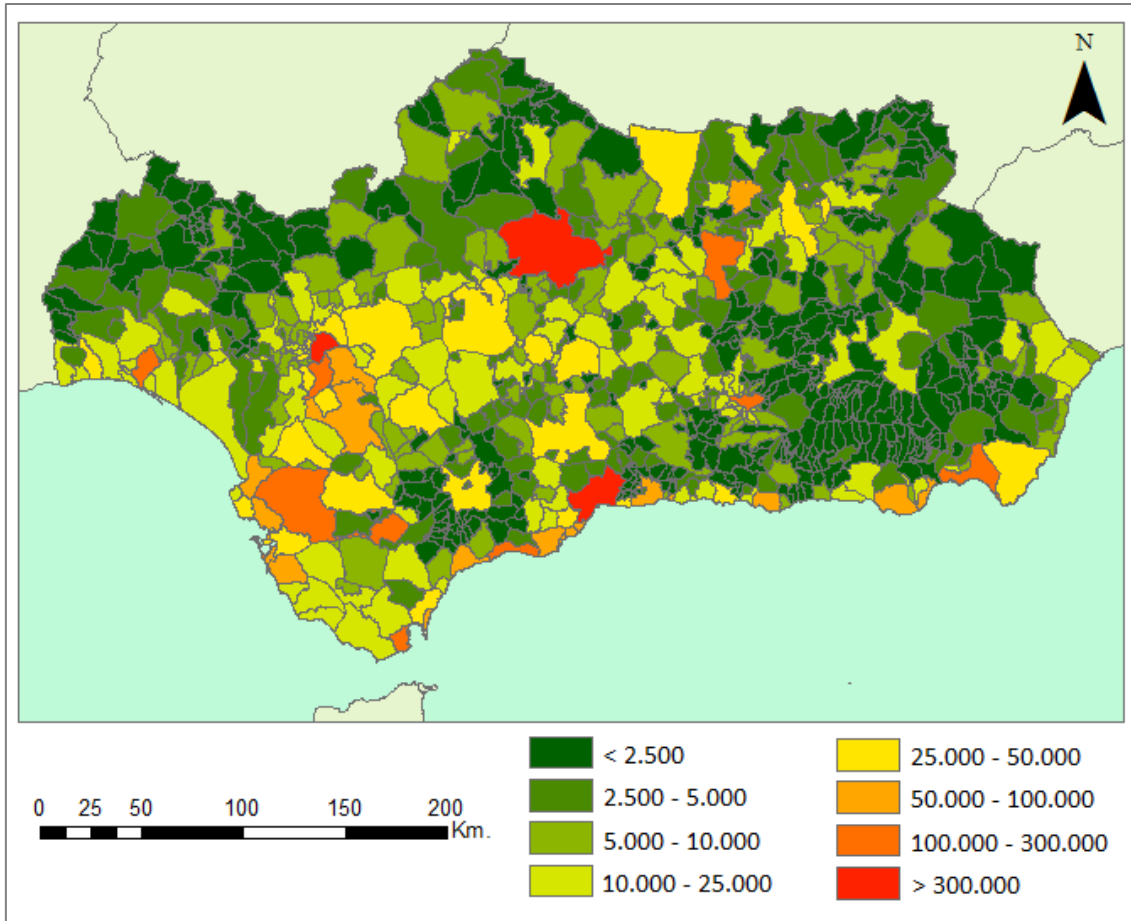


Figura IV.22. Mapa coroplético de la distribución de la población en los municipios de Andalucía a fecha de 1 de enero de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de solventar estas carencias surge la necesidad de representar la distribución espacial de la población sin tener en cuenta los límites administrativos. A nivel europeo, la organización European Forum for Geography and Statistics (EFGS), apoyada por Eurostat (Oficina Europea de Estadística) y constituida por distintos institutos nacionales de estadística de países de la Unión Europea, tiene entre sus objetivos armonizar las estadísticas europeas sobre la base de un grid de 1 x 1 kilómetros en un sistema geodésico de referencia común, siendo la población la primera variable representada a esa escala de detalle para la mayoría de países de la Unión Europea.

Persiguiendo la filosofía de trabajo marcada por la EFGS, el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA) recientemente ha generado un grid en el que se

representa la distribución espacial de la población en Andalucía en celdas de 250 metros de resolución. Para hacerlo se utilizó la Base de Datos Longitudinal de Población de Andalucía (BDLPA), que proporciona una dirección postal para cada residente, y el Callejero Digital de Andalucía Unificado (CDAU), que dispone de todos los portales con su dirección postal georreferenciada y que, por lo tanto, es la fuente de referencia a partir de la que pueden obtenerse las coordenadas para cada dirección postal de la BDLPA. De esta manera, enlazando ambas fuentes de información se consigue que cada portal georreferenciado disponga, además, del número de habitantes que residen en él, así como de otras variables demográficas de interés (población según intervalos de edad, según nacionalidad, etc.). Posteriormente, esos portales se agruparon en celdas de 250 metros, de manera que cada una de ellas ofrece la información agregada de todos los portales con los que coincide espacialmente. Mediante este proceso (enfoque *bottom-up*) se ha conseguido localizar a más del 97% de la población andaluza (ver figura IV.23). La población que no ha podido ser georreferenciada mediante el enfoque *bottom-up* se ha estimado para cada celda utilizando información auxiliar procedente de la BDLPA, del Catastro de Urbana y de la base cartográfica de secciones censales (enfoque *top-down*).

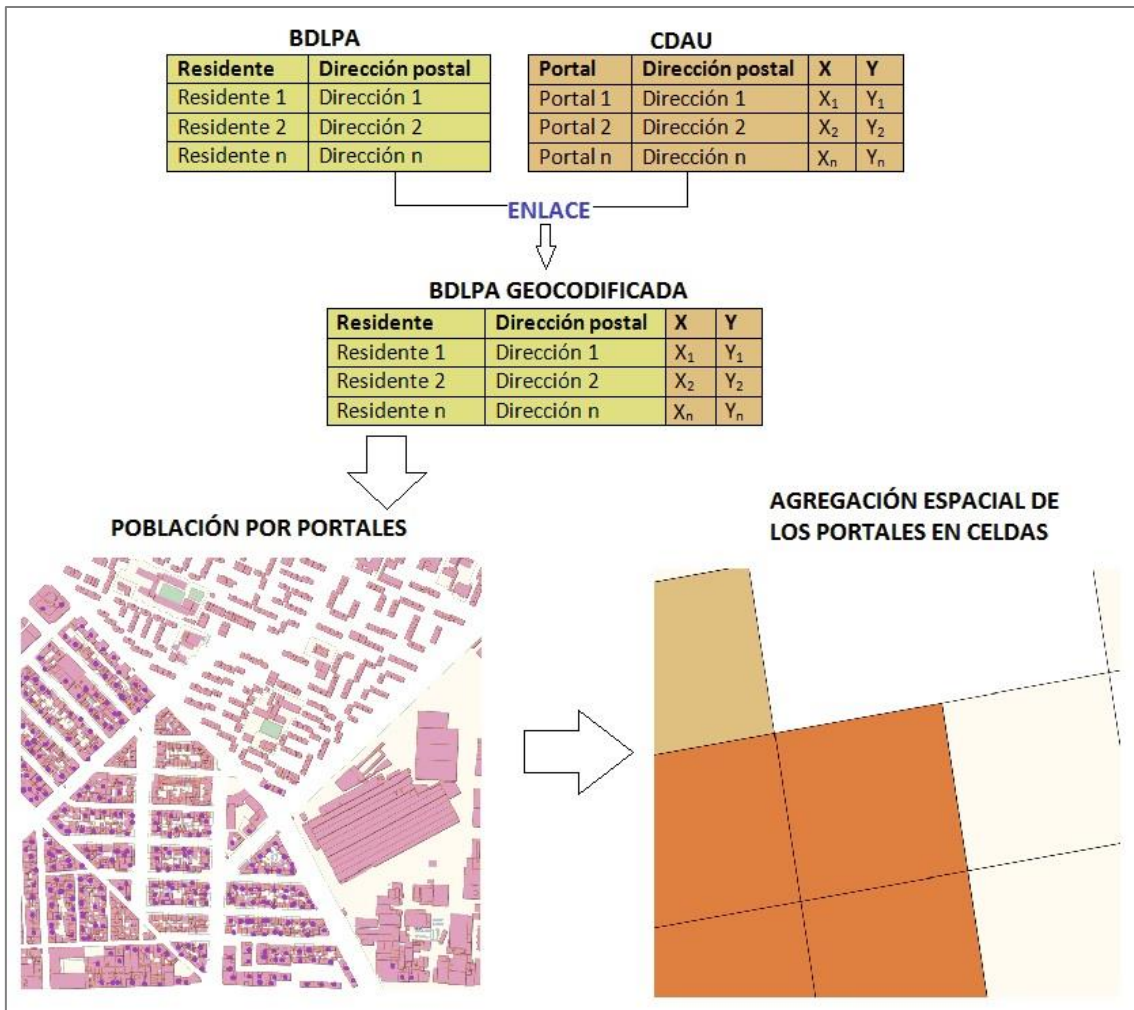


Figura IV.23. Proceso de obtención de las celdas del GRID de población según el enfoque bottom-up. Fuente: Elaboración propia

El grid de población dispone de 48.187 celdas, cuya resolución de 250 metros garantiza la confidencialidad de la información. Siguiendo este objetivo de secreto estadístico, aquellas celdas (10.769) cuya población es menor a 5 habitantes se ofrecen mostrando el valor -1. El resto de celdas (37.418) suman 8.404.003 habitantes, siendo el dato total de población de Andalucía de 8.429.088 habitantes⁸. Por lo tanto, 25.085 habitantes se reparten en las 10.769 celdas protegidas por el secreto estadístico. Con la finalidad de trabajar con toda la población, y evitar que los valores negativos alteren los resultados de la ponderación, a cada celda protegida se le ha asignado un valor de 2'32937 (25.085 habitantes / 10.769 celdas).

⁸ Población a 1 de enero de 2013 según la Base de Datos Longitudinal de Población de Andalucía. Dato solicitado al IECA.

IV.3.2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN

La población andaluza se concentra en el litoral y en las capitales de provincia, que en general se sitúan en zonas de baja altitud. A fecha de 1 de Enero de 2014, algo más del 30% de la población residía a menos de 5 kilómetros de la línea de costa, y casi el 70% lo hacía en altitudes inferiores a 200 msnm (ver tabla IV.6). Es evidente, entonces, que la mayor parte de la población andaluza estará sometida a las necesidades de climatización y a los cambios propios de las zonas con una cierta influencia marítima y/o de baja altitud, ejerciendo un peso preponderante sobre la demanda regional por necesidades de climatización.

RANGO ALTITUDINAL (msnm)	% POBLACIÓN REGIONAL	RANGO DISTANCIA AL MAR (Km.)	% POBLACIÓN REGIONAL
< 200	68,69	< 5	30,22
200 - 500	11,66	5 - 20	11,89
500 - 1.000	18,90	20 - 50	12,72
1.000 - 1.500	0,79	50 - 100	29,28
> 1.500	0,0085	> 100	15,89

Tabla IV.6. Distribución de la población andaluza según altitud y distancia al mar.
Fuente: Elaboración propia

La gran mayoría de la población se sitúa en ámbitos donde a finales de siglo se habrá producido un incremento de las necesidades de climatización (ver figura IV.24). Según la proyección de mayor cambio, más del 99% de la población andaluza se encuentra en esta situación y, de hecho, más del 20% se vería sometida a un incremento de las necesidades de climatización superior al 50% (ver tabla IV.7), tasas de cambio que se prevén únicamente para las poblaciones situadas en la costa. En ciudades muy pobladas como Sevilla o Córdoba las necesidades globales de climatización se incrementarían en más de un 30%. Si bien los porcentajes de aumento previstos por la proyección más moderada (CNCM3_B1) son menores, es destacable que incluso en este caso prácticamente el 85% de la población se vería afectada por un incremento de las necesidades de climatización.

Los ámbitos de la región que en el conjunto del periodo 2011-2099 saldrán beneficiados del incremento de temperaturas previsto se sitúan en zonas de considerable altitud, en las que apenas existe población. De todas formas, existen

diferencias apreciables entre las proyecciones de mayor y menor cambio: según la proyección CNCM3_A2, menos del 1% de la población regional se vería afectada por una disminución de las necesidades de climatización, mientras que según la proyección CNCM3_B1 este escenario beneficiaría a algo más del 15%.

Esta situación implica que, según la proyección más moderada, en la conurbación de Granada y algunas ciudades medianas situadas en altitudes superiores a 600 msnm (Aracena, Pozoblanco, Cazalla de la Sierra, Úbeda, Ronda...) la población se vería beneficiada por el incremento de temperaturas a finales de siglo, aunque en estos casos el descenso de la climatización sería tenue. En cambio, atendiendo a la proyección más extrema, incluso en ciudades como Baza o Guadix, conocidas por ser de las más frías de la región, las necesidades de climatización globales se habrían visto incrementadas en ese mismo lapso temporal. Según esta proyección de mayor cambio, únicamente poblaciones como Chirivel (Almería) o Santiago-Pontones (Jaén), situadas a más de 1.000 msnm, verían reducidas sus necesidades de climatización a finales de siglo, debido a un descenso de la calefacción superior al incremento de la refrigeración.

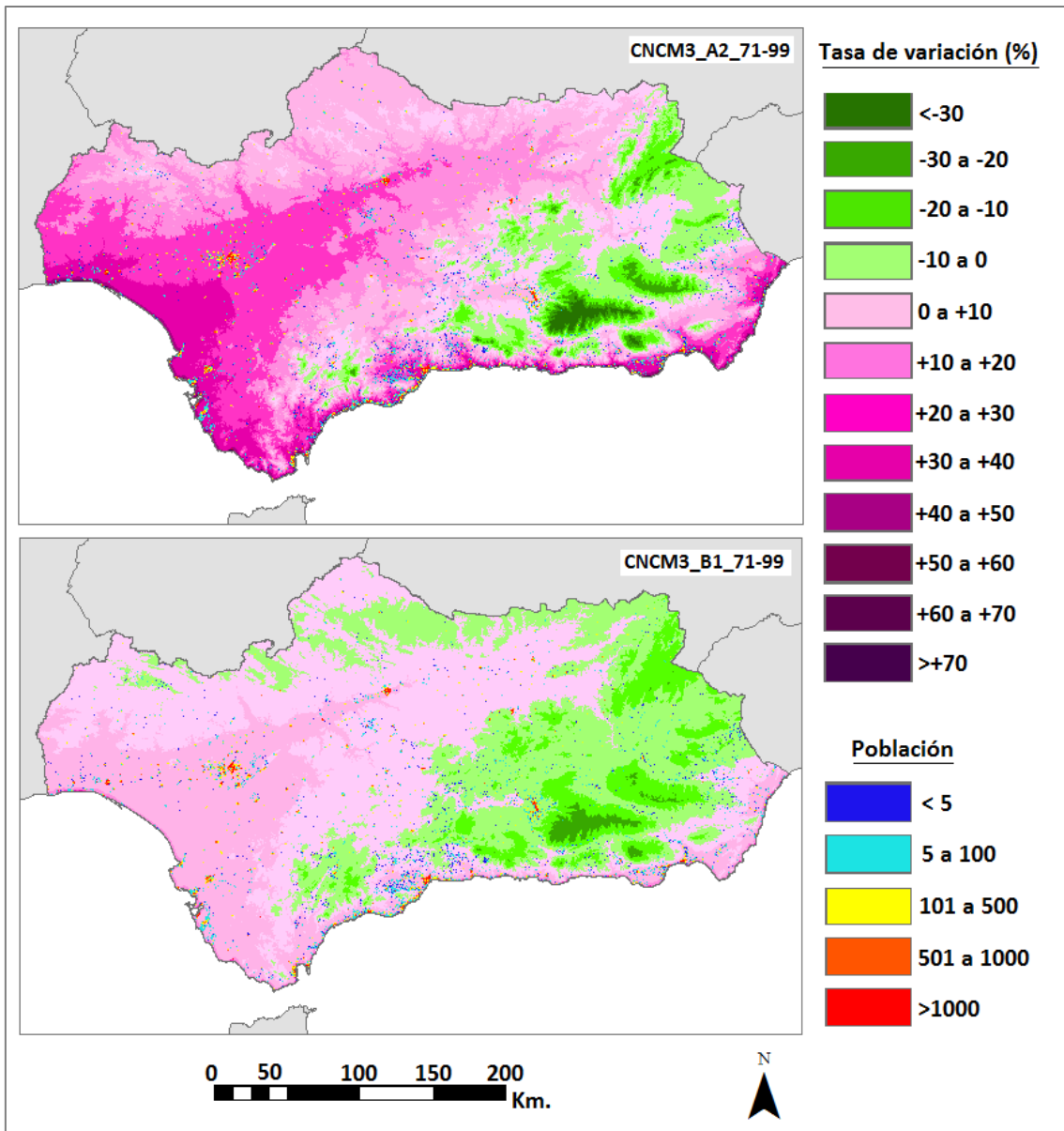


Figura IV.24. Distribución espacial de la población (GRID) en Andalucía y tasa de variación (%) de las necesidades de climatización en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo de observación según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

