

Redefiniendo las zonas climáticas de España: una nueva clasificación climática para la eficiencia energética de edificios

Qianhui Zheng¹ | Blanca Arellano-Ramos² | Josep Roca-Cladera³

Recibido: 04-08-2023 | Versión final: 16-10-2023

Resumen

Este estudio aborda algunas de las limitaciones inherentes del Código Técnico de la Edificación (CTE), desarrollando una nueva metodología de clasificación climática para modificar y mejorar el CTE. A partir de la recopilación de datos climáticos de los 30 años (1991-2020) y, en función de las diferentes influencias climáticas, se ha segmentado el territorio en función de dos dimensiones: las zonas de humedad y las zonas térmicas, que se determinan principalmente por los patrones de precipitación y temperatura, respectivamente. Además, también se han considerado factores geográficos como la proximidad al mar, la latitud, longitud y la altitud. Utilizando el análisis de clúster k-medias y la “regla del codo” (Elbow method), se ha identificado la configuración óptima de los grupos para ambas zonas, dividiendo España en 5 zonas de humedad y 7 zonas térmicas. Finalmente, se ha obtenido una nueva clasificación climática de España, dividida en 26 zonas. Esta clasificación climática además de permitir una evaluación precisa de la tipificación de climas realizada por el CTE, enriquece de forma significativa nuestra comprensión de la diversidad climática de España. De hecho, esta nueva clasificación proporcionará una guía más precisa para el diseño de edificios y la optimización de su eficiencia energética.

Palabras clave: clasificación climática; Código Técnico de la Edificación; eficiencia energética de edificios

Citación

Zheng, Q. et al. (2023). Redefiniendo las zonas climáticas de España: una nueva clasificación climática para la eficiencia energética de edificios. *ACE: Architecture, City and Environment*, 18(53), 12087. <https://doi.org/10.5821/ace.18.53.12087>

Redefining the Climate Zones of Spain: A New Climate Classification for Building Energy Efficiency

Abstract

This study tackles the inherent limitations of the Technical Building Code (CTE), by developing a new climate classification methodology to modify and enhance the CTE. We have collected climate data over a 30-year period (1991-2020) and, based on different climatic influences, have divided the climate data into two dimensions: the humidity zone and the thermal zone, which are primarily determined by precipitation patterns and temperature patterns, respectively. In addition, we have also taken into account geographical factors such as proximity to the sea and altitude. By using k-means cluster analysis and the elbow rule, we have identified the optimal configuration of clusters for both zones, dividing Spain into 5 humidity zones and 7 thermal zones. Ultimately, we have obtained a new climatic classification of Spain, divided into 26 zones. This enhancement not only addresses the shortcomings of the CTE but also greatly enriches our understanding of Spain's climate diversity. Indeed, this new classification will provide a more precise guide for building design and the optimization of energy efficiency.

Keywords: Climate classification; Building technical code; Building energy efficiency

¹ Máster en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica, Doctoranda Universitat Politècnica de Catalunya, UPC (ORCID: [0000-0003-1497-3033](https://orcid.org/0000-0003-1497-3033)), ² Doctora, Arquitecta, Profesora lectora, Departamento de Tecnología de la Arquitectura (TA), UPC (ORCID: [0000-0001-7128-3667](https://orcid.org/0000-0001-7128-3667), Scopus Author ID: [57200179787](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=57200179787), WoS ResearcherID: [1-7710-2016](https://orcid.org/1-7710-2016)), ³ Doctor, Arquitecto, Catedrático emérito, Departamento de Tecnología de la Arquitectura (TA), UPC (ORCID: [0000-0003-3970-6505](https://orcid.org/0000-0003-3970-6505), Scopus Author ID: [57190397450](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=57190397450), WoS ResearcherID: [U-2243-2019](https://orcid.org/U-2243-2019)) josep.roca@upc.edu

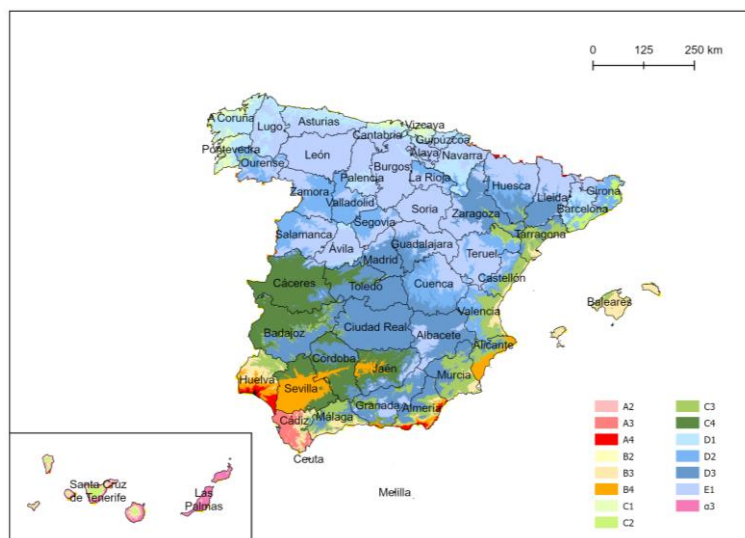
1. Introducción

Con el acelerado cambio climático global (IPCC, 2014), el problema de la eficiencia energética de los edificios se está volviendo cada vez más importante. Estudios previos han demostrado que la eficiencia energética de un edificio está profundamente influenciada por las condiciones climáticas en las que se encuentra. Por ejemplo, Li et al (2023) han investigado el potencial de ahorro de energía del sistema de intercambiador de calor tierra-aire (EAHX), integrado en un edificio Passivhaus en diferentes climas en China, con el objetivo de lograr una baja demanda en calefacción, refrigeración y deshumidificación. Los resultados mostraron que la eficiencia del ahorro de energía del sistema EAHX varía dependiendo de las zonas climáticas. Además, Jentsch et al (2008) han estudiado el impacto del cambio climático en la demanda de energía de los edificios a través de la simulación de escenarios de cambio climático futuro. Los hallazgos indicaron que la temperatura y la radiación solar tienen un impacto significativo en la demanda de energía de los edificios. Por lo tanto, la definición precisa de la zonificación climática del territorio es fundamental para estudiar los efectos del clima urbano en el consumo y la eficiencia energética.

En España, la transposición de la Directiva Europea sobre el rendimiento energético de los edificios (European Union, 2010) se ha implementado a través del Código Técnico de Edificación, que divide el territorio en zonas climáticas y evalúa el rendimiento energético de los edificios basándose en ellas. Sin embargo, la división climática del CTE se basa en criterios administrativos ("provincias", NUT3) y la altitud sobre el nivel del mar, lo que simplifica excesivamente la realidad climática de España y no refleja de manera precisa las condiciones climáticas reales en las distintas ciudades.

El Código Técnico de Edificación (CTE) segmenta el territorio en función de las estaciones climáticas, diferenciando los meses invernales, que corresponden al periodo donde prevalece la utilización de sistemas de calefacción, y los meses estivales, caracterizados por el empleo de sistemas de refrigeración. Atendiendo a la severidad climática de verano, establece cuatro áreas climáticas estivales: 1, 2, 3, 4. El área 1 denota la región con las necesidades de refrigeración más reducidas, mientras que el área 4 representa la que tiene las exigencias más elevadas en este aspecto. En contraposición, y basándose en la severidad del clima invernal, se definen seis zonas invernales: α , A, B, C, D, E, comenzando con la zona α , que simboliza la menor demanda de calefacción, y culminando con la zona E, que refleja la máxima necesidad de calefacción. En su documento básico de Ahorro de Energía DB H1 (Ministerio de Fomento, 2013), se puede determinar la zona climática de un edificio según la provincia y la altitud sobre el nivel del mar donde se ubica. La Figura 1 muestra la clasificación climática del CTE, obtenida utilizando un DTM de 200 metros.

Figura 1. Clasificación de zonas climáticas del CTE



Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Fomento (2013).

Según el CTE, la etapa comprendida entre junio y septiembre se categoriza como verano, mientras que de octubre a mayo se identifica como invierno. Esta división de verano e invierno es abiertamente discutible. Fruto del proceso de calentamiento global los meses de “verano” se alargan en el tiempo, mientras que los de “invierno” se acortan. Dependiendo de la latitud, altitud y distancia al mar, el “verano” puede prolongarse en la actualidad hasta 6 meses (mayo-octubre), mientras que el “invierno” se reduce a los meses de diciembre-febrero. AEMET (2019) considera que los veranos se han incrementado en casi 5 semanas en relación a inicios de los años 80, unos 9 días por década. Por su parte Roca et al (2023) han estimado que, de promedio en el conjunto de España, los días de verano ($TX > 20$) han pasado de 92 en la década 1971-1980 a 132 en la última década.

