

Zonificación climática para su aplicación al diseño bioclimático. Aplicación en Galicia (España)

Climate zoning for its application to bioclimatic design. Application in Galicia (Spain)

F. da Casa Martín (*), E. Echeverría Valiente (*), F. Celis D'Amico (*)

RESUMEN

La normativa española actual para la eficiencia energética establece las zonas climáticas para el cumplimiento de la limitación de la demanda y consumo energéticos. Estas zonas establecidas no tienen la función de ser base para el diseño de edificios con estrategias bioclimáticas.

Se propone una metodología para elaborar una cartografía basada en las estrategias de diseño de Givoni, estableciendo una zonificación general entre áreas geográficas de comportamiento similar. La cartografía así obtenida aporta al diseñador información sobre las estrategias que puede utilizar para alcanzar el confort, sin tener que realizar búsquedas de información complejas. Se valida el funcionamiento de la metodología utilizada en su aplicación a la Comunidad Autónoma de Galicia (España).

Dentro del proceso se establece complementariamente una comparativa entre ambas cartografías de modo que se pueden comprobar las similitudes y divergencias entre las mismas, concluyendo las aplicaciones concretas y diferenciales para cada una de ellas.

Palabras clave: cartografía; estrategias en la investigación; bioclimatología; eficiencia energética.

ABSTRACT

The current Spanish legislation for energy efficiency establishes the climatic zones for compliance with the limitation of energy demand and consumption. These established zones do not have the function of being the basis for the design of buildings with bioclimatic strategies.

We propose a methodology to develop a cartography based on Givoni's design strategies, establishing a general zoning between geographic areas of similar behaviour. The cartography thus obtained provides the designer with information on the strategies that can be used to achieve comfort, without having to perform complex information searches. It validates the operation of the methodology used in its application to the Autonomous Community of Galicia (Spain).

Within the process, a comparison is established between the two cartographies so that the similarities and divergences can be verified between them, concluding the concrete and differential applications for each of them.

Keywords: cartography; research strategies; bioclimatology; energy efficiency.

(*) Departamento de Arquitectura, Universidad de Alcalá. Madrid (España). Grupo de Investigación «Intervención en el Patrimonio y Arquitectura Sostenible».

Persona de contacto/Corresponding author: fernando.casa@uah.es (F. da Casa Martín)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2728-4424> (F. da Casa Martín); <http://orcid.org/0000-0002-6826-5756> (E. E. Echeverría Valiente); <http://orcid.org/0000-0003-3931-6056> (F. Celis D'Amico)

Cómo citar este artículo/Citation: Da Casa Martín, F., Echeverría Valiente, E. E., Celis D'Amico, F. (2017). Zonificación climática para su aplicación al diseño bioclimático. Aplicación en Galicia (España). *Informes de la Construcción*, 69(547): e218, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id55319>.

Copyright: © 2017 CSIC. Licencia / License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de *Informes de la Construcción* se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Attribution License (CC BY) Spain 3.0.

Recibido/Received: 04/02/2017
Aceptado/Accepted: 26/04/2017
Publicado on-line/Published on-line: 27/09/2017

1. INTRODUCCIÓN. LAS ZONIFICACIONES CLIMÁTICAS EN LAS NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos establece los objetivos que los Estados miembros de la Unión Europea deben marcarse en materia de ahorro y eficiencia energética.

En Europa es muy variada la situación de la zonificación climática según sus normativas de eficiencia energética, ya que países como Alemania emplea una tabla de datos climáticos medios (general), mientras que otros zonifican englobando condiciones exteriores homogéneas como España. Así encontramos Suecia con una división en tres zonas; Finlandia, Chequia, Rumanía y Grecia en 4 zonas; Polonia y Bulgaria con 5 zonas; con 6 zonas Portugal e Italia; con 7 Noruega, y con 8 zonas Francia (1). Como se puede observar todos ellos en un número muy inferior a las 17 zonas utilizadas en España.

Se debe indicar que la aplicación de una reducida división de zonas climáticas implica que se obtengan valores de consumo y demanda energética posiblemente distorsionados en relación a la localización concreta en la que se ubicará un edificio.

En España el DB-H (Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación) (2) establece la Zonificación Climática para la limitación de la demanda energética hasta un total de 17 zonas, 12 de ellas son zonas peninsulares (establecidas desde 2006), dando lugar a las zonas climáticas A3, A4, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3 y E1.