	CNCM3_A2	CNCM3_B1
Tasa de cambio (%)	% población	% población
<-30	0,0	0,0
-30 a -20	0,0	0,0
-20 a -10	0,1	0,3
-10 a 0	0,8	15,0
0 a +10	9,8	18,0
+10 a +20	12,6	46,8
+20 a +30	7,7	16,9
+30 a +40	31,7	2,7
+40 a +50	16,7	0,3
+50 a +60	12,9	0,0
+60 a +70	5,0	0,0
>+70	2,7	0,0

Tabla IV.7. Porcentaje de población sometido a las distintas tasas de cambio (%) previstas de los GACL para el periodo 2071-2099 con respecto al periodo de observación, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo constatado que la población se distribuye mayoritariamente en las zonas donde el incremento de temperaturas tendrá un efecto pernicioso, el siguiente paso ha sido sintetizar los cambios previstos a nivel regional teniendo en cuenta la dimensión poblacional. Ello puede realizarse calculando los promedios ponderados según la distribución de la población de las necesidades de climatización, de tal manera que las zonas despobladas no ejerzan ningún peso sobre los valores medios regionales, y viceversa.

Disponer del grid de distribución espacial de la población ha supuesto, para este propósito, una mejora considerable con respecto a los trabajos en los que no se tiene en cuenta la distribución espacial de la población con semejante nivel de detalle. Ello puede ilustrarse poniendo como ejemplo el término municipal de Córdoba, uno de los más extensos y poblados de Andalucía. Este término presenta una orografía diversa, con altitudes que oscilan entre los algo menos de 100 msnm de las zonas más bajas cercanas al río Guadalquivir hasta los prácticamente 700 msnm en su cota más elevada. Obviamente, esta complejidad orográfica da lugar a necesidades de climatización muy diversas. La mayor parte de la población se sitúa en las zonas más bajas del término municipal, por lo que, en el caso de las necesidades de calefacción, está sometida a los valores más reducidos de GAC del municipio (ver figura IV.25). Teniendo como objetivo calcular el promedio

municipal de GAC, si se dispone del GRID de población es posible otorgar un mayor peso de ponderación a los valores reducidos de GAC con respecto a los valores elevados, que apenas tendrán influencia en el valor medio municipal. De lo contrario, si sólo se dispusiera del dato de población municipal este cálculo tan preciso sería inviable, y ello tendría como consecuencia que, en este caso, el valor medio de GAC del municipio de Córdoba estaría siendo sobreestimado, al tener todas las celdas del modelo climático el mismo peso. Lógicamente, este razonamiento puede ser extrapolado a toda la región andaluza.

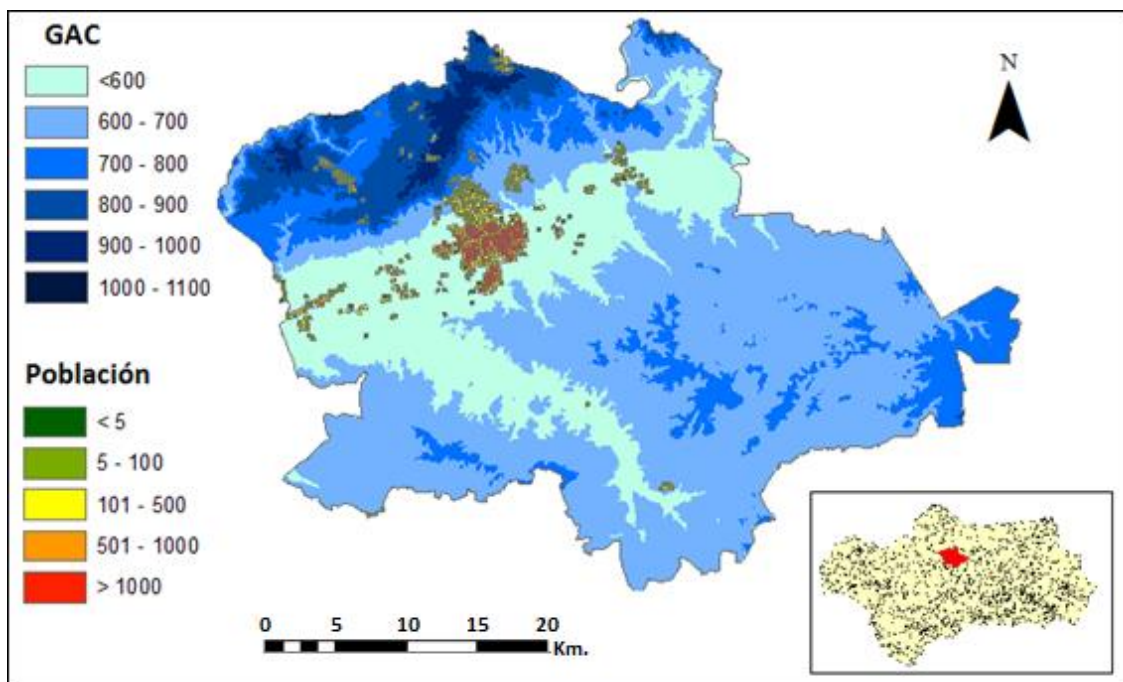


Figura IV.25. Valores de GAC en el término municipal de Córdoba en el periodo de observación y distribución espacial de la población mediante el GRID de población.

Fuente: Elaboración propia.

IV.3.3. PONDERACIÓN DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN

Existen pocos referentes acerca de la ponderación de las necesidades de climatización mediante la variable poblacional. Ortiz *et al.* (2012) estudiaron la evolución observada (1958-2005) y prevista (2001-2050) de los grados-día calefacción y refrigeración en 31 observatorios repartidos por la geografía española. Cada uno de los observatorios caracterizaba climáticamente a su

correspondiente provincia. Con el objetivo de analizar sintéticamente tal evolución para toda la región de estudio (España), ambos índices climáticos fueron promediados ponderadamente mediante la ratio de población de cada provincia con respecto al total de población considerado.

Adaptando la metodología utilizada por Ortiz *et al.* (2012) a nuestra disponibilidad de información, para realizar la ponderación debe tenerse en cuenta la población de cada celda con respecto a la población total de la región, expresándose de la siguiente forma:

$$W_i = P_i / P_t$$

Donde W_i es el peso de cada celda, P_i es la población de la celda, y P_t es la población total.

La resolución espacial de los modelos obtenidos para estimar las necesidades de climatización (20 metros) es considerablemente mayor a la del grid de población (250 metros). Consecuentemente, cada celda del grid de población coincide espacialmente con valores distintos de grados-mes y grados-año en cada periodo y escenario (ver figura IV.26).

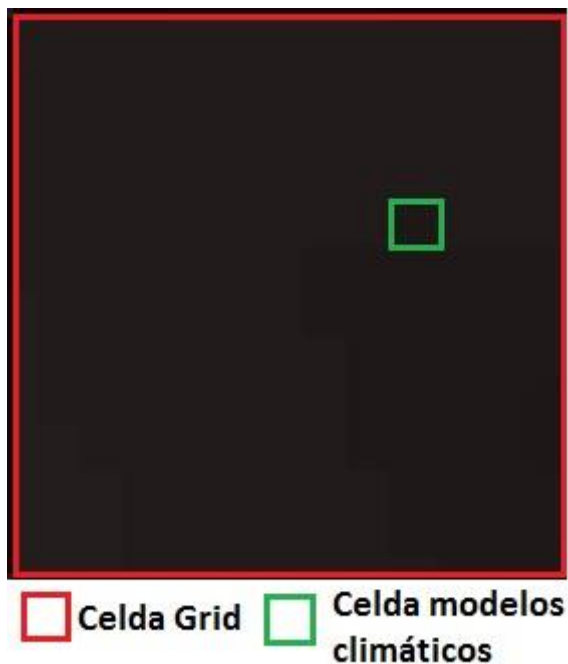


Figura IV.26. Resolución espacial de los modelos climáticos utilizados y el GRID de población.
Fuente: Elaboración propia.

Ante la imposibilidad de conocer la población para cada una de las celdas de los modelos climáticos se ha decidido calcular un valor representativo de estas variables (el valor medio), con el objetivo de caracterizar climáticamente cada celda del grid de población. Por lo tanto, se ha multiplicado el peso poblacional de cada celda (W_i) por su correspondiente valor medio de grados-mes o grados-año en cada periodo y escenario. El sumatorio de todos esos productos se corresponde con las necesidades de calefacción, refrigeración o climatización regionales medias ponderadas por la distribución poblacional.

El hecho de utilizar la misma fuente de información (la única disponible con semejante nivel de detalle) tanto para el periodo de observación como para los periodos futuros no debería suponer una excesiva inexactitud procedimental a la hora de ponderar las necesidades de climatización, al asumir que, en lo fundamental, la distribución de la población presentará una configuración relativamente similar en todos los casos, conservando su proporcionalidad en el volumen. De hecho, se suele asumir que estas ratios son constantes (Ortiz *et al.*, 2012). Obviamente, en el caso de producirse –o haberse producido– procesos de urbanización intensos en lugares concretos los resultados sí podrían verse significativamente alterados, especialmente en el caso de presentarse en zonas con necesidades de climatización sensiblemente diferentes a la tónica regional (por ejemplo, en ámbitos de alta montaña), algo –esto último– que parece francamente improbable.

Utilizando la distribución espacial de la población como variable ponderadora, los valores medios regionales de los GAC son considerablemente inferiores con respecto a los consignados sin realizar la ponderación. Ello se justifica porque cuando no se tiene en cuenta la población los valores tan elevados de GAC de las zonas de mayor altitud de la región aumentan considerablemente el valor medio regional. En cambio, si se tiene en cuenta la distribución poblacional el peso de estos valores tan elevados de calefacción es muy reducido y, por el contrario, el de los valores más bajos, situados en las zonas de costa, muy elevado.

En el caso de los GAR ambos procesos ofrecen valores medios regionales muy similares. Ello sucede porque sin realizar la ponderación las zonas de mayor

altitud, que presentan valores nulos, se ven limitadas a la hora de ejercer una influencia descendente de la media, al no poder existir valores negativos.

Según el cálculo ponderado, las necesidades de calefacción regionales se reducirán entre un 40'9% (CNCM3_B1) y un 58'3% (CNCM3_A2) a finales de siglo, mientras que las necesidades de refrigeración aumentarán entre un 52% (CNCM3_B1) y un 106'5% (CNCM3_A2).

Como resultado global de esta situación, los valores regionales ponderados de GACL son, en todos los escenarios, inferiores con respecto a los correspondientes no ponderados (ver figura IV.27). Sin embargo, el aumento de las necesidades de climatización teniendo en cuenta la distribución de la población se prevé, en la globalidad del periodo 2011-2099, de mayor envergadura tanto en valor absoluto como en valor relativo con respecto a la valoración regional no ponderada. A diferencia de esta última, las necesidades de climatización descenderán con respecto al periodo de observación únicamente en el periodo 2011-2040, en tasas que se situarían entre el 0'88% (CNCM3_B1) y el 1'88% (CNCM3_A2). Posteriormente, todos los escenarios prevén un aumento con respecto al periodo de observación, que a finales de siglo será del 9'66% (CNCM3_B1) en el mejor de los casos, mientras que en el peor (CNCM3_A2) el aumento previsto es del 31'32% (CNCM3_A2), un cambio bastante más abrupto de lo que apuntan las previsiones en las que no se tiene en cuenta la variable poblacional, en las que en el peor de los casos el aumento del valor medio regional de GACL se estima en poco más del 15%.

Otro elemento divergente es que, teniendo en cuenta la distribución de la población, las necesidades de refrigeración medias de la región son superiores a las de calefacción incluso en el periodo de observación, protagonismo que se incrementará hasta el punto de que a finales de siglo más del 75% (CNCM3_B1) o más del 85% (CNCM3_A2) de las necesidades de climatización de la región corresponderán a este tipo de necesidades.

Todas estas previsiones negativas incidirán especialmente sobre el sector eléctrico, que deberá asumir la creciente demanda por refrigeración, y que incluso podrá tener un protagonismo creciente en la de calefacción si los combustibles

fósiles, a la vista de sus decrecientes reservas mundiales, se encarecen. Ante el reto de satisfacer esta más que probable creciente demanda de energía eléctrica las energías renovables suponen una gran oportunidad para la región, cuya abundancia en recursos autóctonos sostenibles garantiza la viabilidad de su desarrollo. Además de los beneficios ambientales obvios que comportan con respecto al uso de las fuentes de energía tradicionales, las energías renovables, aunque no exentas de controversia, favorecen el desarrollo endógeno de los territorios, generan empleo, e indudablemente contribuyen a que disminuya la dependencia energética del exterior, tendencia que se está produciendo en los últimos años gracias fundamentalmente al fuerte desarrollo de estas fuentes alternativas, lo cual tiene beneficios claros sobre la balanza de pagos de la economía regional.