A nivel internacional, existen dos métodos de clasificación climática ampliamente reconocidos. El científico Wladimir Köppen propuso a principios del siglo XX una clasificación climática mundialmente reconocida (Köppen and Geiger, 1938), basada principalmente en la temperatura y las precipitaciones para determinar los diferentes tipos de clima a nivel mundial. Este método todavía es muy utilizado y es empleado por numerosos académicos e instituciones para investigaciones climáticas globales y locales. El otro es el estándar establecido por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ANSI/ASHRAE, 2013), que tiene en cuenta una variedad de factores climáticos, como la temperatura, las precipitaciones, los grados día de refrigeración (CDD) y los grados día de calefacción (HDD), y se aplica ampliamente en el diseño de edificios, la evaluación de la eficiencia energética y otras áreas (Kim et al, 2021; Kalbassi & Hassani, 2022). Aunque ambos métodos tienen sus ventajas, todavía necesitan ser ajustados para su aplicación práctica en España.

El objetivo de este trabajo es desarrollar, basándose en la metodología establecida en las clasificaciones climáticas de Köppen y en la Norma de ASHRAE, una nueva clasificación climática dirigida a comprender el desempeño del clima en España, así como, en consecuencia, mejorar la evaluación energética de edificios en España. La clasificación de zonas climáticas que aquí se presenta, representa una visión alternativa a la desarrollada en el CTE, proporcionando una información climática más detallada para el análisis del consumo energético de los edificios. La nueva clasificación climática utiliza datos e indicadores climáticos más detallados y considera factores geográficos, proporcionando una tipificación de los climas más detallada y enriquecida para la investigación energética en edificios, además de ser una modificación y mejora del CTE. Con este trabajo, esperamos que la nueva clasificación pueda considerar adecuadamente los diversos factores climáticos que influyen en la eficiencia energética de los edificios y logre un equilibrio adecuado entre ellos. Además, la nueva clasificación debería proporcionar una guía más precisa para el diseño de sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) y el diseño de edificios pasivos, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios en España.

2. Sistema de Clasificación Climática

Se exploran a continuación los principios y criterios fundamentales de los dos principales sistemas de clasificación climática: la clasificación climática de Köppen y la Norma de ASHRAE, y trataremos de aplicarlos para clasificar las zonas climáticas a España.

1.1 Clasificación climática de Köppen

Como se ha indicado antes, la clasificación climática de Köppen fue propuesta por Wladimir Köppen a principios del siglo XX. La intención original de Köppen era revelar las relaciones fundamentales entre la distribución geográfica y los tipos de clima a través de una clasificación precisa del clima global a escala mundial. La clasificación climática de Köppen, por tanto, se basa principalmente en dos parámetros climáticos fundamentales: temperatura y precipitación. Divide el clima global en cinco categorías principales, es decir, clima de selva tropical (A), clima árido (B), clima templado (C), clima monzónico frío (D) y clima polar (E). Estas cinco categorías se subdividen aún más en múltiples subcategorías. Por ejemplo, el clima templado (C) se subdivide en mediterráneo (Cs),

monzónico (Cw) y oceánico (Cf). Estas clasificaciones más detalladas se basan en patrones de precipitación (como la precipitación estacional, la precipitación anual, etc.) y condiciones de temperatura (como la temperatura máxima en verano, la temperatura mínima en invierno, etc.) de áreas específicas.

La Tabla 1 presenta las características principales de la clasificación de Köppen. A su vez la Figura 2 muestra la adaptación de la metodología de Köppen a la realidad climática de España (para los años 1991-2020).

Tabla 1. Clasificación climática de Köppen

C.1	C.2	C.3	Descripción	Criterio diferenciador
A			Climas tropicales	La temperatura del mes más frío es mayor o igual a 18 °C.
	Af		Selva Tropical	La precipitación del mes más seco es mayor o igual a 60 mm.
	Am		Monzón Tropical	a precipitación del mes más seco es mayor o igual a 100 - (precipitación total anual en mm/25) mm.
	As		Sabana Tropical	La precipitación del mes más seco en verano es menor a 60 mm.
	Aw		Sabana Tropical	La precipitación del mes más seco en invierno es menor a 60 mm.
B			Climas secos	La precipitación anual total es menos de 10 veces el umbral de sequedad.
	BW		Desierto	La precipitación anual total es menos o igual a 5 veces el umbral de sequedad.
		BWh		La temperatura media anual es mayor o igual a 18 °C.
		BWk		La temperatura media anual es menor a 18 °C.
	BS		Semiárido	La precipitación anual total es mayor a 5 veces el umbral de sequedad.
		BSh		La temperatura media anual es mayor o igual a 18 °C.
	BSk		La temperatura media anual es menor a 18 °C.	
C			Climas templados	La temperatura del mes más frío es superior a -3 °C e inferior a 18 °C.
	Cs		Mediterráneo	La precipitación en el mes más seco del verano es menor que en el mes más seco del invierno, la precipitación en el mes más húmedo del invierno es más del triple que en el mes más seco del verano, y la precipitación en el mes más seco del verano es menos de 40 mm.
		Csa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
		Csb		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C y hay al menos 4 meses con temperaturas mayores o iguales a 10 °C.
	Cw		Monzónico	La precipitación en el mes más húmedo del verano es más de 10 veces la precipitación en el mes más seco del invierno, y la precipitación en el mes más seco del invierno es menor que en el mes más húmedo del verano.
		Cwa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
		Cwb		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C y hay al menos 4 meses con temperaturas mayores o iguales a 10 °C.
		Cwc		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es mayor a -38 °C.
	Cf		Oceánico	No Cs o Cw.
		Cfa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
	Cfc		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es mayor a -38 °C.	
D			Clima Continental	
	Ds		Continental mediterráneo	La precipitación en el mes más seco del verano es menor que en el mes más seco del invierno, la precipitación en el mes más húmedo del invierno es más del triple que en el mes más seco del verano, y la precipitación en el mes más seco del verano es menos de 40 mm.
		Dsa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
		Dsb		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C y hay al menos 4 meses con temperaturas mayores o iguales a 10 °C.
		Dsc		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es mayor a -38 °C.
	Dw		Continental monzónico	La precipitación en el mes más húmedo del verano es más de 10 veces la precipitación en el mes más seco del invierno, y la precipitación en el mes más seco del invierno es menor que en el mes más húmedo del verano.
		Dwa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
		Dwb		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C y hay al menos 4 meses con temperaturas mayores o iguales a 10 °C.
		Dwc		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es mayor a -38 °C.

	Df	Continental húmedo	No Ds o Dw.
	Dfa		La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 22 °C.
	Dfb		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C y hay al menos 4 meses con temperaturas mayores o iguales a 10 °C.
	Dfc		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es mayor a -38 °C.
	Dfd		La temperatura del mes más cálido es menor a 22 °C, hay al menos 4 meses con temperaturas menores a 10 °C, y la temperatura del mes más frío es menor o igual a -38 °C.
E		Climas polares	La temperatura del mes más cálido es inferior a 10 °C.
	ET	Tundra	La temperatura del mes más cálido es mayor o igual a 0 °C.
	EF	Casquete de Hielo	La temperatura del mes más cálido es menor a 0 °C.
El umbral de sequedad se da en mm y depende de la temperatura media anual (Tann) en °C. Se calcula de la siguiente manera: si al menos 2/3 de la precipitación anual ocurre en invierno, entonces el umbral de sequedad es 2×Tann; si al menos 2/3 de la precipitación anual ocurre en verano, entonces el umbral de sequedad es 2×Tann + 28; de lo contrario, el umbral de sequedad es 2×Tann + 14.			

Fuente: Elaboración propia a partir de Köppen & Geiger, 1938.