Esta identificación refleja en la letra las condiciones de invierno (de la A a la E), y el número según las condiciones de verano (del 1 al 4). En 2013 se introducen cinco zonas específicas para las Islas Canarias (Alfa 1, 2, y 3, A2 y B2), ya que las condiciones climáticas de estas islas no se ajustan a las zonas peninsulares.

Estas zonas se aplican en un ámbito municipal, en función de su capital de provincia y su altitud respecto al nivel del mar, que vienen determinadas en las tablas B.1 y B.2 del Apéndice B del DB-HE (2013). La distribución geográfica de estas zonas climáticas en la península es algo heterogénea.

La actualización de 2013, en el DB-HE, presenta una evolución sustancial respecto de la versión inicial de 2006, que afecta también al ámbito de las zonas climáticas establecidas. Fundamentalmente los cambios fueron en tres aspectos:

- Incorporación del apartado de limitación del consumo energético.
- Reducción de los parámetros de transmitancia térmica máxima de los elementos constructivos. La reducción media es del 49 %, con valores entre el 31 y el 77 %.
- Variación de los criterios para el establecimiento de zonas climáticas.

El DB-HE-2013 establece para cada una de las zonas climáticas la vinculación de un «clima de referencia», que define las solicitudes exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar), representativos de una zona climática (3).

Si se representan en una cuadrícula la ubicación de las capitales de provincia en función de sus grados de severidad de

invierno y de verano (Figura 1), se localizan cada una en su zona climática asignada (4), y se puede observar qué capitales son las que están en cada zona y cuál es la que se considera «Clima de referencia» (la de menor cota topográfica).

Se pueden conseguir los ficheros, en formato «met», con los datos de cada zona de la página web del CTE (<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte/133-ct-documentos-cte/ahorro-de-energia.html>).

En un somero análisis se puede observar cómo en la zona B4 se consideraría el mismo clima de referencia para Sevilla, Córdoba y Alicante, estando las tres ciudades en el perímetro de su recuadro. Es de referir las diferencias notables que hay entre ellas, en sus características de soleamiento, velocidad y dirección del viento, promedios de humedad, temperatura y radiación. Lo mismo ocurre entre Murcia y Palma de Mallorca (zona B3), entre Huesca y Valladolid (zona D2), entre Oviedo y Palencia (zona D1), entre otros ejemplos. Esto plantea algunas incongruencias desde el punto de vista del objetivo del presente artículo. Plantear, como indica la norma, la relación clima de referencia-zona climática produce que haya localidades en las que el clima de referencia representativo no se ajusta a las condiciones climáticas precisas de cada ubicación concreta.

Hay que tener en consideración que la zonificación climática del DB-HE restringe, fundamentalmente, la elección del material de carpintería en función de su eficacia como aislante térmico (su transmitancia), así como la permeabilidad al aire de la ventana. Esto si bien es un factor a tener en cuenta no es por mucho el factor principal del diseño bioclimático.

2. EL INTERÉS DE GENERAR UNA ZONIFICACIÓN PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

La adopción de estrategias bioclimáticas en el diseño de edificios es una opción y una oportunidad de mejora sustancial del comportamiento energético. Al buscar antecedentes sobre la disponibilidad de una zonificación relacionada con las estrategias bioclimáticas se encuentran referencias relacionadas con la representación de bioclimas y ombrotipos (5), las que relacionan la denominación de bioclimatología para referirse a la climatología aplicada a sistemas complejos y su representación (6) o a parámetros individuales como la radiación solar (7).

Se plantea entonces la necesidad de obtener otra fuente de datos que se ajuste a la realidad climática del lugar de análisis, y que sea de posible aplicación al diseño bioclimático eficaz y adecuado al lugar donde se implanta, ello ayudará a alcanzar los objetivos de la normativa europea sobre la reducción de la demanda energética por aprovechamiento de las condiciones del entorno.

2.1. Criterios de diseño. Las cartas bioclimáticas

Se plantea la utilización de un sistema basado en el uso de los datos climáticos reales aplicados a los diagramas bioclimáticos, en busca de alcanzar el confort.