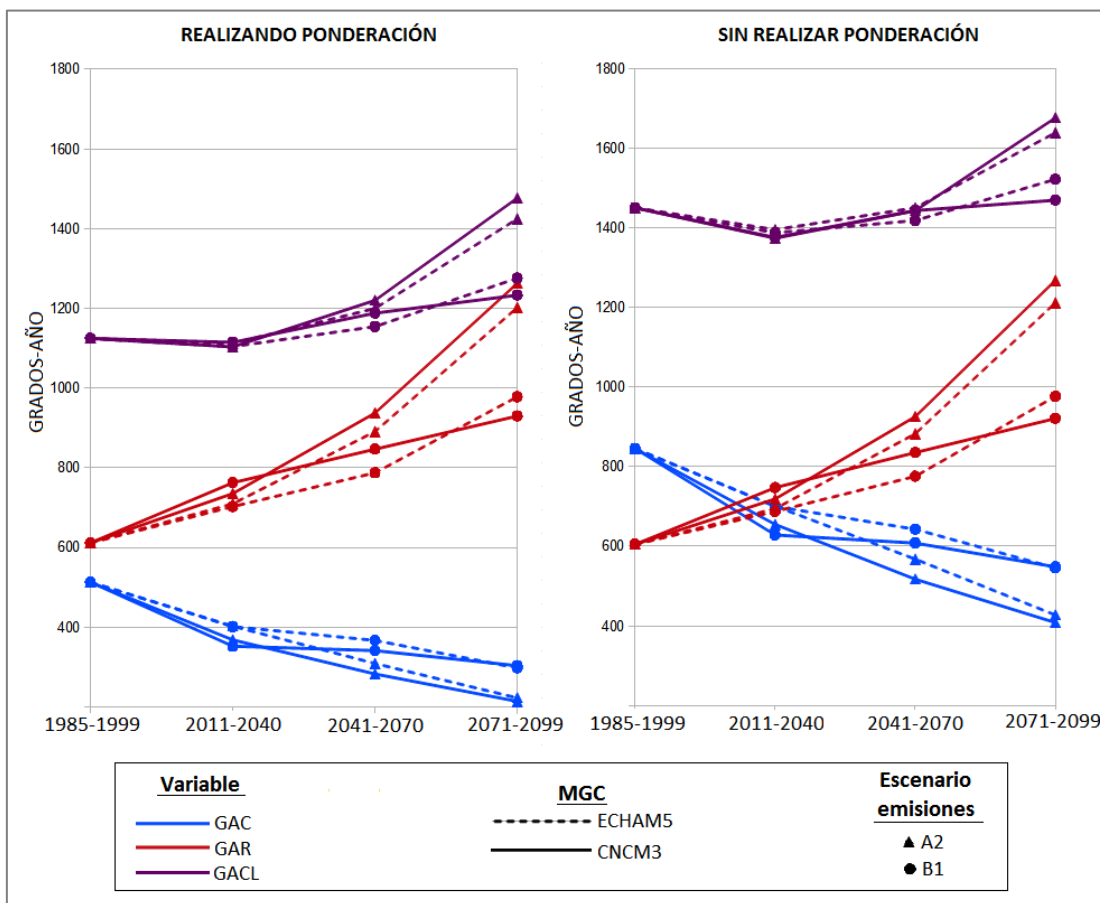


Figura IV.27. Evolución de los valores medios regionales de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1. El gráfico de la izquierda muestra los valores ponderados por la distribución espacial de la población; el de la derecha no tiene en cuenta la variable poblacional. Fuente: Elaboración propia.

IV.3.4. LA EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN POBLACIONAL Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN REGIONALES

Mediante la ponderación según la distribución espacial de la población de nuestras variables climáticas se han conseguido estimar de forma más precisa los valores y cambios regionales de las necesidades de climatización que la sociedad andaluza, en su conjunto, deberá afrontar a lo largo del presente siglo.

La evolución del número de habitantes que experimentará la región es, por otra parte, un elemento importante a tener en cuenta en la evolución de la demanda energética por necesidades de climatización. En este sentido, el IECA ha elaborado proyecciones de población hasta el año 2070 considerando tres escenarios (bajo, medio y alto), con el objetivo de ofrecer un abanico de posibilidades que acote la incertidumbre sobre la evolución futura de la población. En los próximos años la población andaluza seguirá creciendo (ver figura IV.28), debido a la relativamente joven estructura poblacional, pero, salvo que se consideren escenarios muy extremos y poco verosímiles, a largo plazo la población andaluza acabará teniendo una tendencia descendente.

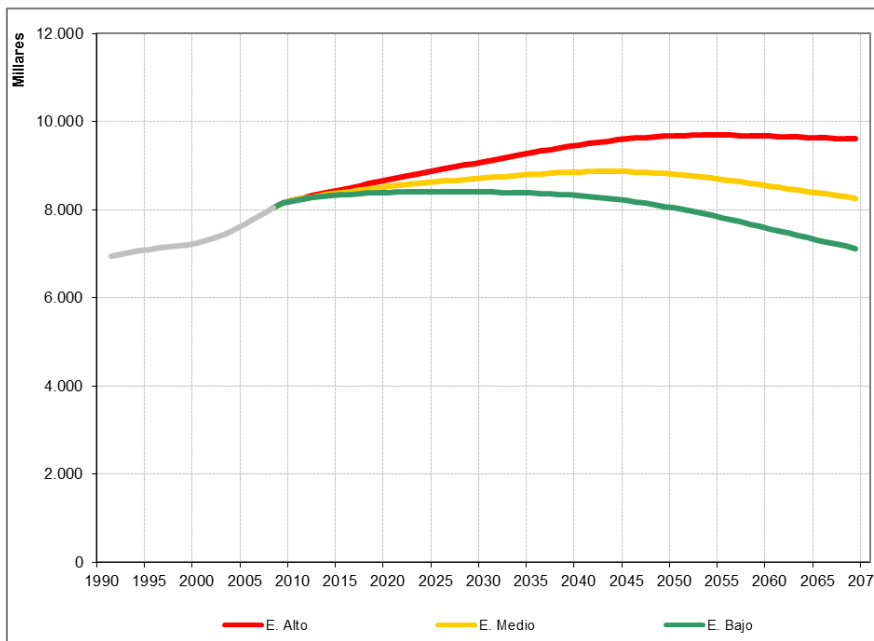


Figura IV.28. Evolución y proyección de la población en Andalucía.
Fuente: IECA

Todas las proyecciones de población prevén que el incremento poblacional actual tenga continuidad como mínimo hasta 2030 (según el escenario bajo). Según el

escenario medio la población continuaría creciendo hasta 2043, y según el escenario alto hasta el año 2054. Con posterioridad a tales fechas la población tendría tendencia a descender. Sólo en el escenario bajo la población media del periodo 2041-2070 sería inferior a la del periodo 2011-2040. En cualquier caso, la población media prevista para cualquiera de los periodos (2011-2040 y 2041-2070) por parte de todos los escenarios (bajos, medios y altos) se espera que sea siempre mayor que la población media existente en el periodo 1985-1999 (ver tabla IV.8). Por lo tanto, en estos treintenos la dimensión poblacional siempre va a contribuir a que la demanda energética por necesidades de climatización sea mayor que en el periodo de observación.

Periodo	Población media empadronada	Población prevista		
		Escenario bajo	Escenario medio	Escenario alto
1985-1999	7.086.604	-	-	-
2011-2040	-	8.365.260 (+18'0%)	8.611.902 (+21'5%)	8.895.398 (+25'5%)
2041-2070	-	7.754.077 (+9'4%)	8.629.190 (+21'8%)	9.638.960 (+36'0%)

Tabla IV.8. Población media en el periodo 1985-1999, y población media prevista según distintos escenarios en los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Entre paréntesis se especifica el porcentaje de cambio con respecto al periodo 1985-1999.

Fuente: IECA

El periodo 2011-2070, clave para que la sociedad andaluza pueda adaptarse progresivamente a los cambios más abruptos esperados para finales de siglo, se caracterizaría por un incremento de la población que impediría que la demanda de calefacción disminuyera en los términos climáticos previstos, y que acuciaría todavía más el ascenso de la demanda energética de refrigeración. Como resultado de ambas evoluciones, la demanda de climatización regional tendría tendencia a aumentar de manera más notable a cómo está previsto que lo hagan las necesidades de climatización, lo cual añade un matiz más preocupante al pronóstico, si cabe.

La no disponibilidad de proyecciones de población más allá del año 2070 impide realizar este tipo de valoraciones cualitativas a partir de esa fecha. No obstante, a tenor de la probable continuidad de la tendencia descendente del número de habitantes iniciada a mediados de siglo, cabría esperar que ello pudiera representar un atenuante de la creciente demanda energética por necesidades de

climatización como consecuencia del incesante incremento de temperaturas previsto.

En relación también al volumen de población otro elemento fundamental a tener en cuenta son los flujos de personas que genera el turismo, especialmente el estival. En los meses de julio y agosto algunos municipios costeros doblan, triplican o hasta multiplican por diez su población habitual. Muchos de esos turistas proceden de otras zonas de la región, por lo que en alguna medida esa mayor demanda energética de las zonas de costa puede ser compensada, en alguna medida, por una menor demanda de los lugares de procedencia. No obstante, según los datos que ofrece la Consejería de Turismo y Comercio de la Junta de Andalucía, más del 60% del turismo de litoral es exterior (de otras regiones de España o de otros países). En este caso, este turismo no sólo repercute en un incremento de la demanda energética en estas zonas, que precisamente son para las que se prevén las mayores tasas porcentuales de aumento de la climatización de la región, sino que también contribuye a incrementar la demanda energética regional.

Existen también otras variables difíciles de controlar como la situación económica, que influye en gran medida en las pautas de consumo, así como las innovaciones tecnológicas que puedan revertir en una mayor eficiencia energética tanto de los sistemas de climatización como de los espacios (arquitectura bioclimática). En cualquier caso, la componente estrictamente climática -incluso en el mejor de los escenarios- debería suscitar desde este momento la preocupación de las autoridades políticas competentes en planificación energética.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

V.1. CONCLUSIONES

El principal objetivo de esta tesis doctoral ha sido la estimación de las necesidades de climatización actuales y futuras en Andalucía a escala de detalle territorial. En relación a este propósito, al inicio de la investigación se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- Verificar que, de manera similar a lo que sucede con la temperatura del aire, en Andalucía pueden establecerse relaciones lineales significativas entre sus necesidades de climatización (observadas y previstas) y sus variables fisiográficas/geográficas.
- Espacializar las necesidades de climatización en todo el territorio andaluz a escala de detalle territorial, tanto para el periodo observado como para todos los escenarios futuros considerados, a partir de modelos de regresión en los que las variables independientes sean variables fisiográficas o geográficas.
- Analizar la evolución de las necesidades de climatización regionales según distintos escenarios futuros teniendo en cuenta todo el territorio andaluz y no únicamente los valores puntuales.
- Caracterizar la distribución territorial de la evolución prevista de las necesidades de climatización en Andalucía.
- Estimar los cambios regionales previstos de la demanda energética por climatización a partir de la distribución espacial de la población.

A tenor de los resultados obtenidos en los capítulos precedentes se pueden establecer las siguientes conclusiones, que se clasifican según cada uno de los objetivos específicos establecidos y son confrontadas con las correspondientes hipótesis de partida.

V.1.1. CONCLUSIONES RELATIVAS A LAS RELACIONES LINEALES ENTRE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN Y LAS VARIABLES FISIAGRÁFICAS

Se confirma la hipótesis de que las necesidades de climatización, al derivarse directamente de la temperatura, presentan relaciones lineales significativas con las variables fisiográficas altitud y continentalidad. En concreto:

-Tanto en el escenario presente como en las proyecciones futuras la altitud es la variable fisiográfica más influyente tanto en las necesidades de calefacción (relación directa) como en las de refrigeración (relación inversa), con correlaciones semiparciales superiores a 0'7 en la mayoría de estimaciones mensuales y anuales.

-En referencia a la modelización de la continentalidad, la distancia logarítmica al mar tiene una capacidad explicativa mayor que la distancia euclídea al mar en ambos tipos de necesidades de climatización.

-La continentalidad es un factor determinante de las necesidades de refrigeración (correlaciones semiparciales superiores a 0'3). En el caso de las necesidades de calefacción la continentalidad no es determinante pero sí influyente, especialmente en los meses más fríos. En ambos casos la relación es directa.

-El incremento de temperaturas que se proyecta para el presente siglo traerá consigo un cambio en las relaciones que se establecen entre las variables fisiográficas y las necesidades de refrigeración, especialmente en el núcleo estival y según las proyecciones más extremas. En concreto, la continentalidad tendrá un protagonismo mayor, en paralelo a un descenso progresivo de la capacidad explicativa de la altitud. Las relaciones entre las variables fisiográficas y las necesidades de calefacción no sufrirán cambios significativos.

V.1.2. CONCLUSIONES RELATIVAS A LA ESPACIALIZACIÓN DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN

Se confirma la hipótesis de la idoneidad de espacializar las necesidades de climatización en Andalucía mediante regresión lineal. Ello se ha constatado por la existencia de relaciones lineales significativas entre las necesidades de climatización y las variables fisiográficas altitud y continentalidad. En concreto:

-Todos los modelos de estimación de las necesidades de calefacción y refrigeración tienen como variables explicativas la altitud y la distancia logarítmica al mar.

-La calidad de los modelos es mayor en el caso de las necesidades de calefacción. En las intra-estaciones (mayo y octubre) la calidad es algo inferior, como consecuencia de la mayor presencia de valores nulos, algo que se acentúa ligeramente en los escenarios futuros más extremos.

-La inferior calidad de la espacialización de las necesidades de refrigeración está asociada, en parte, a la relación anómala que éstas presentan con la altitud en las zonas con una fuerte influencia marítima. En cualquier caso, los estadísticos de error y los coeficientes de determinación son suficientemente garantes en todos los meses y en las estimaciones anuales y, además, se mantienen prácticamente invariables en los escenarios futuros.

V.1.3. CONCLUSIONES RELATIVAS A LA EVOLUCIÓN PREVISTA DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN REGIONALES A LO LARGO DEL PRESENTE SIGLO

Se confirma la hipótesis del cambio en las necesidades de climatización a lo largo del presente siglo como consecuencia del progresivo aumento de temperatura previsto. En concreto:

-A lo largo del presente siglo se producirá un descenso progresivo de las necesidades de calefacción y, en paralelo, un incremento de las de refrigeración. A finales de siglo las primeras habrán descendido entre un 35'2 y un 51'7%, y las segundas se habrán incrementado entre un 52'3 y un 109'7%.

-La contrapuesta evolución de las necesidades de calefacción y refrigeración conduciría, inicialmente, a un descenso de las necesidades globales de climatización (periodo 2011-2040), pero con posterioridad se produciría un aumento de las mismas con respecto al periodo de observación, como consecuencia de un incremento de los GAR superior a la atenuación de los GAC. En cualquier caso, tal aumento apenas superaría ligeramente el 15% en el peor de los escenarios hacia finales de siglo.

-Si bien en la actualidad las necesidades de calefacción son mayores que las de refrigeración en el balance anual, la tendencia es que durante el presente siglo esta situación acabe invirtiéndose. Se espera, por tanto, un proceso regional de sustitución de la calefacción por la refrigeración.

-Los meses del núcleo invernal y estival experimentarán cambios más significativos que los de las intra-estaciones. Ello es así porque en los meses de transición las temperaturas se sitúan más próximas al intervalo en el que no se producen necesidades de climatización (entre 14°C y 21°C). Obviamente, cualquier incremento de temperatura que se produzca dentro de ese intervalo de confort no afecta en ninguna medida a los valores de grados-día de uno u otro tipo. En cualquier caso, en los meses de mayo y octubre, que son los que en la actualidad se caracterizan por presentar una coexistencia más equilibrada de calefacción y refrigeración, la tendencia es que las necesidades de climatización (GMC + GMR) aumenten progresivamente a lo largo del presente siglo.

V.1.4. CONCLUSIONES RELATIVAS A LA DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL DE LA EVOLUCIÓN DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN

Se confirma la hipótesis que apunta hacia cambios más notables de las necesidades de climatización (calefacción y refrigeración) en las zonas continentales, en parte como consecuencia del mayor incremento de temperaturas previsto en estos ámbitos pero también debido a que las temperaturas de las zonas continentales se sitúan, en general, más lejanas al intervalo de confort que las de las zonas litorales, las cuales son suavizadas por las masas marítimas. Tal y como ya se ha comentado, todo incremento de temperaturas que se produzca dentro del intervalo de confort

no altera las necesidades de climatización. Además de ratificar esta hipótesis, del análisis de la evolución de la distribución territorial de las necesidades de climatización pueden destacarse las siguientes conclusiones:

-En el balance anual, prácticamente la totalidad del territorio (más del 99%) se ve - y se verá- sometido a necesidades de calefacción y refrigeración. Esta coexistencia, como es lógico, es muy diversa espacialmente, y evolucionará hacia una mayor hegemonía de la refrigeración con respecto de la calefacción en la mayor parte del territorio. De hecho, en el periodo de observación más del 60% del territorio requiere mayoritariamente calefacción, pero a finales de siglo entre el 79% y el 94% de la región (dependiendo de la menor o mayor extremosidad de los escenarios) presentará una mayor hegemonía de la refrigeración con respecto de la calefacción. El máximo predominio de las necesidades de refrigeración con respecto al total de la climatización se produce, tanto en el periodo de observación como en los escenarios futuros, en los ámbitos de menor altitud y mayor influencia marítima.