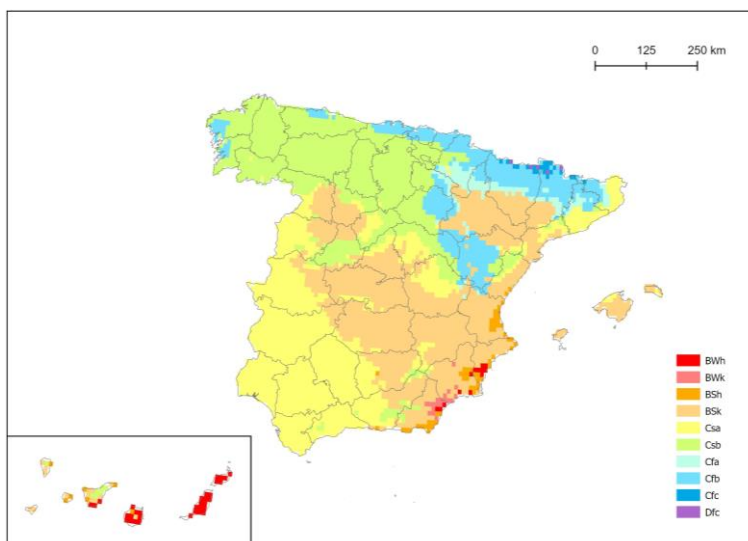
A pesar de que el sistema de clasificación climática de Köppen tiene más de un siglo de historia, todavía se aplica de manera extensiva a nivel mundial, utilizándose extensivamente en investigaciones de cambio climático, planificación agrícola, estudios de ecosistemas y planificación urbana, entre muchos otros campos.

El sistema de clasificación climática de Köppen también se usa a menudo para evaluar la adaptabilidad del diseño arquitectónico, como para determinar los sistemas de calefacción y refrigeración adecuados para las construcciones (Hernández-López et al, 2021; Salata et al, 2023).

En la clasificación climática de Köppen (Figura 2), España principalmente se divide en las zonas BSk (Clima estepario frío), Csa (Clima mediterráneo con verano seco y caliente) y Csb (Clima mediterráneo con verano seco y templado).

Para España, esta clasificación resulta ser demasiado amplia, ya que no permite distinguir detalladamente las características climáticas entre las provincias bajo diferentes condiciones geográficas. No puede ser adoptada, por tanto, de forma acrítica para establecer las zonas climáticas aplicables dirigidas a evaluar la eficiencia energética de los edificios.

Figura 2. Clasificación de zonas climáticas de Köppen (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de la información climática de AEMET.

1.2 Norma ASHRAE

ASHRAE, como una influyente organización profesional a nivel global, ha establecido diversas normas de ingeniería en construcción y medio ambiente, particularmente en lo que respecta a tecnologías de calefacción, refrigeración y aire acondicionado. Estas normas se aplican de manera extensa en el diseño y operación de edificios alrededor del mundo. Entre ellas, la norma de clasificación climática de ASHRAE se desarrolló para orientar el diseño de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación en edificios, buscando optimizar la eficiencia energética y la calidad del entorno interior bajo diferentes condiciones climáticas. Dicha norma divide el clima en zonas de humedad y zonas térmicas. En las zonas de humedad, se ha añadido una clasificación para zonas marinas, extendiendo así la categorización de las zonas costeras, además de las divisiones estándar de secas y húmedas. En las zonas térmicas, se introducen nuevos indicadores, como los Grados-día de Enfriamiento (CDD) y los Grados-día de Calefacción (HDD), dividiendo el clima en 9 niveles de acuerdo a las necesidades de calefacción y refrigeración. De esta forma, la norma de ASHRAE permite identificar claramente la humedad y la temperatura de una región.

La norma de clasificación climática de ASHRAE destaca por su capacidad para reflejar de manera más completa y detallada las características climáticas de una determinada región, lo cual proporciona una guía más precisa para el diseño de edificios y la optimización de su eficiencia energética. Por ejemplo, en climas cálidos y húmedos, el enfoque del diseño de edificios puede estar en la prevención de la humedad y la ventilación, lo que puede mejorar la eficiencia energética al reducir la necesidad de aire acondicionado. Por otro lado, en climas fríos, el diseño de edificios podría centrarse en la conservación del calor y la implementación de sistemas de calefacción, mejorando la eficiencia energética a través de la minimización de la pérdida de calor. Las tablas 2 y 3 presentan los criterios de clasificación climática.

Tabla 2. Clasificación de las zonas de humedad (ASHRAE)

Zona marina
1) La temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C .
2) La temperatura media del mes más cálido es $< 22^{\circ}\text{C}$.
3) No menos de cuatro meses con temperaturas medias superiores a 10°C .
4) Temporada seca en verano. El mes con la mayor precipitación en la temporada fría tiene al menos tres veces más precipitación que el mes con la menor precipitación en el resto del año. La temporada fría es de octubre a marzo en el hemisferio norte y de abril a septiembre en el hemisferio sur.
Zona seca
1) No zona marina
2) Si el 70% o más de la precipitación, P, ocurre durante el período de alto sol, entonces el umbral seco/húmedo es: $P < 20 * (T + 14)$
3) Si entre el 30% y el 70% de la precipitación, P, ocurre durante el período de alto sol, entonces el umbral seco/húmedo es: $P < 20 * (T + 7)$
4) Si el 30% o menos de la precipitación, P, ocurre durante el período de alto sol, entonces el umbral seco/húmedo es: $P < 20 * T$
Zona húmeda
Ubicaciones que no son marinas ni secas.
El verano o período de alto sol es de abril a septiembre en el hemisferio norte y de octubre a marzo en el hemisferio sur; El invierno o la temporada fría es de octubre a marzo en el hemisferio norte y de abril a septiembre en el hemisferio sur.

Fuente: Elaboración propia a partir de ASHRAE.

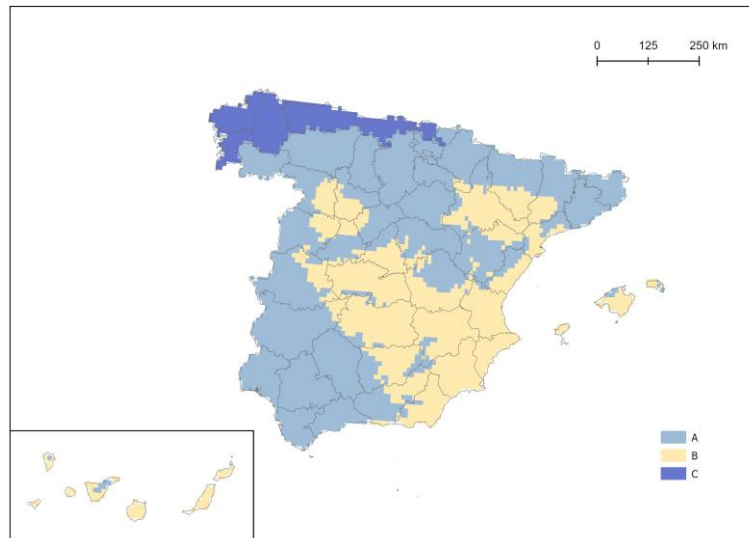
Tabla 3. Clasificación de las zonas térmicas (ASHRAE)

Número de zona	Criterios térmicos
0	$6000 < \text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C}$
1	$5000 < \text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C} < 6000$
2	$3500 < \text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C} < 5000$
3	$\text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C} < 3500$ and $\text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C} < 2000$
4	$\text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C} < 3500$ and $2000 < \text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C} < 3000$
5	$\text{CDD}_{10}^{\circ}\text{C} < 3500$ and $3000 < \text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C} < 4000$
6	$4000 < \text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C} < 5000$
7	$5000 < \text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C} < 7000$
8	$7000 < \text{HDD}_{18}^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia a partir de ASHRAE.

Por su parte las Figuras 3, 4 y 5 presentan los resultados de la aplicación de la norma ASHRAE para España.

Figura 3. Zonas de humedad (1991-2020)

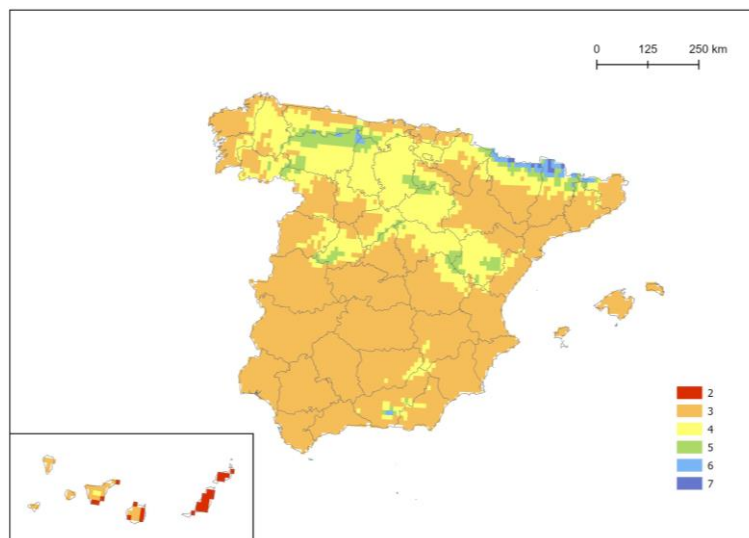


Fuente: Elaboración propia a partir de ASHRAE y de la información climática de AEMET.