Los primeros en trabajar en el concepto de confort fueron Houghten y Yagloglou (formando parte de ASHRAE). En el estudio *Determining lines of equal comfort* (8) proponen líneas de confort en un diagrama psicométrico, relacionando humedad y temperatura, en base al índice «temperatura efectiva». En base a dichos trabajos se establecen los llamados

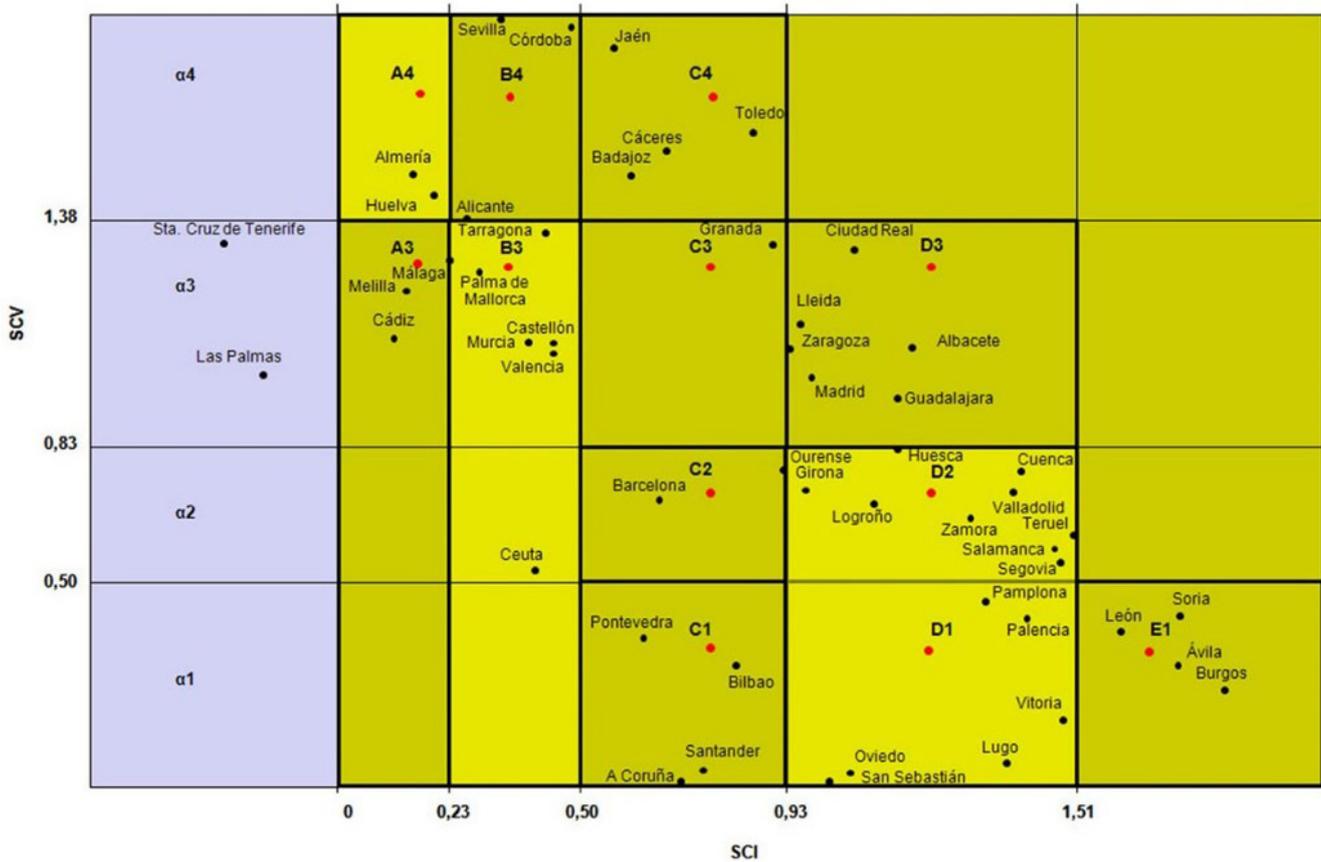


Figura 1. Posicionamiento de las capitales de provincia según SCV y SCI. Fuente: Larrumbide (2015).

climogramas, diagramas bioclimáticos o cartas bioclimáticas, que son utilizados como herramientas para determinar las estrategias de diseño de espacios exteriores e interiores con el objetivo de alcanzar confort térmico. Estas herramientas superponen las condiciones climáticas del lugar que se analiza permitiendo conocer qué estrategias pasivas y/o activas necesitamos para alcanzar las condiciones de confort.