-Las necesidades de calefacción experimentarán un descenso generalizado en toda la región, directamente relacionado con la altitud y la continentalidad. A pesar de la reducción de tales necesidades en el balance anual, y de la contracción del periodo intra-anual en el que éstas se producirán, en la mayor parte de la región las necesidades de calefacción seguirán siendo significativas en los meses invernales, incluso según los escenarios de emisiones A2.

-En el periodo de observación no existe ningún lugar en Andalucía libre de necesidades de calefacción. En los escenarios futuros sólo la proyección ECHAM5_A2, en su estimación anual, prevé que a finales de siglo una estrecha franja costera presente esta característica. De las estimaciones mensuales se derivan también conclusiones similares, si bien en los meses del núcleo invernal no se llegan a modelizar valores nulos en estas zonas (pero sí inferiores a 5 GMC). Es evidente, por tanto, que las necesidades de calefacción de los ámbitos costeros, que en la actualidad ya son bastante tenues, a lo largo del presente siglo tendrán tendencia a desaparecer. Lógicamente, en estas zonas el descenso en valor

absoluto de las necesidades de calefacción se prevé discreto, al partir de valores bajos.

-Las necesidades de refrigeración más elevadas de la región se localizan en las zonas más deprimidas y continentales del valle del Guadalquivir, ámbitos para los que se prevé el máximo incremento a lo largo del presente siglo. Según el escenario de mayor incremento de temperatura (CNCM3_A2), en el núcleo estival estas zonas, a finales de siglo, experimentarán una discrepancia media diaria con la temperatura de referencia superior a 10 GDR, una extremosidad que en el caso de las necesidades de calefacción sólo se localiza en altitudes superiores a 2000 msnm en el periodo de observación. Las zonas de litoral en la actualidad presentan necesidades de refrigeración todavía moderadas y, aunque se espera un incremento significativo de éstas a lo largo de las próximas décadas, estos ámbitos territoriales pueden ser considerados de los menos vulnerables de la región en este sentido. Tanto es así que a finales de siglo sólo las regiones de alta montaña (por encima de 2.000 msnm. aproximadamente, dependiendo del escenario) presentarán necesidades de refrigeración inferiores en el núcleo estival. En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que estos valores menos extremos apenas se modelizan en una estrecha franja litoral.

-Según la valoración anual, en el periodo de observación menos del 1% del territorio no requiere refrigeración en ningún momento del año, situación que se produce sólo en zonas superiores a 1.800 msnm. A finales de siglo, esta situación se producirá en cotas bastante más elevadas (por encima de entre 2.200 y 2.500 msnm, dependiendo del escenario). Según la valoración mensual, en los meses de julio y agosto se modelizan necesidades de refrigeración nulas a partir de la cota 2.500 msnm., y los escenarios de mayor cambio llegan a prever que la totalidad de la región se verá afectada por necesidades de refrigeración a finales de siglo. Las diferencias entre las estimaciones anuales y mensuales en este caso son significativas, y por lo tanto estos resultados deben ser analizados con mucha cautela, algo que, por otra parte, esperábamos ante la ausencia de observatorios en altitudes tan elevadas y que asumimos en el momento de realizar una extrapolación espacial de estas características. En cualquier caso, sí parece

evidente que a finales de siglo zonas de alta montaña situadas por encima de 2.000 msnm presentarán incipientes necesidades de refrigeración.

-En un escenario futuro de descenso y contracción intra-anual de las necesidades de calefacción se espera que, en los meses que hemos considerado de transición (mayo y octubre), las zonas de menor altitud y mayor influencia marítima dejen de presentar este tipo de necesidades. Por el contrario, la tendencia prevista de aumento y dilatación intra-anual de las necesidades de refrigeración es evidente, evolucionando desde valores incipientes en el periodo 1985-1999 hacia valores que, en las zonas de interior más deprimidas, se acercarán a los propios del núcleo estival del periodo de observación según las proyecciones de mayor cambio.

-Tanto en el periodo de observación como en los escenarios futuros se modelizan, para toda la región, necesidades de climatización (calefacción o refrigeración, o ambos) en algún momento del año. Las menores necesidades de climatización de la región se sitúan, tanto en la actualidad como en todos los escenarios futuros, en ámbitos que reciben una fuerte influencia marítima; por el contrario, si bien los valores más elevados de GACL en la actualidad se localizan en las zonas más elevadas de la región -como consecuencia de las notables necesidades de calefacción-, la tendencia futura es que este protagonismo se vaya trasladando hacia zonas de elevada continentalidad y baja altitud -mucho más extensas territorialmente-, como consecuencia de un aumento muy pronunciado de las necesidades de refrigeración en comparación a un menor decrecimiento de las necesidades de calefacción. Éste es el motivo por el que en la mayor parte de la región andaluza las necesidades de climatización se habrán incrementado considerablemente a finales del presente siglo. Únicamente en altitudes superiores a 600 (CNCM3_B1) u 850 msnm (CNCM3_A2) las necesidades de climatización serán inferiores al periodo de observación como consecuencia del descenso más acusado de los GAC en comparación al incremento de los GAR, ámbitos que, en cualquier caso, representan una minoría territorial. El mayor descenso de GACL se producirá, lógicamente, en las zonas más elevadas de la región, en las que las necesidades de calefacción descenderán de forma muy importante y la refrigeración o no llegará a ser necesaria o lo será de forma muy leve.

V.1.5. CONCLUSIONES RELATIVAS A LA EVOLUCIÓN PREVISTA DE LAS NECESIDADES DE CLIMATIZACIÓN REGIONALES TENIENDO EN CUENTA LA DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL

Se confirma la hipótesis de que la población se localiza fundamentalmente en zonas de la región donde las necesidades de refrigeración están ya muy consolidadas, situación que se agravará de forma significativa como consecuencia del aumento de temperaturas previsto. De la misma forma, también se constata que los ámbitos de la región donde el incremento de temperaturas sólo provocará un descenso de las necesidades de calefacción están prácticamente despoblados, por lo que ese beneficio no tendrá un reflejo en la demanda energética regional. En concreto, éstas son las conclusiones que pueden extraerse de la evolución prevista de las necesidades de climatización regionales teniendo en cuenta la distribución poblacional:

-La gran mayoría de la población andaluza se sitúa en zonas donde a finales del presente siglo se habrá producido un incremento de las necesidades de climatización. Esta situación afectará a prácticamente el 85% de la población según la proyección de menor cambio (CNCM3_B1), y a más del 99% en el peor de los escenarios (CNCM3_A2).

-La obtención de valores medios regionales de las necesidades de climatización teniendo en cuenta la distribución espacial de la población supone una estimación más precisa de aquéllas y, en consecuencia, también una aproximación más realista de sus tasas de cambio. En este sentido, disponer del GRID de distribución espacial de la población en Andalucía ha supuesto una fuente de información de gran valor.

-Teniendo en cuenta la distribución espacial de la población, a nivel regional las necesidades de refrigeración son superiores a las de calefacción en todo momento, incluso en el periodo de observación. A finales de siglo las primeras representarán entre el 75% (CNCM3_B1) y el 85% (CNCM3_A2) de las necesidades de climatización regionales.

-Utilizando la distribución de la población como variable ponderadora, los valores medios regionales de GAC son considerablemente inferiores a los estimados sin

realizar la ponderación, debido al importante peso que ejercen los requerimientos de calefacción propios de las zonas de litoral o de baja altitud, que son las más pobladas de la región. En el caso de los GAR, aunque realizando la ponderación podrían esperarse valores medios regionales superiores por la misma razón, no existen diferencias significativas entre los valores medios obtenidos mediante ponderación o sin ponderar, debido a que en la obtención de los valores medios no ponderados las zonas de mayor altitud, que presentan valores nulos de refrigeración, se ven limitadas a la hora de ejercer una influencia descendente de la media. Como consecuencia de este balance, los valores regionales ponderados de GACL son inferiores a los no ponderados, lo cual no debe entenderse como una previsión más halagüeña. Al contrario, el aumento de las necesidades de climatización regionales teniendo en cuenta la distribución de la población es mayor tanto en valor absoluto como en valor relativo. De hecho, en el mejor de los casos (CNCM3_B1) se producirá un aumento de prácticamente el 10% hacia finales de siglo, y en el peor escenario de más del 30% (CNCM3_A2), tasas relativas muy superiores a las obtenidas en la estimación sin tener en cuenta la variable poblacional.

-A tenor del importante incremento previsto de las necesidades de refrigeración, que como mínimo será del 52% (CNCM3_B1) y podría llegar a superar el 100% (escenarios A2) hacia finales de siglo, cabe esperar un incremento significativo de la demanda de energía eléctrica en la región. Este incremento no podrá ser atenuado de forma significativa por el descenso de las necesidades de calefacción por varias razones: su descenso es menor tanto en valor absoluto como en valor relativo; las necesidades de calefacción a día de hoy no son cubiertas de forma mayoritaria por esta fuente de energía, por lo que el impacto de su descenso afectará principalmente a la biomasa y a los combustibles fósiles; en un escenario futuro de escasez y posible encarecimiento de los combustibles fósiles, el protagonismo de los sistemas de calefacción eléctricos podría precisamente aumentar. Por otra parte, la esperada continuidad del crecimiento de la población regional hasta mediados del presente siglo agrava estas preocupantes previsiones.

V.2. POSIBLES INVESTIGACIONES FUTURAS

Esta tesis doctoral ha supuesto el inicio de una línea de investigación que tiene como objetivo la estimación de las necesidades de climatización en Andalucía en el contexto del cambio climático. De los cimientos de este trabajo inicial podrían surgir nuevas investigaciones en un futuro próximo. A continuación se detallan algunas de estas posibles líneas:

1.- Estimación de las necesidades de climatización presentes y futuras en episodios de temperaturas extremas en Andalucía. La evaluación realizada en la presente tesis doctoral hace referencia a condiciones térmicas medias, pero en el campo de la predicción de la demanda energética resulta también fundamental el conocimiento de los episodios de frío o calor extremo, ya que tienen una relación evidente con las puntas de demanda. El objetivo de esta línea de investigación es realizar estimaciones que ayuden a planificar la capacidad generadora futura de la región para poder afrontar este tipo de situaciones meteorológicas de riesgo.

2.- Mejorar la calidad de la espacialización, especialmente en el caso de las necesidades de refrigeración. Ello podría intentarse mediante la utilización de otras variables independientes o utilizando distintas técnicas de espacialización. En relación a esto último se podría valorar la posibilidad de espacializar las necesidades de climatización mediante modelos de regresión geográficamente ponderada (Brundson *et al.*, 1996), en los que no se asume que los coeficientes de las variables que se modelizan son estacionarios espacialmente, algo que, teniendo en cuenta la relación anómala de la altitud con las necesidades de refrigeración en las zonas de influencia marítima, puede ofrecer resultados satisfactorios, a pesar de su mayor complejidad.

3.- Realizar estudios equivalentes en otras regiones de la Península. Ello puede tener un gran interés porque en general todas las comunidades autónomas estatales presentan una importante complejidad climática, la cual justifica la realización de análisis similares a los efectuados en la presente tesis doctoral.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, E.; Auer, I.; Brunet, M.; Peterson, T.C.; Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization: Geneve.

Alexandersson, H. y Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for lineal trends. *International Journal of Climatology*, 17(1), p. 25-34.

Allen, R.J. y DeGaetano, A.T. (2001). Estimating missing daily temperature extremes using an optimized regression approach. *International Journal of Climatology*, 21(11), p. 1305-1319.

Álvarez, J.I. (2011). *Espacialización de la temperatura media mensual en Andalucía mediante técnicas estadísticas y SIG*. Trabajo de investigación tutelado de doctorado. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Al-Zayer, J. y Al-Ibrahim, A. (1996). Modelling the Impact of Temperature on Electricity Consumption in the Eastern Province of Saudi Arabia. *Journal of Forecasting*, 15(2), p. 97-106.

Badescu, V. y Zamfir, E. (1998). Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania). *Energy Conversion and Management*, 40(8), p. 885-900

Baumert, K. y Selman, M. (2003). Data Note: Heating and Cooling Degree Days. *World Resources Institute*.

Bolstad, P.; Swift, L.; Collins, F.; Régnière, J. (1998). Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91(3), p. 161-176.

Brundson, C.; Fotheringham, S.; Charlton, M. (1996). Geographically weighted regression –modelling spatial non-stationarity. *Geographical Analysis*, 28, p. 281-289.

Brunet, M.; Casado, M.J.; de Castro, M.; Galán, P.; López, J.A.; Martín, J.M.; Pastor, A.; Petisco, E.; Ramos, P.; Ribalaygua, J.; Rodríguez, E.; Sanz, I.; Torres, L. (2009). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. *Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino*.

Burrough, P. A. y McDonell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press.

Büyükalaca, O.; Bulut, H. y Yılmaz, T. (2001). Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey. *Applied Energy*, 69(4), p. 269-283.

Cancelo, J. y Espasa, A. (1995). Modelización del efecto temperatura en el consumo de electricidad: un ejercicio de búsqueda de especificación en relaciones dinámicas no lineales. *Revista Estadística Española*, 37(139), p. 183-200.

Cartalis, C.; Synodinou, A.; Proedrou, M.; Tsangrassoulis, A. y Santamouris, M. (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*, 42(14), p. 1647-1656.

Cesaraccio, C.; Spano, D.; Duce, P. y Zinder, R. (2001). An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. *International Journal of Biometeorology*, 45(4), p. 161-169.

Christenson, M.; Manz, H.; Gyalistras, D. (2006). Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energy Conversion and Management*, 47(6), p. 671-686.

Climent, F.; Valor, E.; Torró, H. y Caselles, V. (2003). Incidencia de la Climatología en el consumo de gas y electricidad en España. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, 808, p. 55-70.

Colombo, A.; Etkin, D. y Karney, B. (1998). Climate variability and the frequency of extreme temperatures events for Nine Sites across Canada: Implications for Power Usage. *Journal of Climate*, 12(8), p. 2490-2502.

Conrad, V. y Pollack, L.D. (1962). *Methods in Climatology*, Cambridge: Harvard University Press, 459 pp.

Correa, E.; De Rosa, C. y Lesino, G. (2005). Efecto sobre la distribución de los grados-día de calefacción y refrigeración en el área metropolitana del Gran Mendoza. Informe del avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, p. 11.31 – 11.36.

De Rosa, M.; Bianco, V.; Scarpa, F. y Tagliafico, L.A. (2015). Historical trends and current state of heating and cooling degree days in Italy. *Energy Conversion and Management*, 90, p. 323-335

Dryar. H.A. (1944). The Effect of Weather on the System Load. *Trans AIEE*, 63 pp.

Durmayaz, A.; Kadioglu, M. y Sen, Z. (2000). An application of degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. *Energy*, 25(12), p. 1245-1256.

Engle, R. y Mustafa, C. (1992). Modelling peak electricity demand. *Journal of Forecasting*, 11(3), p. 241-251.

Erbs, D.G. y Klein, S. (1984). Sol-air heating and cooling degree-days. *Solar Energy*, 33(6), p. 605-612.

Eto, J. (1988). On using degree-days to account for the effects of weather on annual energy use in office buildings. *Energy and Buildings*, 12(2), p. 113-127.

Fonte, H.A. y Rivero, J.Z. (2005). Método de los grados-día. Determinación de la temperatura base para la provincia de Camagüey. *Revista Científica Eco-Solar*, 9, p. 123-135.