En la zonificación de humedad de ASHRAE, las regiones costeras del Atlántico se diferencian en claramente (Figura 3), sin embargo, la costa del mediterránea no se distingue claramente del sureste de la meseta y del valle del Ebro. Por su parte, en la zonificación térmica (Figura 4), algunas áreas de alta altitud (zonas de montaña) que no fueron reconocidas en Köppen se identifican con claridad, ello no obstante es de destacar la limitación de ASHRAE para clasificar de forma pormenorizada el clima en España.

La aplicación mecánica de norma ASHRAE incluye en una misma zona térmica territorios tan dispares como las costas gallega, cantábrica y mediterránea, los valles del Ebro y del Guadalquivir, así como buena parte de centro y sur de España.

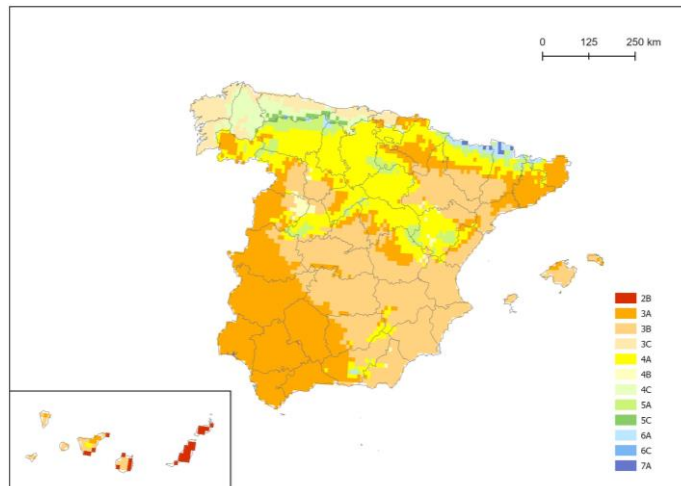
Figura 4. Zonas térmicas (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de ASHRAE y de la información climática de AEMET.

La mayoría del territorio de la península se clasifica en los niveles 3 y 4, de lo que resulta en que en la clasificación climática final (Figura 5), la mayor parte del territorio español se sitúe en las zonas climáticas 3A, 3B y 4A, no pudiéndose distinguir con claridad zonas climáticas más detalladas.

Figura 5. Clasificación de zonas climáticas de ASHRAE. (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de ASHRAE y de la información climática de AEMET.

3. Metodología

Una vez obtenidos los resultados de la aplicación de las metodologías de Köppen y ASHRAE, y evaluados de forma sintética sus resultados, exploraremos a continuación su aplicación de forma no mecánica, intentando adaptarlos a la singularidad climática tanto de la España peninsular como insular.

En este trabajo se han utilizado los datos climáticos relativos a los últimos 30 años (1991-2020) con la finalidad de realizar una nueva clasificación climática de España que se ajuste a la realidad del clima actual en España.

3.1 Fuente de datos

En este estudio, se ha utilizado el conjunto de datos E-OBS proporcionado por el Proyecto de Evaluación y Conjunto de Datos del Clima Europeo (copernicus.eu). E-OBS es un conjunto de datos de clima diario de alta resolución en cuadrícula. Este conjunto de datos ofrece una serie de variables climáticas diarias desde 1950, incluyendo la temperatura media diaria, la precipitación y la radiación solar, entre otros indicadores climáticos, en la región europea.

La característica distintiva del conjunto de datos E-OBS radica, por tanto, en su alta resolución espacial y temporal. La resolución espacial es de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, que geográficamente puede cubrir la mayoría de las áreas de Europa, incluyendo España (peninsular e insular). Su continuidad en el tiempo ayuda a rastrear y analizar las tendencias de cambio climático a largo plazo, lo cual es especialmente importante para entender la dinámica de cambio del sistema climático.

En este estudio, se han utilizado los datos de temperatura y precipitación diarios, así como una serie de otros indicadores climáticos desde 1991 hasta 2020. Los datos de 30 años no solo pueden reflejar la situación climática actual en España, sino que también pueden ayudar a trazar las principales tendencias del cambio climático en las últimas décadas. Con estos datos, podemos realizar un análisis más profundo de las características climáticas de España para realizar una clasificación climática más precisa.

3.2 Metodología utilizada

La determinación de una clasificación climática precisa es esencial para un conjunto de aplicaciones, incluyendo la planificación urbana y el diseño de edificios energéticamente eficientes, entre otras. Sin embargo, las metodologías de clasificación climática existentes, aunque útiles, a menudo no son suficientemente detalladas para reflejar las variaciones climáticas a nivel regional y local. Esto motiva la necesidad de desarrollar un nuevo enfoque metodológico para la clasificación climática, con un enfoque particular en España.

El análisis de los dos principales estándares de clasificación climática, Köppen y ASHRAE, ayuda a la comprensión de los métodos básicos y de las características de los datos necesarios para proceder a una clasificación climática pormenorizada. Refiriéndonos al estándar ASHRAE, los datos climáticos se segmentan con la finalidad de definir las zonas de humedad y las zonas térmicas por forma diferenciada. La integración posterior de ambas zonificaciones posibilita la obtención de una nueva clasificación climática de España (véase apartado 2.2 de este artículo).

A fin de reflejar más claramente el impacto de las condiciones geográficas en la clasificación climática, en el presente trabajo se han añadido variables geográficas (más concretamente, distancia al mar y altitud) a los principales indicadores de clasificación climática. Como la localización respecto a la costa no se reconoció en ASHRAE, se han añadido los datos relativos a la distancia al mar a los indicadores de clasificación de las zonas en función a la humedad. Además, consideramos que la altitud siempre es uno de los factores que influyen en el clima (como se hace en el CTE), por lo que añadimos los datos de altitud a los indicadores de clasificación de la zona térmica.

Al mismo tiempo, de la clasificación climática de Köppen, aprendimos que la distribución temporal de la temperatura y las precipitaciones es importante. Por ejemplo, cuando la cantidad anual de precipitación es la misma pero la distribución de la precipitación varía en las diferentes estaciones del año, pueden resultar tipos de clima completamente diferentes. Las áreas con mucha lluvia en verano son generalmente de clima tropical de selva o monzónico, y las áreas con mucha lluvia en otoño o invierno son generalmente de clima mediterráneo o marítimo.

Por lo tanto, en este trabajo se han incorporado entre los indicadores climáticos la cantidad de precipitación y la temperatura media en las diferentes estaciones del año, a fin de describir las principales zonas climáticas de España. Además, se han añadido una serie de indicadores climáticos para poder distinguir de forma más precisa los tipos de clima en los diferentes territorios. En la clasificación de las *zonas en función a la humedad* se han incorporado determinados índices de precipitación, como R1 (días húmedos), R10 (días de precipitaciones fuertes), R20 (días de precipitaciones muy fuertes), e índices de sequía, CDD (máximo número de días secos consecutivos). Por su parte en la clasificación de las *zonas térmicas* se han añadido índices de calor, como por ejemplo SU (días de verano, TX > 25°C) y TR (Noches tropicales, TN > 20°C), e índices de frío, HDD17 (grados día de calefacción) y FD (días de helada).

En la Tabla 4 se presentan los principales indicadores utilizados en este trabajo, tanto en las zonas de humedad, como en las zonas térmicas.

Después de obtener todos los datos climáticos, se ha convertido el *grid* de la zona de estudio en una base de vectorial de puntos (5.337 puntos) de acuerdo con la resolución de datos de E-OBS, para posteriormente utilizar el análisis de clústeres K-medias para clasificar respectivamente las zonas de humedad y las zonas térmicas. K-medias es un método de análisis clúster que divide los datos en 'k' grupos, donde 'k' es una cantidad preseleccionada a priori. En nuestro caso, se han calculado los resultados entre 2 y 20 clústeres.

A continuación, se utiliza el análisis clúster K-medias (Lloyd, 1982) para determinar respectivamente la clasificación climática de verano e invierno. Como es conocido, K-medias consiste en un algoritmo de análisis de clústeres que se desarrolla de forma iterativa. El proceso consiste en pre-assignar los datos en K grupos, seleccionando aleatoriamente K objetos como centros iniciales de

clúster. Luego se calcula la distancia entre cada objeto y los centros de clúster iniciales, asignando cada objeto al centro más cercano.