Entre los más conocidos y utilizados (9) (10) (11) (12) se encuentran las cartas bioclimáticas de Olgay y de Givoni.

- Los hermanos Olgay (13), en 1963, reinterpretan los estudios de confort en clave arquitectónica. Se establece una «zona de confort», en la que las condiciones de temperatura y humedad brindan al cuerpo humano una sensación térmica agradable. Este diagrama se utiliza para conocer las estrategias de diseño en condiciones exteriores (aprovechamiento, protección de la radiación solar e incremento y/o humectación del aire).
- Givoni (14), en 1969, incorpora al diagrama psicométrico las técnicas de enfriamiento o calentamiento, teniendo en cuenta las características físicas de los edificios que amortiguan las condiciones climáticas exteriores. Este diagrama permite conocer el tipo de materiales y sistemas constructivos adecuados para alcanzar el bienestar térmico, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores.

Hay otras herramientas, si bien se debe indicar que se basan específicamente en los anteriores, bien de forma directa (sistema CLIMATECONSULTANT de la Universidad de UCLA) o en la combinación de ambos (climograma de bienestar adaptado o CBA).

2.2. Selección de la carta de Givoni

Es la carta bioclimática de Givoni la que aporta la información relativa a las estrategias a adoptar en el diseño de los edificios para alcanzar el confort interior. Su aplicación es muy adecuada en climas cálidos de las regiones áridas. Es una carta bioclimática en la que en el eje de abscisas se representan las temperaturas de bulbo seco (la que normalmente dan los observatorios) y las ordenadas representan la tensión parcial de vapor de agua contenido en el aire, y las líneas curvas, psicométricas, representan la humedad relativa. Sobre la línea de máxima humedad 100 % se representa la temperatura de bulbo húmedo. La representación del clima anual puede hacerse con las condiciones medias de cada mes. En el diagrama se delimitan varias zonas cuyas características de temperatura y humedad indican la conveniencia de utilizar unas determinadas estrategias de diseño en la edificación.

Cada una de estas zonas se puede observar en la Figura 2. Las estrategias de calefacción son sucesivas, mientras que en las estrategias de refrigeración se produce un solape, y, por tanto, un abanico de posibilidades con las que se puede llegar al confort. Se debe indicar que en las dos zonas de confort delimitadas, así como la estrategia de calefacción por ganancias internas (calor generado por los equipos, ocupación, actividad y ropaje de las personas), no se considera necesario adoptar estrategias en el diseño de los edificios.

Esta herramienta ha sido muy utilizada para el diseño bioclimático de los edificios, ya que aporta una gran información sobre estrategias de solución a adoptar para conseguir entrar en la zona de confort. Así se manifiesta en los manuales de