Giannakopoulos, C.; Hadjinicolau, P.; Zeferos, C. y Demosthenous, G. (2009). Changing energy requirements in the Mediterranean under changing climatic conditions. *Energy*, 2(4), p. 805–815.

Gómez J. D.; Etchevers, J.D.; Monterroso, A.I.; Gay, C.; Campo, J. y Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, 21(1), p. 35-56.

Gutiérrez Moya, E. (2003): *La demanda residencial de energía eléctrica en Andalucía: un análisis cuantitativo*. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Hargy, V. (1997). Objectively mapping accumulated temperature for Ireland. *International Journal of Climatology*, 17(9), p. 909–927.

Hevesi, J.A.; Istok, J.D. y Flint, A.L. (1992). Precipitation estimation in mountain terrain using multivariate geostatistics. Part I: structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31(7), p. 661-676.

Hor, C.; Watson, S. y Majithia, S. (2005). Analyzing the impact of weather variables on monthly electricity demand. *IEEE Transactions on power systems*, 20(4), p. 2078-2085.

Hudson, G. y Wackernagel, H. (1994). Mapping temperatura using kriging with external drift: Theory and an example from Scotland. *International Journal of Climatology*, 14(1), p. 77-91.

Ibáñez, M. y Rosell, J.I. (2001). Interpolación espacial de la temperatura del aire incorporando imágenes AVHRR. *Universidad de Lleida. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, p. 405-408.

IPCC (2000). *Escenarios de Emisiones*, Informe especial del Grupo de Trabajo III, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Isaaks, E.H. y Srivastava, R.M. (1989). *An introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, 561 p.

Ishida, T. y Kawashima, M. (1993). Use of Cokriging to Estimate Surface Air Temperature from Elevation. *Theoretical and Applied Climatology*, 47(3), p. 147-157.

Justicia Segovia, A. y Domínguez Rodríguez, R. (1992). Notas metodológicas para la cumplimentación de series climáticas y extrapolación de datos. Su aplicación al mapa de temperaturas de Andalucía. *Baetica: Estudios de arte, geografía e historia*, 14, p. 56-80.

Labys, W.C (1999). *Modelling Mineral and Energy Markets*, Kluwer Academic Publishers.

Lam, J. (1998). Climatic and economic influences on residential electricity consumption. *Energy Conversion and Management*, 39(7), p. 623-629.

Le Comte, D. y Warren, H. (1981). Modeling the Impact of Summer Temperatures on National Electricity Consumption. *Journal of Applied Meteorology*, 20(12), p. 1415-1419.

Lennon, J. y Turner, J. (1995). Predicting the spatial distribution of climate: Temperature in Great Britain. *Journal of Animal Ecology*, 64, p. 370-392.

Li, J.; Huang, J. F. y Wang, X. Z. (2006). A GIS-based approach for estimating spatial distribution of seasonal temperature in Zhejiang Province, China. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 7(4), p. 647-656.

Maceachren, A.M. y Davidson, J.V. (1987). Sampling and isometric mapping of continuous geographic surfaces. *The American Cartographer*, 14(4), p. 299-320.

Matzarakis, A. y Balafoutis, C. (2004). Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *International Journal of Climatology*, 24(14), p. 1817-1828.

Miller, N.L.; Hayhoe, K.; Jin, J. y Auffhammer, M. (2008). Climate, extreme heat, and electricity demand in California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(6), 1834-1844.

Ministerio de Fomento (2015). Documento descriptivo de climas de referencia. Madrid: Ministerio de Fomento.

Ministerio de Fomento (2013). Documento Básico HE: Ahorro de energía. Madrid: Ministerio de Fomento.

Mirasgedis, S.; Sarafidis, Y.; Georgopoulou, E.; Kotroni, V.; Lagouvardos, K. y Lalas, D. P. (2007). Modeling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at regional level: case of Greece. *Energy Conversion and Management*, 48(5), p. 1737-1750.

Ninyerola, M.; Pons, X. y Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20(14), p. 1823-1841

Ninyerola, M.; Pons, X. y Roure, J.M. (2005). *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.

Ortiz Bevià, M.J. (2008). "Evolución de la demanda energética en la España mediterránea, basada en el índice de grados-día de calentamiento enfriamiento", en SIGRÖ RODRIGUEZ *et al: Cambio climático regional y sus impactos*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 6, Tarragona, p. 673-678

Ortiz Beviá, M. J.; Sánchez-López, G.; Álvarez-García, F. J. y Ruiz de Elvira, A. (2012). Evolution of heating and cooling degree-days in Spain: Trends and interannual variability. *Global and Planetary Change*, 92, p. 236-247.

Parkpoom, S. J. y Harrison, G. P. (2008). Analyzing the impact of climate change on future electricity demand in Thailand. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 23(3), p. 1441-1448.

Peirson, J. y Henley, A. (1994). Electricity load and temperature. *Energy Economics*, 16(4), p. 235-243.

Phillips, D.L.; Dolph, J. y Marks, D. (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1), p. 119-141.

Pielke, R. (1976). Use of Mesoscale Climatology in Mountainous Terrain to Improve the Spatial Representation of Mean Monthly Temperatures. *Monthly Weather Review*, 105(1), p. 108-112.

Pita, M.F. (2003). El clima de Andalucía. En *Geografía de Andalucía*, López A (Coord.). Ariel: Barcelona; p. 137-174.

Quayle, R. G. y Díaz, H. F. (1980). Heating degree day data applied to residential heating energy consumption. *Journal of Applied Meteorology*, 19(3), p. 241-246.

Ribalaygua, J.; Torres, L.; Pórtoles, J.; Monjo, R.; Gaitán, E. y Pino, M.R. (2013). Description and validation of a two-step analog/regression downscaling method. *Theoretical and Applied Climatology*, 114(1-2), p. 253-269.

Robredo, J.C. y Mintegui, J.A. (1994). Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente. *Ingeniería del Agua*, 1(4,) p. 79-100.

Sailor, D. y Muñoz, R. (1997). Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the U.S.A: Methodology and results for eight states. *Energy*, 22(10), p. 987-998.

Sailor, D. (2001). Relating residential and commercial sector electricity loads to climate: evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. *Energy*, 26(7), p. 645-657

Sánchez de la Flor, F.J y Álvarez Domínguez, S. (2004). Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings. *Energy and Buildings*, 36(5), p. 403-413.

Sánchez de la Flor, F.J.; Álvarez Domínguez, S.; Molina Félix, J.L. y González Falcón, R. (2008). Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations. *Energy and Buildings*, 40(10), p. 1984-1990.

Semmler, T.; McGrath, R.; Steeler-Dunne, S.; Hanafin, J.; Nolan, P. y Wang, S. (2010). Influence of climate change in heating and cooling energy demand in Ireland. *International Journal of Climatology*, 30(10), p. 1502-1511.

Stathopoulou, M.; Cartalis, C. y Chrysoulakis, N. (2006). Using midday surface temperature to estimate cooling degree-days from NOAA-AVHRR thermal infrared data: An application for Athens, Greece. *Journal of Solar Energy*, 80(4), p. 414 - 422.

Štěpánek, P. (2007). *ProClimDB - software for processing climatological datasets*. CHMI, regional office Brno.

Stooksbury, D. E.; Idso, C.D y Hubbard, K.G. (1999). The effects of data gaps on the calculated monthly mean maximum and minimum temperatures in the continental United States: A spatial and temporal study. *Journal of Climate*, 12(5), p. 1524-1533.

Thom, H. S. C. (1966). Normal degree days above any base by the universal truncation coefficient. *Monthly Weather Review*, 94, p. 461-465.

Tselepidaki, I.; Santamouris, M.; Asimakopoulos, D. y Kontoyiannidis, S. (1994). On the variability of cooling degree-days in an urban environment: application to Athens, Greece. *Energy and Buildings*, 21(2), p. 93-99.

Valor, E.; Meneu, V., y Caselles, V. (2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *Journal of Applied Meteorology*, 40(8), p. 1413-1421.

Valor, E.; Climent, F.; Meneu, V. y Caselles, V. (2002). El modelo español de consumo sectorial de electricidad, *Revista Española de Física*, 16(3), p.24-29.

Venäläinen, A.; Tammelin, B.; Tuomenvirta, H.; Jylhä, K.; Koskela, J.; Turunen, M. y Järvinen, P. (2004). The influence of climate change on energy production and heating energy demand in Finland. *Energy & Environment*, 15(1), p. 93-109.

Vicente-Serrano, S.M.; Saz-Sánchez, M.A. y Cuadrat, J.M. (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, 24(2), p. 161-180.

Vicente-Serrano, S. M.; Beguería, S.; López-Moreno, J. I.; García-Vera, M. A. y Stepanek, P. (2010). A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *International Journal of Climatology*, 30(8), p. 1146-1163.

Vogt, J.V; Viau, A.A. y Paquet, F. (1997). Mapping regional air temperatura fields using satellite-derived surface skin temperatures. *International Journal of Climatology*, 17(14), p. 1559-1579.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1.	Mecanismo de retroalimentación positiva del consumo energético por necesidades de climatización en el contexto del cambio climático.	9
Figura I.2.	Influencia no lineal de la temperatura en la demanda energética.	19
Figura I.3.	Puntos de saturación en la influencia de la temperatura en la demanda energética.	19
Figura I.4.	Determinación de las zonas climáticas de las provincias españolas.	35
Figura I.5.	Severidad climática de los municipios andaluces en términos de climatización.	36
Figura II.1.	Localización geográfica de las estaciones meteorológicas manuales entre 1950-2008.	39
Figura II.2.	Evolución del número de registros válidos (1950-2008).	41
Figura II.3.	Evolución del número de estaciones según disponibilidad anual de datos diarios (1950-2008).	41
Figura II.4.	Número de estaciones según longitud de las series.	42
Figura II.5.	Mesoclimas en Andalucía y observatorios seleccionados para el análisis de la duración mínima del periodo de observación.	45
Figura II.6.	Temperaturas medias mensuales acumuladas en el periodo 1961-90 en seis observatorios representativos de la región.	48
Figura II.7.	Evolución del número de registros diarios válidos según periodos de quince años consecutivos (1950-2008).	49
Figura II.8.	Número de observatorios según disponibilidad de datos diarios válidos.	50
Figura II.9.	Estaciones meteorológicas seleccionadas en el periodo de observación (1985-1999).	54
Figura II.10.	Líneas argumentales de los cuatro escenarios de emisiones futuras.	56
Figura II.11.	Proceso de determinación de un valor diario simulado de temperatura máxima para una estación meteorológica concreta y un MCG y escenario de emisiones determinado, según la metodología diseñada por la FIC.	60
Figura II.12.	Estaciones meteorológicas de los escenarios de simulación futura.	64
Figura III.1.	Valores puntuales observados (1985-1999) y previstos (CNCM3_A2_2071-2099) de GAC.	69
Figura III.2.	Valores puntuales observados (1985-1999) y previstos (CNCM3_A2_2071-2099) de GAR.	71
Figura III.3.	Histogramas de los GMC observados y previstos de enero y mayo. Los valores previstos hacen referencia al periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.	72

Figura III.4.	Histogramas de los GMR observados y previstos de enero y mayo. Los valores previstos hacen referencia al periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.	73
Figura III.5.	Diagramas de dispersión entre la temperatura media mensual de enero y agosto de algunos observatorios y su altitud.	81
Figura III.6.	Modelo digital de elevaciones y modelos digitales de continentalidad.	83
Figura III.7.	Estaciones de entrenamiento y test en el periodo de observación y en las proyecciones futuras.	87
Figura III.8.	Proceso de espacialización definitiva.	89
Figura IV.1.	Evolución de los valores medios regionales de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	91
Figura IV.2.	Evolución del rango de los valores de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	93
Figura IV.3.	Distribución de los valores de GAC en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	97
Figura IV.4.	Variación absoluta de las necesidades de calefacción anuales (GAC) en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	99
Figura IV.5.	Distribución de los valores de GAR en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	102
Figura IV.6.	Variación absoluta de las necesidades de refrigeración anuales en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	104
Figura IV.7.	Distribución de los valores de GACL en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	107
Figura IV.8.	Variación absoluta de las necesidades de climatización anuales en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	110
Figura IV.9.	Porcentaje de GAR sobre el total de GACL en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	113
Figura IV.10	Evolución intermensual de los valores medios regionales de GMC en los treintenarios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999).	116
Figura IV.11.	Ámbitos con una temperatura media mensual en enero superior a 14°C (umbral para el cálculo de los grados-día calefacción) según el MCG CNCM3 en el periodo 2071-2099.	117

Figura IV.12.	Evolución intermensual de los valores máximos regionales de GMC en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 en el escenario de emisiones A2 con respecto al periodo de observación (1985-1999).	118
Figura IV.13.	Evolución intermensual de los valores medios regionales de GMR en los trentenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999).	120
Figura IV.14.	Evolución de los valores medios regionales de GMCL de los meses de mayo y octubre, en los trentenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1 con respecto al periodo de observación (1985-1999).	122
Figura IV.15.	Distribución de los valores de GMC en el mes de enero en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	125
Figura IV.16.	Variación absoluta de las necesidades de calefacción en el mes de enero en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	127
Figura IV.17.	Distribución de los valores de GMR en el mes de julio en el periodo 1985-1999, y en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	130
Figura IV.18.	Variación absoluta de las necesidades de refrigeración en el mes de julio en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	132
Figura IV.19.	Necesidades de calefacción en el mes de octubre en el periodo de referencia y en el periodo 2071-2099 según el MCG CNCM3_A2 a tenor de los escenarios de emisiones A2 y B1.	133
Figura IV.20.	Variación absoluta de las necesidades de calefacción en el mes de octubre en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo 1985-1999, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	134
Figura IV.21.	Distribución de los valores de GMR en el mes de mayo en el periodo 1985-1999, y en el periodo 2071-2099 según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	135
Figura IV.22.	Mapa coroplético de la distribución de la población en los municipios de Andalucía a fecha de 1 de enero de 2014.	137
Figura IV.23.	Proceso de obtención de las celdas del GRID de población según el enfoque bottom-up.	139
Figura IV.24.	Distribución espacial de la población (GRID) en Andalucía y tasa de variación (%) de las necesidades de climatización en el periodo 2071-2099 con respecto al periodo de observación según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	142
Figura IV.25.	Valores de GAC en el término municipal de Córdoba en el periodo de observación y distribución espacial de la población mediante el GRID de población.	144
Figura IV.26.	Resolución espacial de los modelos climáticos utilizados y el GRID de población.	145

Figura IV.27.	Evolución de los valores medios regionales de GAC, GAR y GACL para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1 (ponderación versus no ponderación)	148
Figura IV.28.	Evolución y proyección de la población en Andalucía.	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1.	Mesoclima, localización y altitud de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la duración mínima del periodo de referencia.	45
Tabla II.2.	Modelos de circulación general utilizados en el proyecto Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía y sus características.	57
Tabla III.1.	Estadísticos descriptivos de las variables GMC y GAC en los observatorios del periodo de observación (1985-1999) y del periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.	67
Tabla III.2.	Estadísticos descriptivos de las variables GMR y GAR en los observatorios del periodo de observación (1985-1999) y del periodo 2071-2099 según la proyección CNCM3_A2.	68
Tabla III.3.	Correlaciones semiparciales entre las necesidades de calefacción y las variables fisiográficas en el periodo 1985-1999.	85
Tabla III.4.	Correlaciones semiparciales entre las necesidades de refrigeración y las variables fisiográficas en el periodo 1985-1999.	85
Tabla III.5.	Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de Pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de calefacción.	88
Tabla III.6.	Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de Pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de refrigeración.	88
Tabla IV.1.	Valores medios regionales de GAC, GAR y GACL en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 y sus tasas de cambio (%) con respecto al periodo de observación, según los MCGs CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	92
Tabla IV.2.	Superficie (Km ²) según las necesidades anuales de calefacción en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	96
Tabla IV.3.	Superficie (Km ²) según las necesidades anuales de refrigeración en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	100
Tabla IV.4.	Superficie (Km ²) según las necesidades anuales de climatización en el periodo de referencia (1985-1999) y en el treintenio 2071-2099, según los MCGS CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1.	106
Tabla IV.5.	Superficie (Km ²) según porcentaje de las necesidades de refrigeración respecto a las necesidades de climatización en el periodo de referencia (1985-1999) y en los treintenios 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	112
Tabla IV.6.	Distribución de la población andaluza según altitud y distancia al mar.	140
Tabla IV.7.	Porcentaje de población sometido a las distintas tasas de cambio (%) previstas de los GACL para el periodo 2071-2099 con respecto al periodo de observación, según el MCG CNCM3 y los escenarios de emisiones A2 y B1.	143