Tabla 4. Indicadores de clasificación climática

Zona de humedad	Zona térmica
Índices Geográficos	Índices Geográficos
Distancia al mar	Altitud
Índices de precipitación	Índices de calor
rr: Precipitación media anual	tg: Temperatura media anual
rr_primavera: Precipitación media de abril a junio	tg_primavera: Temperatura media de abril a junio
rr_verano: Precipitación media de julio a septiembre	tg_verano: Temperatura media de julio a septiembre
rr_otoño: Precipitación media de octubre a diciembre	tg_otoño: Temperatura media de octubre a diciembre
rr_invierno: Precipitación media de enero a marzo	tg_invierno: Temperatura media de enero a marzo
R1: Número de días rr > 1mm	SU: Días de verano, número de días tx > 25 °C (tx=maximum temperature)
R10: Número de días rr > 10mm	TR: Noches tropicales, número de días tn > 20 °C (tn=minimum temperature)
R20: Número de días rr > 20mm	
Índices de sequía	Índices de frío
CDD: Número de días, máximo número de días secos consecutivos rr < 1mm	HDD17: Grados día de calefacción, (La suma de 17 °C -tg) °C
	FD: Días de helada, número de días tn < 0 °C

Fuente: Elaboración propia.

Bienvenido-Huertas et al. (2021) han empleado previamente el método de K-medias para reclasificar el clima de edificaciones nuevas y rehabilitadas en Andalucía. Los resultados mostraron una reducción en la clasificación incorrecta de localidades, desde un 0.128% hasta un 7.702%. Cabe advertir que antes de realizar el análisis de clústeres, es preciso estandarizar todos los datos para garantizar que cada característica tenga el mismo peso e influencia durante el análisis, evitando así malinterpretaciones o sesgos causados por diferencias en las escalas o unidades de los datos.

Para determinar la cantidad óptima de clústeres en la zona de humedad y la zona térmica, se ha utilizado la llamada regla del codo (Elbow method). Este método muestra la relación entre la varianza y la cantidad de clústeres de manera gráfica, representando el "codo" el punto en el que agregar más clústeres no explica significativamente más varianza, lo que nos permite seleccionar una cantidad óptima de clústeres que represente bien los datos sin que se produzca un sobreajuste. Para la identificación del "codo", es decir para determinar el número óptimo de clústeres (Bai et al., 2020), se utiliza el indicador WCSS (suma de cuadrados dentro del clúster) en función del número de clústeres, es decir, el punto donde la velocidad de disminución de WCSS se ralentiza repentinamente [1].

$$WCSS = \sum_{i=0}^N ||x_i - c_j||^2 \quad [1]$$

Donde,

x_i es un punto de datos individual dentro de un clúster

c_j es el centro de ese clúster (la media del clúster)

$||x_i - c_j||^2$ es el cuadrado de la distancia euclidiana, calculando la distancia entre el punto de datos x_i y el centro del clúster c_j .

Finalmente, *la superposición e integración de las clasificaciones de zonas de humedad y de zonas térmicas permite la obtención de la nueva clasificación climática*. Combinación que posibilita capturar la interacción entre los patrones de temperatura y precipitación, proporcionando una representación más completa y detallada del clima.

4. Resultados

4.1 Zonas de humedad

A través del método del codo, se establece que la cantidad óptima de clústeres para la zonificación de humedad es de 5 (Figura 6), por lo tanto, se divide España en 5 niveles relativos a las zonas de humedad (Figura 7). En la tabla 5, se puede observar que la Zona A, ubicada en buena parte de las CCAA de Valencia, Murcia y Andalucía, es la zona más árida, con una sequía continua de 93 días al año y muy poca precipitación en verano.

Siguiendo a la Zona A, la Zona B también tiene una escasez de precipitación durante todo el año, la característica de esta zona es que se encuentra en las regiones interiores, siendo la más alejada del mar entre las cinco zonas. Mientras que, en el norte de España, en la región de los Pirineos y a lo largo de la costa del Atlántico, la precipitación es abundante, las Zonas D y E tienen más de 100 días de precipitación de diferentes intensidades a lo largo del año.

Figura 6. Curva de WCSS (Zonas de humedad)

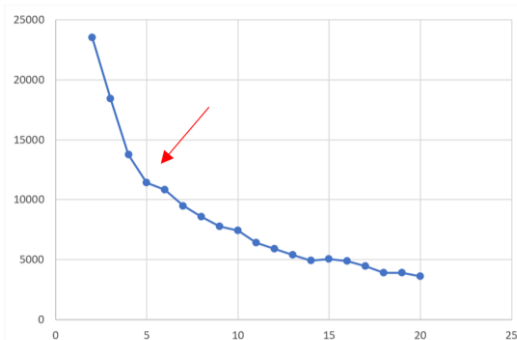


Figura 7. Zonas de humedad (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

Tabla 5. Indicadores medios de los clústeres (Zonas de humedad)

Clúster	A	B	C	D	E
Distancia_mar	64.01	216.80	98.16	63.13	50.75
rr	412.96	408.39	511.68	904.18	1365.22
rr_primavera	83.20	110.70	146.53	215.52	294.26
rr_verano	35.91	45.46	82.93	133.21	187.23
rr_otoño	167.83	148.35	163.70	310.62	495.22
rr_invierno	126.01	103.87	118.52	244.84	388.51
R1	47.40	60.61	70.13	108.67	130.28
R10	13.71	11.83	15.08	29.99	48.65
R20	3.53	1.78	3.24	7.02	16.30
CDD	93.47	59.53	40.79	29.24	26.55
N válido (por lista)	1389	1946	1070	716	216

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

4.2 Zonas térmicas

En la zonificación térmica, la cantidad óptima de clústeres se determinó en 7 (Figura 8). Como se puede observar en la figura 9 y la tabla 6, la región costera del Mediterráneo (desde la Comunidad Valenciana hasta Andalucía), junto al Valle del Guadalquivir, es la más calurosa de España, con los valores más altos en todos los aspectos, seguida por la región interior, la cual todavía tiene más de 100 "Días de verano". En contraste, la región costera del Atlántico es más fresca, con solo alrededor de 50 "Días de verano" y prácticamente no existen "Noches tropicales". La Figura 9, muestra que la altitud se refleja bien en la zonificación térmica, con las áreas de alta altitud claramente identificadas y diferenciadas.

Figura 8. Curva de WCSS (Zonas térmicas)

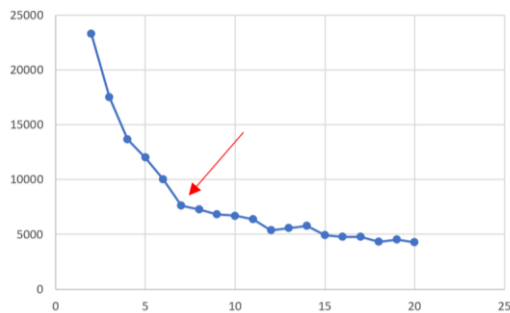
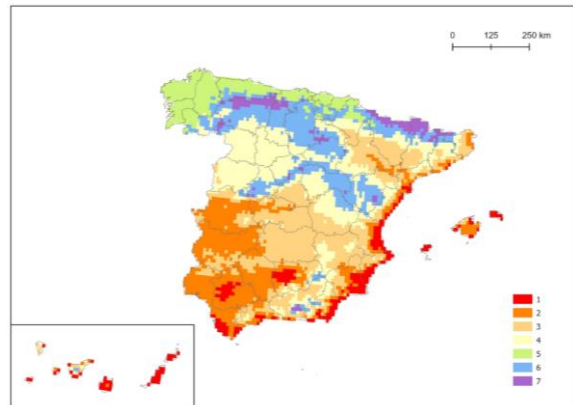


Figura 9. Zonas térmicas (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

Tabla 6. Indicadores medios de clústeres (Zonas térmicas)