Tabla IV.8. Población media en el periodo 1985-1999, y población media prevista según distintos escenarios en los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Entre paréntesis se especifica el porcentaje de cambio con respecto al periodo 1985-1999. 150

ANEXO 1. LISTADO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Listado de estaciones seleccionadas en el periodo de observación (1985-1999):

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
5624C	340	4,96	Aguilar de la Frontera	353280	4152813
5624I	301	4,95	Aguilar, Laguna Zoñar	349684	4149548
4560	591	4,91	Alájar	178027	4197778
6364	440	4,56	Albox	575246	4138545
5739O	20	4,93	Alcalá del Río, Pedro Espiga	242985	4162157
6201	68	3,43	Algarrobo, La Mayora	407181	4069929
6006	10	2,82	Algeciras	279520	4001212
5733	476	4,99	Almadén de la Plata, Las Navas	229651	4187025
6325O	12	2,82	Almería, Aeropuerto	554392	4077363
4563	535	4,89	Almonaster la Real	166586	4198236
5860G	40	3,56	Almonte, Acebuche	182493	4106450
5856I	17	4,05	Almonte, Los Mimbrales	188036	4111801
6222I	293	3,43	Almuñécar, El Zahorí	440204	4069634
4589	296	4,63	Alosno, Tharsis - Minas	136173	4168382
6139	357	4,39	Alozaina	333905	4066600
5298C	199	5,15	Andújar, Explotaciones Forestales	406090	4209754
6152E	655	4,38	Antequera, Cortijo Robledo	373546	4089225
6150U	990	4,45	Antequera, El Torcal ICONA	362876	4090500
6097E	706	4,61	Archidona	376460	4105827
4527E	280	4,93	Aroche, Masera	150387	4211145
5834A	30	4,62	Aznalcázar, Dehesa Nueva	212724	4130925
5833O	20	4,66	Aznalcázar, La Juncosa	212028	4136505
5180E	809	5,17	Beas de Segura, Los Perales	511369	4238071
5818	96	4,68	Benacazón, Montegranado	215573	4136384
5113A	844	4,82	Benalúa de Guadix-Zayete	484943	4133782
6106	380	4,66	Bobadilla, Estación	346139	4100776
6328N	60	3,76	Cabo de Gata, Michelín	571352	4075269
5973	0	2,18	Cádiz, Observatorio	207990	4044418
5220	541	5,16	Canena	457884	4211541
5044E	1260	4,77	Caniles, C. Fraile	525692	4131589
6332I	15	2,03	Carboneras, Central Térmica	597918	4092176
5346O	716	5,21	Cardeña, Santa Helena	388779	4227729
4554E	12	3,09	Cartaya, Pemares	134376	4127305
5053E	1109	5,02	Castril, Las Pocas	523764	4185947
5428A	231	5,03	Castro del Río	369505	4172520
5038	800	5,10	Cazorla, Icona	500000	4195899
5085	1408	5,08	Cazorla, Nava de San Pedro	509674	4192576
5906O	6	3,06	Chipiona, Escuela de Capacitación	196429	4072599

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
6143	179	4,25	Coín	342693	4058665
6162	774	4,08	Comenar, Torrijos	377823	4076956
5402	85	5,11	Córdoba, Aeropuerto	337208	4189745
5442E	344	5,14	Córdoba, La Jarosa	332087	4197619
5429U	262	5,08	Córdoba, Pradagna	371477	4185808
5812O	10	4,74	Coria del Río	232236	4130279
5619E	151	4,99	Écija, Sotillo Gallego	329391	4152159
4609F	390	4,81	El Álamo 2	197289	4170369
5802A	100	4,95	El Arahal, Semillas Pacífico	273886	4127941
4608E	349	4,80	El Campillo, El Zumajo	183376	4176448
5459U	546	5,21	Espiel, Central Térmica	330812	4220959
6376E	424	4,74	Fuente de Piedra, Herriza	340969	4109751
5468E	139	5,11	Fuente Palmera, Molino de la Africana	319413	4181235
5524O	540	4,72	Fuente Vaqueros	429030	4120755
4515	560	4,93	Galaroza	173848	4203503
6050	602	4,24	Gaucín	292259	4044196
4603	28	4,30	Gibraleón, Coto Galindo	148440	4144497
5813E	110	4,78	Gines, Colegio	227313	4142659
5530E	559	4,69	Granada, Aeropuerto	430768	4116302
5514	679	4,64	Granada, Base Aérea	444045	4110656
5911	860	4,62	Grazalema	288439	4070934
5726B	844	5,14	Guadalcanal, ALCAID	251870	4221874
5112A	897	4,79	Guadix, Instituto Técnico	487594	4129339
4267E	539	5,32	Hinojosa del Duque, Observatorio	314250	4263515
5495	78	5,14	Hornachuelos, El Carrascal	302673	4181619
4605B	25	3,91	Huelva, Central Térmica	148767	4131138
4642E	20	4,07	Huelva, Ronda Este	153296	4133174
5071E	918	4,96	Huéscar, Icona	541373	4184908
5562E	738	4,75	Illora, Molino del Rey	420191	4124163
4546M	18	3,37	Isla Cristina, Cañada Corcho	118394	4128016
5536I	869	4,85	Iznalloz, El Frage	447771	4138369
5960	27	4,38	Jerez de la Frontera, Aeropuerto	226795	4071573
5154A	643	5,09	Jódar, I.N.M.	469207	4189299
5744S	15	4,86	La Algaba, Las Arenas	233018	4154695
6292O	150	3,95	La Mojonera, E.I.C.H.I.	526767	4071685
4622	87	4,56	La Palma del Condado	185688	4144123
5671	166	4,94	La Puebla de Cazalla	295035	4121846
5625A	209	5,03	La Rambla, Privilegio	343829	4167416
5611I	419	4,80	La Roda de Andalucía, Las Navas	340249	4118644
6258	639	4,34	Lanjarón	456354	4086176
6307	1725	4,52	Laujar, Cerecillo	508003	4100490

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
6308	1332	4,49	Laujar, Monterrey	508895	4098272
4546I	48	3,60	Lepe , Valdeluz	122934	4130036
5252	282	5,15	Linares, Torrubia	442067	4208309
5279U	439	5,20	Linares,V.O.R.	444805	4223825
5612O	461	4,85	Lora de Estepa	337737	4126462
5651O	60	5,10	Lora del Río, Priorato	285732	4174269
5873A	9	4,73	Los Palacios, E.C.A.	238097	4118985
5870A	16	4,77	Los Palacios, El Molinillo	245134	4116547
6342	535	4,35	Lubrín, El Hoyo	582524	4118641
5608I	420	4,90	Lucena, Cerro de las Puertas	361087	4143800
5603E	380	4,84	Lucena, Laguna Amarga	357340	4131655
6155A	18	3,43	Málaga, Aeropuerto	366845	4059365
6171A	13	3,00	Málaga, Carmelitas	372290	4064831
6076O	9	2,67	Marbella, Puerto Banús	324431	4040150
7194	1199	4,77	María	573162	4174033
5983U	96	4,33	Medina Sidonia, El Hundido	238151	4033453
5578U	874	4,80	Montefrío, Huerta de San Francisco	409621	4130927
5623E	338	4,99	Montilla, SEA	354281	4159455
5366A	202	5,15	Montoro, S.M.N.	378831	4206783
5796	83	4,89	Morón de la Frontera, Base Aérea	267340	4115904
6269	62	3,44	Motril	453579	4067332
4620	100	4,62	Niebla, El Guijo	182442	4152027
6327	394	4,26	Níjar	571213	4091910
5919U	512	4,74	Olvera, Cooperativa Agrícola	298706	4089560
6247	423	4,28	Órgiva	462579	4083928
6249	830	4,50	Padul	443964	4098453
6120	359	4,62	Pantano de Guadalhorce	339682	4088687
5879	80	4,78	Pantano de la Torre del Águila	254518	4102940
5729	340	5,08	Pantano del Pintado	240888	4207773
5836A	66	4,60	Pilas, Medina Garvey	207480	4133329
5562O	587	4,68	Pinos Puente, Fuensanta	420106	4115287
7045	1345	5,09	Pontones, C.H. Segura	528927	4219251
4275	649	5,27	Pozoblanco	338403	4249669
6046I	686	4,28	Pujerra	306813	4053848
6031	1139	4,36	Ronda, Los Quejigales	315924	4061418
7054	776	5,07	Salto de Miller	547271	4230433
6025U	24	3,75	San Roque, Cortijo Villanueva	281598	4012262
4544E	79	4,34	San Silvestre de Guzmán	109457	4146231
7056	1302	5,06	Santiago de la Espada, Patronato	539452	4218186
5783	20	4,87	Sevilla, Aeropuerto	243355	4145483
5790	9	4,80	Sevilla, Tablada	233441	4140239

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
63210	492	4,44	Tabernas, Planta Solar	555992	4105109
6001	0	2,14	Tarifa	265662	3988249
6114	558	4,72	Teba	329105	4094443
4638	57	4,38	Trigueros	159957	4144020
5945B	361	4,58	Ubrique, Instituto	281070	4062238
4575	294	4,69	Valverde del Camino, C.H.G.	168860	4167011
5988	39	4,07	Vejer de la Frontera, Las Lomas	241342	4020029
5060	1215	4,87	Vélez Blanco, Topares	567736	4190631
5943B	1038	4,55	Villaluenga del Rosario, ICONA	287353	4063190
5210	681	5,17	Villanueva del Arzobispo, Cámara Agraria	499124	4224747
5697E	24	5,00	Villanueva del Río y Minas, Aurora	260781	4166068
5693I	32	5,00	Villanueva del Río y Minas, San José	262483	4163797
4274	580	5,30	Villaralto	327237	4258783
5171A	349	5,12	Villatorres, Villagordo Colegio	435852	4199479

Listado de estaciones de los ELCCA:

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
4560	591	4,91	Alájar	178027	4197778
6364	440	4,56	Albox	575246	4138545
6179	931	4,49	Alfarnate	387868	4094572
6201	68	3,43	Algarrobo, La Mayora	407181	4069929
6006	10	2,82	Algeciras	279520	4001212
5733	476	4,99	Almadén de la Plata, Las Navas	229651	4187025
5403	644	4,88	Almedinilla	403572	4144311
6297	2	2,29	Almería	549048	4076221
4563	535	4,89	Almonaster la Real	166586	4198236
5858	10	3,78	Almonte, Doñana	193817	4099364
5856	29	4,07	Almonte, La Mediana	183716	4115297
4589	296	4,63	Alosno, Tharsis - Minas	136173	4168382
6139	357	4,39	Alozaina	333905	4066600
4558	701	4,93	Aracena	186911	4199658
4556	594	4,93	Aracena, Valdezufre	192986	4197205
4524	355	4,92	Aroche	152882	4207702
4528	418	4,89	Aroche, El Vínculo	154406	4202077
4614	233	4,71	Baldíos de Valverde	175043	4166766
5202	660	5,17	Beas de Segura	509625	4233630
5818	96	4,68	Benacazón, Montegranado	215573	4136384
5598	425	4,76	Benamejí, Alcochofares Altos	362493	4121580

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
6106	380	4,66	Bobadilla, Estación	346139	4100776
4532	567	4,85	Cabezas Rubias, Cumbres de En medio	140918	4195983
5973	0	2,18	Cádiz, Observatorio	207990	4044418
5220	541	5,16	Canena	457884	4211541
5038	800	5,10	Cazorla, Icona	500000	4195899
5085	1408	5,08	Cazorla, Nava de San Pedro	509674	4192576
5006	1007	5,10	Cazorla-Vadillo, Castril	506153	4197011
5976	28	3,44	Chiclana de la Frontera, Campano	218236	4028524
6143	179	4,25	Coín	342693	4058665
6162	774	4,08	Comenar, Torrijos	377823	4076956
5402	85	5,11	Córdoba, Aeropuerto	337208	4189745
5399	122	5,13	Córdoba, Miraflores	345254	4196250
4581	280	4,83	Cortegana, La Garnacha	148700	4192309
6370	89	4,03	Cuevas de Almanzora	599266	4128809
5826	395	4,77	Escacena del Campo, Las Contiendas	197928	4163676
6295	822	4,02	Félix	530305	4080572
4258	577	5,23	Fuente Obejuna, Cuenca	276222	4245603
4515	560	4,93	Galaroza	173848	4203503
6050	602	4,24	Gaucín	292259	4044196
4603	28	4,30	Gibraleón, Coto Galindo	148440	4144497
5514	679	4,64	Granada, Base Aérea	444045	4110656
5515	715	4,69	Granada, Cartuja	446745	4116186
5911	860	4,62	Grazalema	288439	4070934
5495	78	5,14	Hornachuelos, El Carrascal	302673	4181619
4605	21	3,93	Huelva	149655	4131101
5270	500	5,06	Jaén	430430	4181769
5960	27	4,38	Jerez de la Frontera, Aeropuerto	226795	4071573
4622	87	4,56	La Palma del Condado	185688	4144123
5671	166	4,94	La Puebla de Cazalla	295035	4121846
6258	639	4,34	Lanjarón	456354	4086176
6309	869	4,42	Laujar	509789	4093835
6307	1725	4,52	Laujar, Cerecillo	508003	4100490
6308	1332	4,49	Laujar, Monterrey	508895	4098272
5250	301	5,17	Linares, Fuente Higuera	448253	4214926
5252	282	5,15	Linares, Torrubia	442067	4208309
6339	115	4,02	Los Gallardos	594110	4114325
6342	535	4,35	Lubrín, El Hoyo	582524	4118641
6171	13	3,00	Málaga, Ciudad	372290	4064831
6168	438	3,87	Málaga, El Boticario	375975	4072544
6165	657	4,11	Málaga, Las Contadoras	376056	4078091
6077	14	1,83	Marbella, Instituto Laboral	330746	4042244

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
7194	1199	4,77	María	573162	4174033
5366	160	5,16	Montoro	378881	4210112
5796	83	4,89	Morón de la Frontera, Base Aérea	267340	4115904
6269	62	3,44	Motril	453579	4067332
4620	100	4,62	Niebla, El Guijo	182442	4152027
4621	200	4,62	Niebla, El Manzanito	174652	4156775
6327	394	4,26	Níjar	571213	4091910
6247	423	4,28	Órgiva	462579	4083928
6249	830	4,50	Padul	443964	4098453
5932	160	4,68	Pantano de Bornos	253746	4076307
5468	120	5,13	Pantano de Breña	320463	4188983
6120	359	4,62	Pantano de Guadalhorce	339682	4088687
5393	194	5,17	Pantano de Guadalmellato	353447	4211639
5947	371	4,65	Pantano de los Hurones	270285	4060299
6170	74	3,76	Pantano del Agujero	372373	4070378
5729	340	5,08	Pantano del Pintado	240888	4207773
5461	456	5,20	Pantano Puente Nuevo	330743	4217630
4286	600	5,28	Pedroche	346371	4255064
7045	1345	5,09	Pontones, C.H. Segura	528927	4219251
4275	649	5,27	Pozoblanco	338403	4249669
4602	21	4,46	Presa de Sancho	147930	4153416
6356	537	4,71	Purchena	556685	4133960
6031	1139	4,36	Ronda, Los Quejigales	315924	4061418
6268	25	3,37	Salobreña, Guadalfeo	449116	4067357
7054	776	5,07	Salto de Miller	547271	4230433
4599	120	4,43	San Bartolomé de la Torre	137262	4152762
5972	9	2,30	San Fernando	212359	4040938
7056	1302	5,06	Santiago de la Espada, Patronato	539452	4218186
5783	20	4,87	Sevilla, Aeropuerto	243355	4145483
5790	9	4,80	Sevilla, Tablada	233441	4140239
7062	1365	5,13	Siles, Acebas	536716	4241475
6246	1476	4,40	Soportújar, Casa Forestal	463499	4090580
6322	401	4,36	Tabernas	554243	4100660
6001	0	2,14	Tarifa	265662	3988249
6114	558	4,72	Teba	329105	4094443
6200	19	2,87	Torre del Mar, Azucarera	402693	4067760
4287	580	5,29	Torrecampo, Virgen de las Veredas	354328	4260467
5900	69	4,26	Trebujena	216521	4085240
4638	57	4,38	Trigueros	159957	4144020
5139	480	5,10	Úbeda, Propias del Guadiana	478893	4192597
4575	294	4,69	Valverde del Camino, C.H.G.	168860	4167011

ID	ALT	DISLOG	DENOMINACIÓN	X (UTM_25830)	Y (UTM_25830)
5988	39	4,07	Vejer de la Frontera, Las Lomas	241342	4020029
5060	1215	4,87	Vélez Blanco, Topares	567736	4190631
6199	68	3,60	Vélez-Málaga	401839	4071098
6343	60	3,75	Vera, Instituto	601119	4122173
5238	323	5,19	Vilches, Guadalen	455306	4221542
5210	681	5,17	Villanueva del Arzobispo, Cámara Agraria	499124	4224747
4274	580	5,30	Villarlalto	327237	4258783
4606	500	4,90	Zufre, Dehesa Jarrama	199580	4184734

ANEXO 2. CORRELACIONES SEMIPARCIALES ENTRE LAS NECESIDADES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN Y LAS VARIABLES FISIOGRAFICAS EN LOS ESCENARIOS FUTUROS

1. Correlaciones semiparciales entre las necesidades de calefacción y las variables fisiográficas en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099

Periodo	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2011-2040	CNCM3_A2	ALT	0'71	0'75	0'79	0'79	0'76	0'76	0'73	0'70	0'76
		DMA	0'06	0'04	0'01	0'01	0'01	0'02	0'01	0'05	0'02
		DLO	0'16	0'12	0'06	0'05	0'05	0'07	0'14	0'18	0'12
	CNCM3_B1	ALT	0'72	0'75	0'80	0'80	0'77	0'76	0'73	0'69	0'76
		DMA	0'05	0'04	0'01	0'01	0'01	0'01	0'01	0'05	0'02
		DLO	0'16	0'12	0'06	0'05	0'06	0'08	0'14	0'18	0'11
	ECHAM5_A2	ALT	0'67	0'73	0'79	0'79	0'78	0'76	0'73	0'68	0'75
		DMA	0'07	0'05	0'02	0'02	0'01	0'03	0'02	0'06	0'03
		DLO	0'19	0'13	0'06	0'06	0'07	0'07	0'14	0'18	0'12
	ECHAM5_B1	ALT	0'68	0'73	0'79	0'80	0'79	0'75	0'73	0'68	0'75
		DMA	0'07	0'05	0'03	0'02	0'01	0'02	0'02	0'05	0'03
		DLO	0'18	0'13	0'07	0'05	0'05	0'09	0'14	0'18	0'12

Periodo	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2041-2070	CNCM3_A2	ALT	0'69	0'76	0'79	0'78	0'75	0'77	0'72	0'68	0'75
		DMA	0'04	0'02	0'01	0'01	0'02	0'01	0'01	0'03	0'01
		DLO	0'18	0'12	0'06	0'05	0'04	0'07	0'14	0'20	0'12
	CNCM3_B1	ALT	0'70	0'75	0'79	0'79	0'78	0'76	0'72	0'69	0'75
		DMA	0'05	0'03	0'02	0'01	- 0'02	0'01	0'02	0'04	0'02
		DLO	0'17	0'14	0'06	0'04	0'05	0'08	0'14	0'18	0'12
	ECHAM5_A2	ALT	0'70	0'73	0'78	0'79	0'78	0'75	0'74	0'70	0'75
		DMA	0'05	0'04	0'02	0'02	0'01	0'03	0'02	0'04	0'02
		DLO	0'17	0'13	0'07	0'06	0'05	0'08	0'14	0'18	0'11
	ECHAM5_B1	ALT	0'69	0'72	0'78	0'80	0'74	0'68	0'74	0'69	0'75
		DMA	0'07	0'05	0'02	0'02	0'01	0'04	0'01	0'05	0'03
		DLO	0'17	0'13	0'07	0'06	0'05	0'11	0'14	0'18	0'13

Periodo	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2071-2099	CNCM3_A2	ALT	0'71	0'75	0'78	0'77	0'72	0'75	0'69	0'69	0'74
		DMA	0'02	0'01	0'01	0'01	- 0'03	0'01	0'01	0'01	0'01
		DLO	0'17	0'13	0'06	0'05	0'05	0'07	0'14	0'18	0'13
	CNCM3_B1	ALT	0'71	0'76	0'79	0'79	0'75	0'76	0'72	0'69	0'75
		DMA	0'04	0'03	0'01	0'03	0'05	0'01	0'01	0'04	0'01
		DLO	0'17	0'12	0'05	0'05	0'06	0'08	0'14	0'18	0'12
	ECHAM5_A2	ALT	0'71	0'73	0'77	0'77	0'76	0'72	0'73	0'69	0'74
		DMA	0'04	0'03	0'02	0'01	0'01	0'01	0'00	0'02	0'01
		DLO	0'16	0'13	0'06	0'05	0'05	0'09	0'12	0'17	0'11
	ECHAM5_B1	ALT	0'69	0'73	0'79	0'78	0'77	0'75	0'73	0'69	0'75
		DMA	0'06	0'04	0'02	0'02	0'01	0'03	0'01	0'04	0'02
		DLO	0'17	0'13	0'06	0'05	0'05	0'07	0'14	0'18	0'12

2. Correlaciones semiparciales entre las necesidades de refrigeración y las variables fisiográficas en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099

2011-2040	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	ALT		-0'74	-0'71	-0'65	-0'66	-0'78	-0'79	-0'74
	DMA		0'04	0'14	0'16	0'12	0'09	-0'06	0'10
	DLO		0'42	0'41	0'43	0'43	0'38	0'36	0'43
CNCM3_B1	ALT		-0'74	-0'70	-0'65	-0'64	-0'79	-0'79	-0'73
	DMA		0'07	0'14	0'15	0'12	0'08	-0'10	0'09
	DLO		0'42	0'42	0'44	0'44	0'39	0'38	0'44
ECHAM5_A2	ALT		-0'73	-0'70	-0'64	-0'67	-0'78	-0'80	-0'73
	DMA		0'09	0'15	0'16	0'13	0'05	-0'06	0'10
	DLO		0'42	0'40	0'43	0'43	0'39	0'38	0'43
ECHAM5_B1	ALT		-0'73	-0'70	-0'66	-0'67	-0'77	-0'78	-0'73
	DMA		0'10	0'15	0'15	0'12	0'04	-0'13	0'09
	DLO		0'42	0'40	0'43	0'43	0'40	0'39	0'44

2041-2070	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	ALT		-0'75	-0'70	-0'60	-0'60	-0'77	-0'80	-0'73
	DMA		0'09	0'14	0'18	0'14	0'12	-0'03	0'11
	DLO		0'42	0'42	0'43	0'43	0'37	0'33	0'44
CNCM3_B1	ALT		-0'73	-0'70	-0'63	-0'64	-0'76	-0'79	-0'73
	DMA		0'09	0'15	0'17	0'14	0'07	-0'08	0'10
	DLO		0'42	0'41	0'43	0'43	0'40	0'37	0'44
ECHAM5_A2	ALT		-0'72	-0'69	-0'63	-0'62	-0'76	-0'79	-0'72
	DMA		0'13	0'17	0'19	0'17	0'10	-0'06	0'12
	DLO		0'41	0'40	0'42	0'42	0'38	0'35	0'43
ECHAM5_B1	ALT		-0'73	-0'70	-0'63	-0'64	-0'76	-0'79	-0'73
	DMA		0'09	0'15	0'17	0'14	0'07	-0'08	0'10
	DLO		0'42	0'41	0'43	0'43	0'40	0'37	0'44

2071-2099	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	ALT		-0'71	-0'59	-0'50	-0'52	-0'74	-0'81	-0'68
	DMA		0'14	0'23	0'23	0'20	0'15	0'02	0'15
	DLO		0'41	0'39	0'41	0'40	0'35	0'31	0'42
CNCM3_B1	ALT		-0'74	-0'67	-0'59	-0'60	-0'78	-0'80	-0'72
	DMA		0'10	0'16	0'18	0'14	0'10	-0'06	0'11
	DLO		0'42	0'42	0'44	0'43	0'38	0'36	0'44
ECHAM5_A2	ALT		-0'71	-0'63	-0'51	-0'50	-0'69	-0'78	-0'67
	DMA		0'15	0'20	0'25	0'24	0'14	-0'02	0'16
	DLO		0'40	0'39	0'39	0'38	0'38	0'33	0'42
ECHAM5_B1	ALT		-0'71	-0'68	-0'59	-0'60	-0'72	-0'79	-0'70
	DMA		0'14	0'18	0'21	0'18	0'11	-0'06	0'14
	DLO		0'40	0'41	0'41	0'41	0'39	0'35	0'42

ANEXO 3. ESTADÍSTICOS DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EN LOS ESCENARIOS DE FUTURO

1. Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de calefacción.

	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2011-2040											
	CNCM3_A2	EMA	20'52	17'23	15'16	11'54	8'33	8'87	16'01	20'90	118'08
		R	0'91	0'91	0'90	0'89	0'84	0'84	0'88	0'90	0'90
	CNCM3_B1	EMA	18'85	15'86	14'45	11'29	6'97	8'14	13'56	19'43	106'92
		R	0'91	0'91	0'90	0'89	0'84	0'84	0'88	0'89	0'90
	ECHAM5_A2	EMA	21'76	16'66	15'69	12'92	7'76	7'40	13'74	19'65	114'18
		R	0'89	0'91	0'91	0'90	0'85	0'83	0'89	0'90	0'90
	ECHAM5_B1	EMA	21'60	16'79	16'36	13'04	7'51	8'64	15'01	20'38	119'43
	R	0'91	0'91	0'92	0'91	0'86	0'84	0'89	0'90	0'90	

	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2041-2070											
	CNCM3_A2	EMA	20'67	15'62	13'82	9'61	5'50	6'97	13'40	19'54	103'17
		R	0'89	0'91	0'90	0'89	0'84	0'85	0'87	0'88	0'89
	CNCM3_B1	EMA	20'98	16'89	15'53	11'77	6'44	8'26	15'53	20'65	115'06
		R	0'89	0'91	0'90	0'88	0'82	0'82	0'86	0'89	0'89
	ECHAM5_A2	EMA	20'21	16'91	16'27	12'68	6'56	7'19	13'94	19'15	112'52
		R	0'90	0'90	0'89	0'88	0'83	0'81	0'87	0'88	0'89
	ECHAM5_B1	EMA	21'53	16'65	16'00	13'38	6'54	8'80	14'61	20'18	111'25
	R	0'89	0'90	0'90	0'87	0'83	0'81	0'87	0'89	0'89	

	Proyección	Var	GMC								GAC
			E	F	M	A	M	O	N	D	
2071-2099											
	CNCM3_A2	EMA	19'68	15'47	12'73	8'23	3'87	5'17	12'59	18'03	93'19
		R	0'88	0'89	0'88	0'86	0'77	0'80	0'83	0'86	0'87
	CNCM3_B1	EMA	19'65	15'83	15'04	10'34	5'44	7'64	14'50	19'65	106'09
		R	0'90	0'91	0'89	0'88	0'81	0'82	0'86	0'88	0'89
	ECHAM5_A2	EMA	18'24	14'44	13'70	9'91	4'79	5'03	11'43	16'88	92'57
		R	0'90	0'90	0'88	0'86	0'80	0'77	0'84	0'87	0'88
	ECHAM5_B1	EMA	19'56	15'94	15'49	11'70	5'77	6'44	13'25	17'93	104'08
	R	0'90	0'91	0'91	0'89	0'83	0'82	0'87	0'89	0'90	

2. Error medio absoluto (EMA) y coeficiente de correlación de pearson (R) de los modelos mensuales y el modelo anual de las necesidades de refrigeración.

2011-2040	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	EMA		9'66	18'18	24'99	22'80	17'15	7'85	101'29
	R		0'82	0'84	0'84	0'82	0'85	0'81	0'85
CNCM3_B1	EMA		11'34	18'77	23'82	23'10	17'35	7'43	101'25
	R		0'84	0'84	0'84	0'82	0'85	0'81	0'85
ECHAM5_A2	EMA		10'62	18'24	25'10	22'94	15'73	8'25	99'23
	R		0'83	0'84	0'83	0'83	0'84	0'81	0'85
ECHAM5_B1	EMA		11'05	19'34	24'37	23'16	16'19	7'59	100'48
	R		0'84	0'84	0'84	0'82	0'82	0'79	0'84

2041-2070	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	EMA		13'44	20'28	26'07	23'83	20'94	9'26	114'29
	R		0'86	0'85	0'83	0'81	0'85	0'83	0'86
CNCM3_B1	EMA		12'89	20'20	26'24	24'08	19'50	9'39	113'87
	R		0'83	0'84	0'84	0'81	0'84	0'81	0'85
ECHAM5_A2	EMA		12'93	20'46	26'65	25'41	19'01	9'20	111'57
	R		0'86	0'85	0'84	0'83	0'84	0'82	0'86
ECHAM5_B1	EMA		10'71	19'42	25'62	24'01	17'24	7'99	103'20
	R		0'85	0'84	0'84	0'82	0'84	0'82	0'86

2071-2099	Proyección	Var	GMR						GAR
			M	J	J	A	S	O	
CNCM3_A2	EMA		19'11	27'65	31'61	28'94	24'61	14'23	149'56
	R		0'84	0'82	0'81	0'79	0'82	0'82	0'84
CNCM3_B1	EMA		14'51	20'82	26'07	24'80	20'06	9'57	116'12
	R		0'85	0'85	0'84	0'81	0'85	0'81	0'86
ECHAM5_A2	EMA		17'24	2'99	30'76	28'33	22'09	13'42	139'45
	R		0'82	0'81	0'81	0'80	0'80	0'78	0'82
ECHAM5_B1	EMA		15'30	23'06	28'16	26'29	20'22	10'45	121'72
	R		0'83	0'84	0'83	0'81	0'81	0'79	0'84

ANEXO 4. MODELOS DE REGRESIÓN Y COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN**1. Coeficientes de los modelos anuales de necesidades de calefacción y coeficientes de determinación**