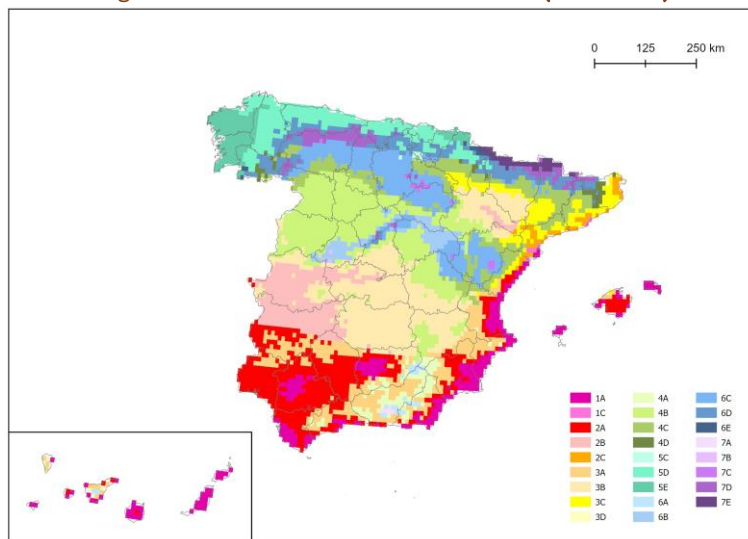
Clúster	1	2	3	4	5	6	7
Altitud	168.47	305.20	622.73	861.05	411.17	1111.18	1637.91
tg	18.26	17.04	15.17	12.79	12.88	10.62	7.36
tg primavera	19.45	19.00	17.39	14.90	14.02	12.47	8.91
tg verano	24.95	25.02	23.70	20.90	18.55	18.22	14.40
tg otoño	15.81	13.45	11.10	8.93	10.62	7.15	4.41
tg invierno	12.71	10.57	8.36	6.30	8.25	4.52	1.60
SU	139.46	147.65	129.05	101.77	48.89	69.71	25.44
TR	57.27	25.69	15.65	2.48	0.58	0.29	0.11
HD17	-485.13	-43.63	623.90	1489.71	1455.13	2253.42	3362.62
FD	38.95	53.01	53.27	65.41	121.74	85.28	108.52
N válido (por lista)	293	941	1367	1235	482	834	185

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

4.3 Nueva clasificación climática

Al superponer las zonificaciones de humedad y térmica, se obtiene una nueva clasificación climática de España (Figura 10), que divide el territorio peninsular e insular en 26 tipos de climas diferentes. Cada tipo de clima está representado por un número y una letra, donde 1-8 representa la Zonificación térmica y A-E representa la Zonificación de humedad. De esta manera, se puede identificar con mayor claridad las diferencias climáticas entre las diferentes áreas.

Figura 10. Nueva clasificación climática (1991-2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

Tabla 7. Indicadores medios de clústeres (nueva clasificación climática)

Zona climática	1A	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D
Distancia_mar	27.85	6.96	73.11	227.23	16.61	77.57	215.57	63.75	28.48	63.36	208.63	98.25	74.94
rr	333.86	460.43	454.86	431.64	467.77	408.92	379.76	452.78	754.95	401.08	415.05	499.43	774.29
rr_primavera	60.94	107.28	86.55	94.80	114.79	89.06	105.29	126.77	197.70	93.94	117.67	144.40	196.17
rr_verano	38.74	102.06	33.77	34.64	94.41	37.04	42.57	85.82	138.69	34.60	50.63	84.95	131.64
rr_otoño	134.96	154.54	194.11	179.63	157.97	159.78	134.94	142.06	244.87	146.94	145.93	155.79	254.40
rr_invierno	99.22	96.55	140.43	122.57	100.60	123.04	96.95	98.12	173.69	125.59	100.82	114.29	192.09
R1	38.75	46.93	50.63	57.86	48.54	48.22	55.49	54.52	65.54	48.73	65.38	68.86	81.77
R10	10.64	14.54	15.53	13.79	14.93	13.46	11.11	13.95	23.29	12.67	11.35	14.86	25.89
R20	3.22	5.65	4.20	2.43	5.63	3.13	1.73	4.37	9.81	2.50	1.52	3.29	7.85
CDD	99.12	51.18	94.17	75.99	48.17	89.29	63.35	44.00	33.87	91.38	50.47	40.24	36.57
Altitud	171.54	42.66	290.96	357.07	136.69	715.76	639.18	355.49	384.91	1197.07	878.09	747.10	657.87
tg	18.29	17.15	17.26	16.79	16.17	15.35	15.15	14.84	14.79	13.13	12.81	12.65	12.77
tg_primavera	19.47	18.77	19.03	19.12	17.99	17.16	17.60	17.04	16.62	14.84	15.00	14.75	14.67
tg_verano	24.96	24.43	24.96	25.34	23.69	23.39	24.09	22.69	22.06	21.35	21.11	20.44	19.99
tg_otoño	15.85	14.12	13.97	12.62	12.89	11.85	10.72	11.10	11.62	9.63	8.80	8.95	9.42
tg_invierno	12.75	11.18	10.97	9.96	10.02	8.88	8.07	8.42	8.77	6.60	6.20	6.35	6.88
SU	139.65	131.88	149.49	148.22	124.17	128.53	132.00	118.12	97.77	106.27	105.70	94.28	85.71
TR	57.41	51.70	26.98	22.66	30.62	15.26	16.94	11.11	10.03	7.88	2.21	1.50	1.45
HDD17	494.19	114.94	150.61	95.83	249.82	481.92	667.10	745.01	771.81	1172.23	1511.88	1544.08	1459.91
FD	38.75	46.93	50.63	57.86	48.54	48.22	55.49	54.52	65.54	48.73	65.38	68.86	81.77
N válido	286	7	565	324	52	398	782	184	3	110	721	368	36
Zona climática	5C	5D	5E	6A	6B	6C	6D	6E	7A	7B	7C	7D	7E
Distancia_mar	64.50	34.16	25.10	65.37	244.24	123.36	88.12	69.22	32.61	314.89	121.21	85.58	142.69
rr	654.15	956.59	1391.84	448.76	489.02	545.34	854.81	1216.48	605.93	643.46	656.29	911.13	1302.95
rr_primavera	163.20	209.05	276.41	109.09	146.80	158.96	215.22	289.89	146.66	169.35	195.12	239.93	362.61
rr_verano	90.44	133.56	168.43	37.98	62.51	77.88	129.51	185.34	45.82	66.66	91.73	140.36	258.57
rr_otoño	212.23	342.31	532.86	159.96	164.12	177.83	284.73	404.67	218.80	238.98	210.73	298.99	376.54
rr_invierno	188.28	271.67	414.14	141.74	115.60	130.67	225.36	336.58	194.65	168.47	158.71	231.84	305.23
R1	98.18	118.01	129.83	51.90	72.66	79.78	102.69	122.73	59.71	77.66	84.60	105.54	133.92
R10	19.14	31.83	50.19	14.52	13.89	15.52	28.32	42.32	21.03	21.07	20.22	29.97	44.44
R20	3.13	7.66	17.46	2.63	1.93	2.40	6.33	12.72	4.49	3.60	3.32	6.43	12.85
CDD	31.68	26.50	28.21	90.18	44.38	39.10	30.99	27.10	88.05	48.32	37.66	30.53	20.18
Altitud	551.00	423.46	382.19	1705.54	1219.95	116.75	992.07	1056.48	2390.53	2065.58	1618.41	1487.72	1936.91
tg	12.08	12.73	13.21	10.75	10.88	10.59	10.54	10.34	7.11	8.75	8.38	7.86	5.52
tg_primavera	13.72	13.89	14.29	12.35	12.94	12.49	12.25	11.98	8.55	10.68	10.17	9.41	6.99
tg_verano	18.94	18.54	18.55	19.02	19.20	18.36	17.48	17.05	15.31	17.14	16.27	14.75	12.43
tg_otoño	9.08	10.42	11.08	7.29	6.97	7.02	7.42	7.44	3.81	4.92	4.87	4.92	2.86
tg_invierno	6.46	7.98	8.84	4.23	4.29	4.39	4.90	0.66	2.15	2.09	2.25	-0.29	
SU	74.77	47.91	49.84	83.31	87.53	73.92	53.47	47.36	62.41	64.29	51.84	24.69	10.04
TR	0.03	0.58	0.61	3.76	0.52	0.10	0.17	0.36	2.17	0.54	0.03	0.03	0.06
HDD17	1783.85	1514.88	1327.15	1904.51	2187.16	2281.59	2266.01	2346.57	2852.47	2779.98	3006.66	3177.99	4105.67
FD	98.18	118.01	129.83	51.90	72.66	79.78	102.69	122.73	59.71	77.66	84.60	105.54	133.92
N válido	6	314	162	25	116	436	246	11	5	3	17	117	43

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de E-OBS.

La nueva clasificación climática permite identificar los patrones básicos del clima a la escala regional, tanto peninsular como insular (Tabla 7). Las calientes áreas de la costa mediterránea y el valle del Guadalquivir contrastan con las más húmedas y frías zonas de la costa gallega y cantábrica. Por su parte las áreas montañosas también destacan por su más diferenciado clima. A su vez puede identificarse el distinto clima de la meseta norte (Castilla-León) y sur (Castilla-La Mancha), así como el valle del Ebro. Clasificación que puede, por tanto, proporcionar una guía más detallada para el diseño climático de los edificios, así como a la previsión de necesidades energéticas.