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'8039	107'377	-78'604	0'82
CNCM3_A2-1140	0'7524	63'1203	-33'616	0'82
CNCM3_A2_4170	0'6192	50'4213	-42'257	0'79
CNCM3_A2_7100	0'5193	39'5172	-47'858	0'78
CNCM3_B1_1140	0'7288	58'3984	-25'590	0'81
CNCM3_B1_4170	0'6973	60'1678	-38'028	0'81
CNCM3_B1_7100	0'646	52'7585	-36'097	0'80
ECHAM5_A2_1140	0'7681	73'0079	-42'426	0'81
ECHAM5_A2_4170	0'6815	56'7395	-54'050	0'80
ECHAM5_A2_7100	0'5435	43'3417	-59'486	0'78
ECHAM5_B1_1140	0'7712	71'7846	-39'004	0'82
ECHAM5_B1_4170	0'7077	69'0028	-50'430	0'82
ECHAM5_B1_7100	0'6482	56'5315	-58'001	0'80

2. Modelos anuales de necesidades de refrigeración

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'3907	185'8438	-66'564	0'73
CNCM3_A2-1140	-0'4699	205'065	-1'876	0'72
CNCM3_A2_4170	-0'5483	247'7765	45'203	0'73
CNCM3_A2_7100	-0'6204	304'4531	159'085	0'71
CNCM3_B1_1140	-0'4815	212'7379	-3'635	0'72
CNCM3_B1_4170	-0'5132	231'8568	11'301	0'73
CNCM3_B1_7100	-0'535	246'9856	37'405	0'72
ECHAM5_A2_1140	-0'4592	202'4194	-19'645	0'72
ECHAM5_A2_4170	-0'5306	241'8419	20'703	0'72
ECHAM5_A2_7100	-0'5803	294'3828	129'231	0'69
ECHAM5_B1_1140	-0'4529	199'0797	-14'219	0'71
ECHAM5_B1_4170	-0'4823	217'5298	2'747	0'72
ECHAM5_B1_7100	-0'5419	258'074	44'479	0'71

3. Modelos mensuales de necesidades de calefacción**Enero:**

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'1272	28'3589	-10'640	0'83
CNCM3_A2-1140	0'1235	18'2463	-9'617	0'83
CNCM3_A2_4170	0'1099	17'2128	-12'712	0'80
CNCM3_A2_7100	0'1042	13'2806	-14'658	0'79
CNCM3_B1_1140	0'1185	17'6266	-7'722	0'83
CNCM3_B1_4170	0'1153	17'671	-8'674	0'80
CNCM3_B1_7100	0'1123	16'3324	-10'115	0'81
ECHAM5_A2_1140	0'1201	22'8024	-12'384	0'81

ECHAM5_A2_4170	0'1153	17'6064	-17'032	0'81
ECHAM5_A2_7100	0'1078	15'1474	-19'782	0'81
ECHAM5_B1_1140	0'1215	21'5527	-11'181	0'83
ECHAM5_B1_4170	0'1196	20'6827	-12'834	0'80
ECHAM5_B1_7100	0'1132	18'1458	-20'282	0'81

Febrero:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'1197	17'2985	-1'666	0'83
CNCM3_A2-1140	0'1093	11'6709	1'458	0'84
CNCM3_A2_4170	0'0972	8'2867	-0'504	0'83
CNCM3_A2_7100	0'0927	7'8529	-5'042	0'81
CNCM3_B1_1140	0'1112	11'5813	2'086	0'83
CNCM3_B1_4170	0'1072	11'5659	-2'358	0'82
CNCM3_B1_7100	0'1034	9'9845	-2'072	0'82
ECHAM5_A2_1140	0'1089	13'368	-2'771	0'83
ECHAM5_A2_4170	0'1017	11'6886	-6'609	0'82
ECHAM5_A2_7100	0'0874	9'4101	-8'792	0'81
ECHAM5_B1_1140	0'1058	13'0046	-1'926	0'83
ECHAM5_B1_4170	0'1003	12'2296	-4'606	0'82
ECHAM5_B1_7100	0'0985	11'7113	-7'414	0'82

Marzo:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'1068	8'9457	3'807	0'81
CNCM3_A2-1140	0'1023	4'6583	5'030	0'81
CNCM3_A2_4170	0'0905	3'2524	4'364	0'81
CNCM3_A2_7100	0'076	2'6796	0'499	0'79
CNCM3_B1_1140	0'1036	4'1155	7'464	0'82
CNCM3_B1_4170	0'103	4'839	5'075	0'81
CNCM3_B1_7100	0'0965	3'5816	7'377	0'80
ECHAM5_A2_1140	0'1045	6'243	7'212	0'82
ECHAM5_A2_4170	0'1016	5'306	3'649	0'80
ECHAM5_A2_7100	0'0828	3'7652	0'074	0'79
ECHAM5_B1_1140	0'1048	7'3229	6'916	0'83
ECHAM5_B1_4170	0'1038	6'3487	3'060	0'80
ECHAM5_B1_7100	0'1021	5'4765	4'529	0'82

Abril:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'088	8'1473	-6'334	0'81
CNCM3_A2-1140	0'0753	2'1789	1'074	0'80
CNCM3_A2_4170	0'0611	1'8246	-1'599	0'80
CNCM3_A2_7100	0'0486	1'1575	-2'215	0'76
CNCM3_B1_1140	0'0784	1'2957	3'537	0'80
CNCM3_B1_4170	0'0755	2'0292	1'383	0'79
CNCM3_B1_7100	0'0659	1'6581	0'043	0'78
ECHAM5_A2_1140	0'0906	3'6638	1'401	0'80
ECHAM5_A2_4170	0'0812	2'526	1'171	0'79
ECHAM5_A2_7100	0'0583	1'5133	-0'635	0'76
ECHAM5_B1_1140	0'0943	2'8997	4'087	0'82
ECHAM5_B1_4170	0'0906	2'8863	2'049	0'78

ECHAM5_B1_7100	0'0741	2'523	-0'022	0'78
-----------------------	--------	-------	--------	------

Mayo:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'0509	2'2781	-2'638	0'74
CNCM3_A2-1140	0'0471	0'7307	-1'329	0'73
CNCM3_A2_4170	0'0303	-0'2218	-0'18	0'72
CNCM3_A2_7100	0'0183	-0'3831	0'065	0'65
CNCM3_B1_1140	0'0406	0'0159	0'110	0'74
CNCM3_B1_4170	0'0362	-0'4821	0'789	0'70
CNCM3_B1_7100	0'0283	-0'3063	0'035	0'69
ECHAM5_A2_1140	0'0465	-0'1951	2'028	0'74
ECHAM5_A2_4170	0'037	-0'6439	1'82	0'71
ECHAM5_A2_7100	0'0255	-0'9131	1'676	0'68
ECHAM5_B1_1140	0'0459	-0'3579	2'249	0'75
ECHAM5_B1_4170	0'0265	1'4453	2'475	0'72
ECHAM5_B1_7100	0'0311	-0'6328	1'561	0'70

Octubre:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'0552	2'7122	-7'106	0'73
CNCM3_A2-1140	0'048	0'8630	-3'471	0'73
CNCM3_A2_4170	0'0386	-0'1136	-1'604	0'72
CNCM3_A2_7100	0'0257	-0'7728	0'240	0'67
CNCM3_B1_1140	0'0477	0'8008	-3'769	0'72
CNCM3_B1_4170	0'0419	0'4702	-2'83	0'71
CNCM3_B1_7100	0'0390	0'0394	-2'036	0'69
ECHAM5_A2_1140	0'0421	0'3911	-2'68	0'72
ECHAM5_A2_4170	0'0354	0'2785	-2'659	0'70
ECHAM5_A2_7100	0'0232	-0'4171	-0'775	0'67
ECHAM5_B1_1140	0'0454	1'3213	-5'095	0'74
ECHAM5_B1_4170	0'0375	1'39	-5'381	0'72
ECHAM5_B1_7100	0'0321	-0'2064	-1'434	0'68

Noviembre:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'099	14'2902	-24'413	0'79
CNCM3_A2-1140	0'0911	8'8213	-13'107	0'80
CNCM3_A2_4170	0'071	6'238	-12'491	0'79
CNCM3_A2_7100	0'0569	4'9237	-10'491	0'72
CNCM3_B1_1140	0'0835	7'8032	-13'483	0'80
CNCM3_B1_4170	0'0788	8'2348	-13'150	0'76
CNCM3_B1_7100	0'0751	6'8212	-12'278	0'76
ECHAM5_A2_1140	0'0889	9'063	-16'219	0'80
ECHAM5_A2_4170	0'0783	6'3633	-13'543	0'77
ECHAM5_A2_7100	0'0584	3'8402	-9'935	0'72
ECHAM5_B1_1140	0'0901	9'271	-15'869	0'79
ECHAM5_B1_4170	0'0863	8'1456	-16'028	0'78
ECHAM5_B1_7100	0'0736	6'3917	-14'383	0'77

Diciembre:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	0'1228	25'0575	-27'712	0'81
CNCM3_A2-1140	0'1154	18'1934	-16'822	0'81
CNCM3_A2_4170	0'0983	15'4209	-19'458	0'80
CNCM3_A2_7100	0'0884	11'3866	-16'976	0'77
CNCM3_B1_1140	0'1119	18'2285	-16'518	0'81
CNCM3_B1_4170	0'1116	17'4835	-20'316	0'80
CNCM3_B1_7100	0'1028	16'0683	-18'795	0'78
ECHAM5_A2_1140	0'1146	19'9076	-21'953	0'81
ECHAM5_A2_4170	0'1048	15'2787	-23'031	0'80
ECHAM5_A2_7100	0'0876	11'7476	-22'092	0'77
ECHAM5_B1_1140	0'1103	18'8215	-20'640	0'81
ECHAM5_B1_4170	0'1098	17'6909	-21'382	0'80
ECHAM5_B1_7100	0'0985	14'3083	-21'861	0'79

4. Modelos mensuales de necesidades de refrigeración**Mayo:**

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0329	15'3892	-19'511	0'71
CNCM3_A2-1140	-0'0433	16'8749	-15'151	0'70
CNCM3_A2_4170	-0'0688	28'5017	-22'780	0'73
CNCM3_A2_7100	-0'0872	39'5069	-23'637	0'73
CNCM3_B1_1140	-0'0533	22'1039	-23'114	0'72
CNCM3_B1_4170	-0'0591	24'8629	-26'152	0'71
CNCM3_B1_7100	-0'0694	29'7188	-25'567	0'73
ECHAM5_A2_1140	-0'0470	19'8853	-23'972	0'71
ECHAM5_A2_4170	-0'0633	27'9586	-32'680	0'72
ECHAM5_A2_7100	-0'0754	34'6187	-29'459	0'71
ECHAM5_B1_1140	-0'05	21'4468	-26'784	0'72
ECHAM5_B1_4170	-0'0512	21'8944	-26'756	0'72
ECHAM5_B1_7100	-0'0684	30'5933	-30'731	0'71

Junio:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0591	29'1291	-20'506	0'71
CNCM3_A2-1140	-0'0791	36'4642	-25'311	0'72
CNCM3_A2_4170	-0'0913	43'8915	-15'055	0'73
CNCM3_A2_7100	-0'0977	58'099	0'256	0'71
CNCM3_B1_1140	-0'0824	39'0653	-23'765	0'72
CNCM3_B1_4170	-0'0871	41'6335	-21'434	0'71
CNCM3_B1_7100	-0'0905	45'9304	-18'537	0'74
ECHAM5_A2_1140	-0'0784	36'3843	-28'977	0'71
ECHAM5_A2_4170	-0'0919	44'775	-26'770	0'73
ECHAM5_A2_7100	-0'0954	51'8501	-11'903	0'70
ECHAM5_B1_1140	-0'0821	38'5808	-28'929	0'72
ECHAM5_B1_4170	-0'0849	40'0051	-26'967	0'72
ECHAM5_B1_7100	-0'0976	49'4203	-24'925	0'71

Julio:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0824	45'529	1'969	0'71
CNCM3_A2-1140	-0'0987	53'1598	-2'445	0'72
CNCM3_A2_4170	-0'096	57'4689	8'542	0'71
CNCM3_A2_7100	-0'0904	65'5851	38'588	0'70
CNCM3_B1_1140	-0'0958	51'653	0'403	0'72
CNCM3_B1_4170	-0'0985	55'7672	3'882	0'72
CNCM3_B1_7100	-0'094	57'3967	11'772	0'72
ECHAM5_A2_1140	-0'0967	52'4097	-5'032	0'71
ECHAM5_A2_4170	-0'1022	57'6845	4'938	0'72
ECHAM5_A2_7100	-0'0935	66'6115	29'817	0'70
ECHAM5_B1_1140	-0'0958	50'2076	-1'808	0'73
ECHAM5_B1_4170	-0'0987	54'8928	1'645	0'72
ECHAM5_B1_7100	-0'0992	60'2663	11'708	0'71

Agosto:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0749	36'0735	39'455	0'69
CNCM3_A2-1140	-0'0893	45'0208	28'31	0'70
CNCM3_A2_4170	-0'0852	48'4526	46'036	0'68
CNCM3_A2_7100	-0'0827	55'0131	70'675	0'66
CNCM3_B1_1140	-0'0882	46'0381	31'759	0'70
CNCM3_B1_4170	-0'088	47'7604	38'433	0'69
CNCM3_B1_7100	-0'0859	48'1592	47'230	0'68
ECHAM5_A2_1140	-0'0929	46'1129	20'768	0'71
ECHAM5_A2_4170	-0'0958	53'0778	29'386	0'70
ECHAM5_A2_7100	-0'0866	60'9291	53'282	0'67
ECHAM5_B1_1140	-0'091	45'0984	21'396	0'70
ECHAM5_B1_4170	-0'0919	48'9521	25'88	0'70
ECHAM5_B1_7100	-0'0936	54'5196	33'451	0'68

Septiembre:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0703	21'2833	25'958	0'77
CNCM3_A2-1140	-0'0854	31'0123	20'865	0'74
CNCM3_A2_4170	-0'1023	38'9661	29'405	0'74
CNCM3_A2_7100	-0'106	41'8921	53'443	0'71
CNCM3_B1_1140	-0'0883	31'653	20'525	0'74
CNCM3_B1_4170	-0'0932	35'1245	23'497	0'73
CNCM3_B1_7100	-0'0969	36'2048	28'733	0'72
ECHAM5_A2_1140	-0'0756	27'0812	20'881	0'72
ECHAM5_A2_4170	-0'0909	34'5622	33'687	0'73
ECHAM5_A2_7100	-0'0937	41'9378	53'621	0'69
ECHAM5_B1_1140	-0'0742	26'6609	22'786	0'71
ECHAM5_B1_4170	-0'0842	31'891	24'777	0'73
ECHAM5_B1_7100	-0'089	36'7103	39'269	0'69

Octubre:

Escenario	Coeficientes de los modelos			R ²
	<i>a</i> (altitud)	<i>b</i> (dislog)	<i>c</i>	
1985-1999	-0'0314	6'741	9'077	0'71
CNCM3_A2-1140	-0'0354	9'203	7'733	0'69
CNCM3_A2_4170	-0'046	11'61	14'229	0'71
CNCM3_A2_7100	-0'0689	17'626	29'586	0'69
CNCM3_B1_1140	-0'0325	8'215	7'422	0'68
CNCM3_B1_4170	-0'0433	12'143	7'509	0'69
CNCM3_B1_7100	-0'0443	11'317	11'991	0'68
ECHAM5_A2_1140	-0'0383	10'559	6'862	0'70
ECHAM5_A2_4170	-0'0443	11'179	19'636	0'70
ECHAM5_A2_7100	-0'0615	15'871	37'854	0'66
ECHAM5_B1_1140	-0'0312	7'81	9'264	0'66
ECHAM5_B1_4170	-0'0377	9'762	12'184	0'70
ECHAM5_B1_7100	-0'048	12'207	21'565	0'67