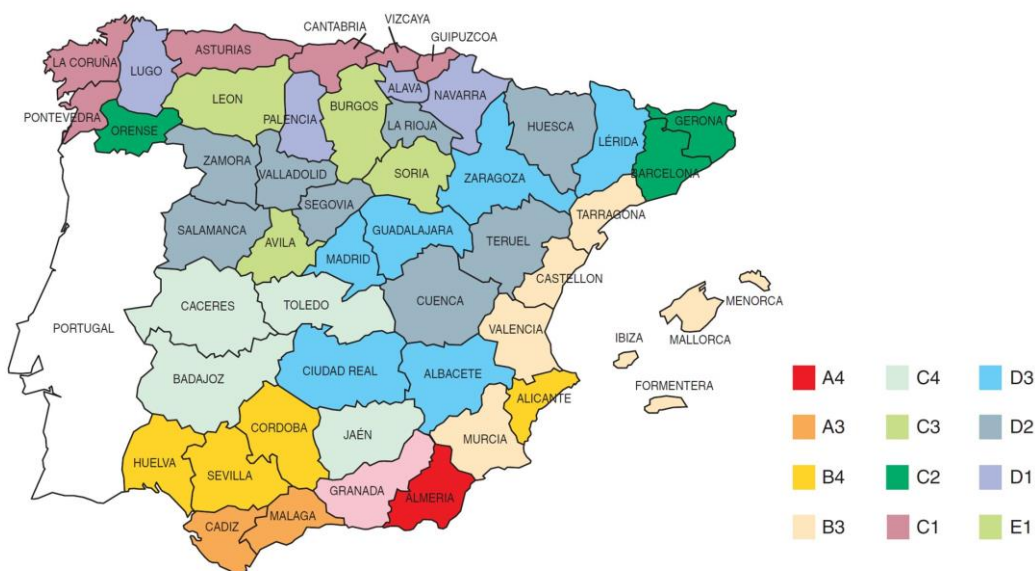
5. Discusión

Este trabajo parte de la hipótesis de la insuficiencia del método empleado por el CTE para la definición de zonas climáticas dirigidas a evaluar la eficiencia energética de los edificios. A pesar de plantear de forma correcta el problema de la exigencia energética basada en el clima, y particularmente las nociones de severidad de invierno y de verano, existen dudas acerca de la bondad de la clasificación climática resultante, la cual se basa, en nociones de tipo “administrativo” (las provincias), además de la altitud.

A su vez la identificación de los meses que requieren calefacción (octubre a mayo) y refrigeración (junio a septiembre) simplifica en exceso el clima de España puesto que ni los inviernos se extienden en esa magnitud temporal, puesto que las temperaturas bajas han ido decreciendo de forma paulatina con el proceso de calentamiento global, ni las altas temperaturas se limitan a los meses tradicionalmente considerados de verano.

Un ejemplo del relativo mal comportamiento de la clasificación climática del CTE lo tenemos en la comparación entre las localidades de Barcelona y de Ourense. La figura 11 muestra el resultado de la zonificación climática del CTE por capitales de provincia, donde se puede comprobar que tanto Barcelona como Ourense y Girona se clasifican del mismo modo: zona C2.

Figura 11. Zonificación climática del CTE por provincias (capitales de provincia)



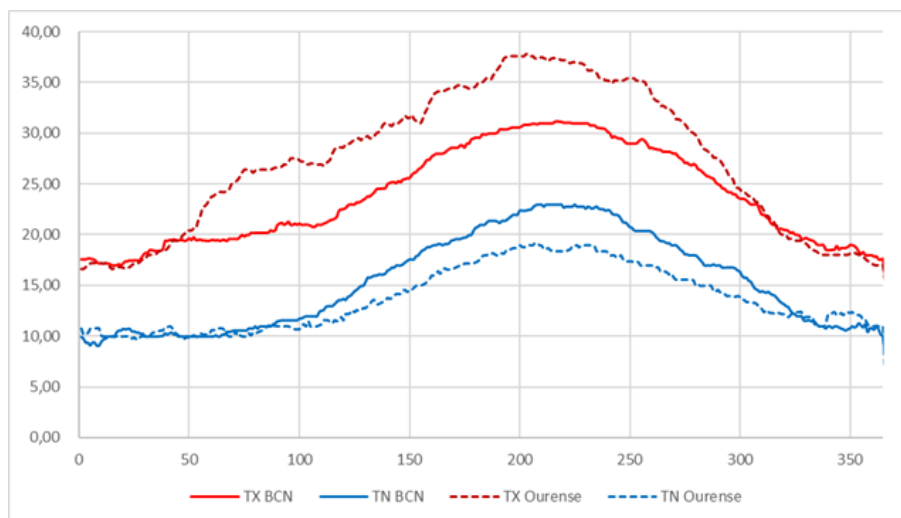
Fuente: Elaboración propia a partir del CTE (Ministerio de Fomento, 2013).

Como se muestra en la Figura 11, Barcelona y Ourense, que tienen unas características geográficas muy diferenciadas (longitud, altitud y distancia al mar), quedan clasificadas en la misma zona climática. Ambas capitales, sin embargo, tienen un clima completamente diferente. Si atendemos a los días de verano (SU) que han tenido lugar entre 1991 y 2022, Ourense ha tenido un 22,3% más que Barcelona. Proporción que se eleva a un 222,2% si se considera el número de días con temperatura igual o superior a 30°C. Ourense es claramente más cálido que Barcelona en lo que respecta a sus temperaturas máximas diurnas. Sin embargo, si se atiende a las temperaturas mínimas, Barcelona es meridianamente más caliente que Ourense: entre 1991 y 2022, ¡Barcelona tuvo un 4.822,5% más de noches tropicales que Ourense!

Esa diferencia sustancial del clima entre Barcelona y Ourense se puede ver con gran claridad en la figura 12, que representa las temperaturas diarias de referencia para determinar la existencia de olas de calor de día y de noche a lo largo de todo el año (Roca et al, 2023, Arellano et al, 2022). Como se puede observar a pesar de que el clima invernal puro (entre diciembre y febrero-marzo) es similar entre ambas localidades, a partir del inicio de la estación cálida y hasta bien entrado noviembre Ourense destaca por un acusadamente más elevado calor diurno, mientras que en Barcelona el calor nocturno es claramente dominante.

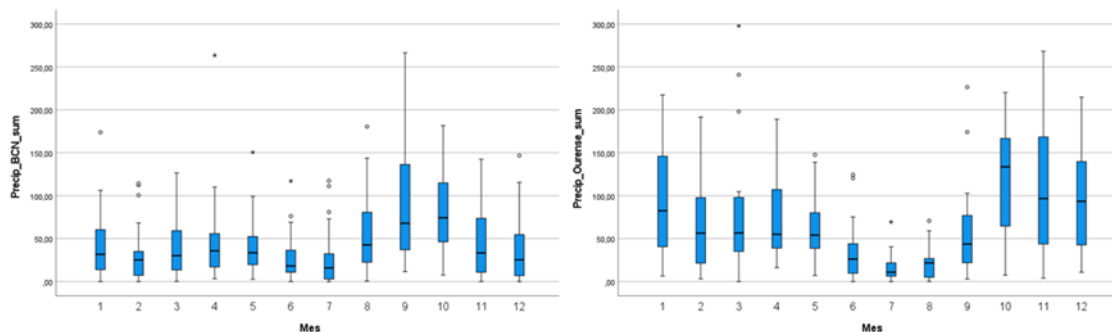
Por lo que respecta al régimen de precipitaciones la figura 13, elaborada en base a la información suministrada por AEMET para las estaciones meteorológicas de referencia de ambas ciudades, muestra, asimismo, una estructura acusadamente diferenciada entre Ourense y Barcelona. No se trata tan sólo de que en Ourense llueva más que Barcelona a lo largo del conjunto del año (819,4 frente a 558,3 mm/año, de media entre 1991 y 2020), sino que su distribución a lo largo del año es muy diferente entre ambas capitales: con precipitaciones concentradas en invierno en Ourense (con características de clima oceánico, en la clasificación de Köppen), y a finales de verano-principios de otoño en Barcelona (clima mediterráneo).

Figura 12. Temperaturas de referencia para la determinación de olas de calor diurnas y nocturnas (Ourense y Barcelona)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Base de Datos de AEMET.

Figura 13. Comparación del régimen de precipitaciones (1991-2020) (Ourense y Barcelona)



Fuente: Elaboración propia a partir de AEMET.

De forma alternativa al planteamiento del CTE, la investigación realizada intenta obtener una zonificación climática más ajustada a la realidad, inspirándose en las metodologías empleadas en las más comúnmente aceptadas clasificaciones climáticas: Köppen y ASHRAE. Dichas clasificaciones se basan no sólo en las temperaturas, y en dos grandes estaciones climáticas, sino también en la humedad, a lo largo de todo el año. El trabajo que aquí se presenta incluye variables de tipo geográfico (distancia al mar, altitud), junto a otro tipo de indicadores, que, además de los usados por Köppen y ASHRAE, son representativos del clima en España. Particularmente cabe mencionar los días de verano (SU), con temperaturas máximas superiores a 25°C, y las noches tropicales (TR), con temperaturas mínimas superiores a los 20°C.

El resultado obtenido (Tabla 7, Figura 10) parece reflejar de forma relativamente correcta el clima tanto peninsular como insular. Siguiendo con la comparación Barcelona/Ourense, la primera queda incluida en la zona 1C, mientras que la segunda en la zona 5D. Claramente diferenciadas. Sin embargo, un análisis pormenorizado a la pequeña escala a lo largo y ancho del territorio peninsular e insular tal vez no obtenga el beneplácito unánime de los especialistas. Puede influir en ello algunas limitaciones del análisis realizado, como la no consideración de otras variables geográficas, como la latitud (y, también, la longitud), acusadamente explicativas del clima. También el tipo de información climática empleada, la base de datos de E-OBS, con un *grid* de 0.1°x 0.1°. Resolución espacial tal vez demasiado grande para reflejar entornos locales. Sería conveniente, por tanto, poder

bajar esa resolución, por ejemplo, a un *grid* de 200 metros. A ello podría ayudar la utilización directa de la base de datos resultante de las estaciones meteorológicas, y no sólo el *grid* de E-OBS.

Junto a la mejora de la resolución espacial, el análisis más detallado de las severidades de verano e invierno, la cual comporta una definición más precisa de las estaciones fría y cálida, así como el enriquecimiento de los indicadores para poder estimarlas (como, por ejemplo, la temperatura máxima y mínima diaria, y no sólo la temperatura media, o los eventos de ola de calor diurna y nocturna) son elementos que podrían ayudar a desarrollar una clasificación climática más ajustada a la realidad del país.

6. Conclusiones

Para modificar y mejorar la clasificación climática actual de España resultante del CTE, en este artículo se ha desarrollado una metodología innovadora para la clasificación climática en el país.

Esta nueva metodología se basa en las sólidas reglas de clasificación climática de Köppen y ASHRAE. No solo integra variables climáticas clave, como la temperatura y la precipitación, sino que también tiene en cuenta factores geográficos cruciales como la distancia al mar y la altitud. Estos elementos, a menudo ignorados en las clasificaciones climáticas tradicionales, juegan un papel vital en el comportamiento climático de una región. Además, hemos seleccionado para nuestra investigación los datos climáticos de E-OBS de 1991-2020, con una resolución espacial de 0.1°x 0.1°. Esta selección no solo asegura que nuestros datos sean contemporáneos, sino que también nos permite obtener resultados de clasificación climática de mayor detalle que otros trabajos.

Al realizar un análisis profundo de un vasto conjunto de datos climáticos, hemos logrado dividir España en cinco zonas de humedad y siete zonas térmicas utilizando el eficiente método de clústeres K-medias. Luego, superponiendo las dos zonas, obtuvimos una nueva clasificación climática que divide a España en 26 tipos distintos de clima. Este nivel de detalle enriquece enormemente nuestra comprensión de la diversidad climática de España, proporcionando una visión mucho más matizada y precisa que algunos de los sistemas de clasificación climática previos.

La implementación de esta nueva clasificación climática tiene implicaciones significativas. Puede proporcionar una orientación climática de gran trascendencia para la planificación urbana y el diseño de edificios en España. Con este nuevo sistema, los planificadores urbanos y arquitectos podrán diseñar con más precisión para adaptarse a las condiciones climáticas específicas de un área. Además, este sistema ayudará a lograr una utilización más eficiente de la energía y promoverá el desarrollo sostenible del medio ambiente, al permitir diseños que trabajen en armonía con el clima local, en lugar de luchar contra él.

Finalmente, creemos que la metodología propuesta no sólo beneficia a España, sino que también proporciona una valiosa experiencia y métodos de referencia para futuras investigaciones en áreas relacionadas.

Agradecimientos

Este estudio es resultado, parcialmente, del proyecto "Extreme Spatial and Urban Planning Tool for Episodes of Heat Waves and Flash Floods. Building resilience for cities and regions" ("Herramienta de planificación espacial y urbana extrema para episodios de olas de calor e inundaciones repentinas"), apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, Ref. PID2019-105976RB-I00. Y, además las personas autoras agradecen muy especialmente a los investigadores del mismo, Dolors Martínez, Carina Serra y Xavier Lana.

Autoría

El artículo forma parte de la tesis doctoral de Zheng Qianhui, dirigida por los doctores Blanca Arellano y Josep Roca. Corresponde a la primera firmante la generación de la base de datos y el sistema de información geográfico que da soporte a la investigación, así como una parte sustancial del redactado del artículo. La supervisión, corrección y enriquecimiento del mismo ha estado a cargo de la segunda autora y el tercer autor, a los que corresponde, asimismo, el planteamiento básico de la investigación.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

- AEMET (2019). *Efectos del Cambio Climático en España*. https://www.aemet.es/es/noticias/2019/03/Efectos_del_cambio_climatico_en_espanha
- ANSI/ASHRAE. (2013). *Climatic Data for Building Design Standards* (Standard No. 169-2013). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Arellano, B., Roca, J., Serra, C., Martínez, D., Biere, R. & Lana, X. (2022). Olas de Calor en la ciudad de Barcelona: 1971-2020. *ACE: Architecture, City and Environment*, 17(50), 11684. <https://doi.org/10.5821/ace.17.50.11684>
- Bai, L., Yang, L., Song, B., & Liu, N. (2020). A new approach to develop a climate classification for building energy efficiency addressing Chinese climate characteristics. *Energy*, 195, 116982. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116982>
- Bienvenido-Huertas, D., Marín-García, D., Carretero-Ayuso, M. J., & Rodríguez-Jiménez, C. E. (2021). Climate classification for new and restored buildings in Andalusia: Analysing the current regulation and a new approach based on k-means. *Journal of Building Engineering*, 43, 102829. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102829>
- European Parliament and the Council of the European Union (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings*. Brussels, Belgium.
- Hernández-López, I., Vázquez-Beltrán, E., Xamán, J., Chávez, Y., Hinojosa, J.F., & Noh-Pat, F. (2021). Heating potential prediction of a trombe wall system under temperate climate conditions of Mexico: Case of Cwa-Cwb Köppen classification. *Journal of Building Engineering*, 44, 103308. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103308>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC.
- Jentsch, M. F., Bahaj, A. B. S., & James, P. A. B. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40(12), 2148–2168. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.005>
- Kalbasi, R., & Hassani, P. (2022). Buildings with less HVAC power demand by incorporating PCM into envelopes taking into account ASHRAE climate classification. *Journal of Building Engineering*, 51, 104303. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104303>
- Kim, H. B., Mae, M., Choi, Y., & Heo, J. (2021). Applicability of phase change material according to climate zones as defined in ASHRAE standard 169-2013. *Building and Environment*, 196, 107771. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107771>

Köppen, W. & Geiger R. (1938). *Handbuch der Klimatologie*. Band 1, Teil C. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Li, J., Jimenez-Bescos, C., Calautit, J. K., & Yao, J. (2023). Evaluating the energy-saving potential of earth-air heat exchanger (EAHX) for Passivhaus standard buildings in different climates in China. *Energy and Buildings*, 288, 113005. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113005>

Lloyd, S. (1982). Least squares quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28(2), 129-137. <https://doi.org/10.1109/TIT.1982.1056489>

Ministerio de Fomento (2013). *Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación*, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, (219), 67137-67209. España.

Roca, J., Arellano, B., & Zhang, X. (2023). Global Warming in Spanish Cities (1971-2022). *EGU General Assembly 2023*. EGU23-16349. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-16349>

Salata, F., Falasca, S., Ciancio, V., Curci, G., & de Wilde, P. (2023). Climate-change related evolution of future building cooling energy demand in a Mediterranean Country. *Energy and Buildings*, 290, 113112. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113112>