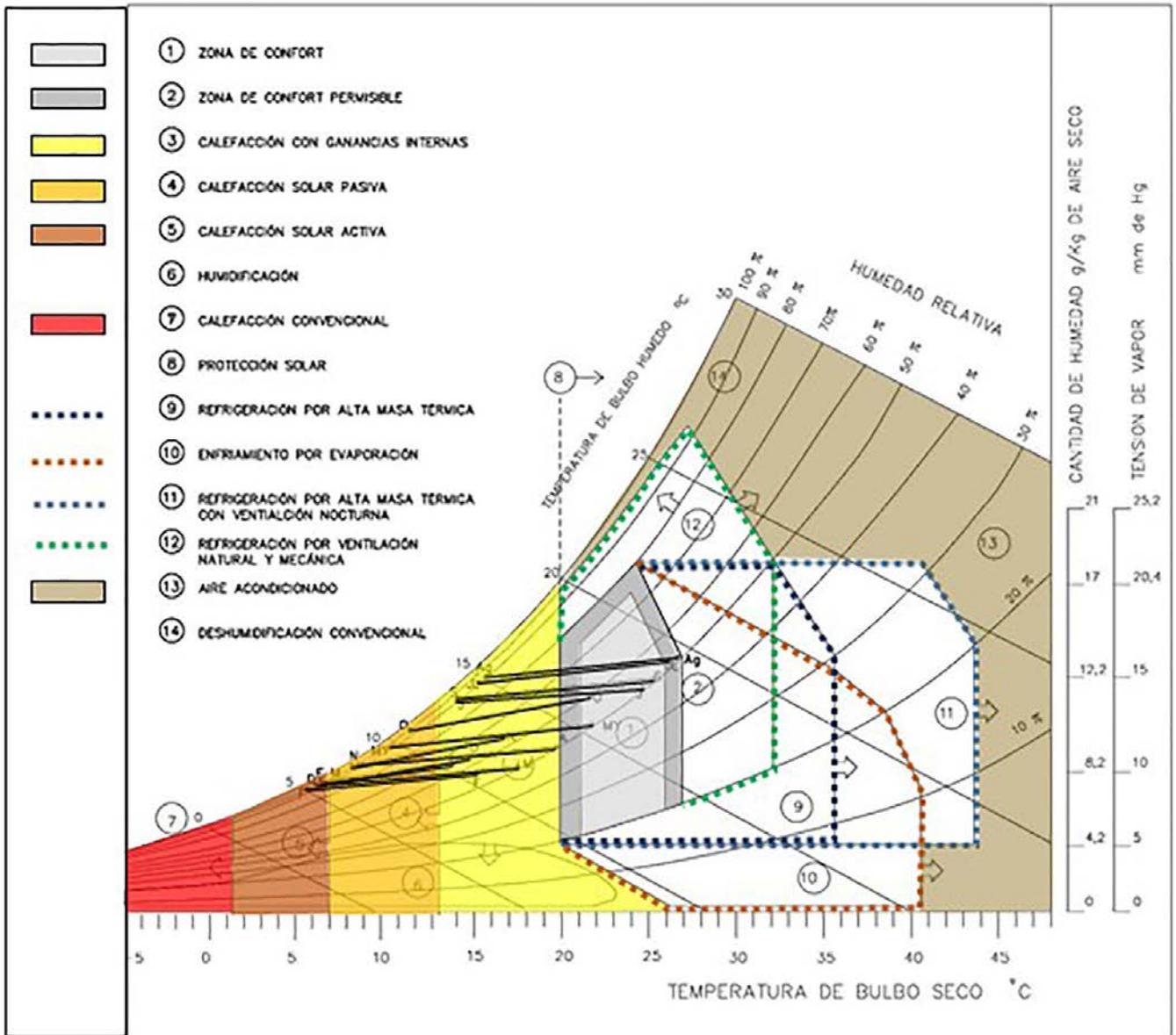


Figura 2. Diagrama de Givoni con las estrategias señalizadas. Ejemplo de datos de un observatorio meteorológico. Fuente: elaboración propia.

diseño bioclimático existentes como el de Andalucía (15), Canarias (16), Comunidad Valenciana (17), entre otros.

Lo recomendable es la adopción de medidas combinadas que permitan el mejor aprovechamiento de los equipos instalados en las diferentes situaciones climáticas. Se debe indicar que no se plantea como objetivo prioritario cubrir con estrategias pasivas el 100 % de las necesidades internas del edificio para llegar al confort, ya que este criterio en la mayoría de las ocasiones no aporta un beneficio proporcional a la inversión requerida.

2.3. Metodología para cartografiar las estrategias de diseño bioclimático según Givoni

Se plantea, por tanto, la utilización de un sistema de información en base a los diagramas bioclimáticos de Givoni para establecer una cartografía para ser base de un diseño bioclimático. La metodología, comprobada en su eficiencia con anterioridad (18), establece las siguientes fases:

- Fase I. *Obtención de la información climática disponible actualizada del ámbito de estudio.*

Para la obtención de datos específicos se debe disponer de una red de observatorios meteorológicos con los datos que se precisan (al menos, temperaturas medias máximas y mínimas, y humedades relativas medias máximas y mínimas). La distribución geográfica de los observatorios debe ser distribuida homogéneamente por el territorio, del modo más amplio posible, al efecto de tener una cobertura lo más completa del mismo.

El periodo mínimo de datos meteorológicos a recopilar debe ser suficiente para ser referente del clima real, habitualmente 30 años. Ahora bien, la extensión y digitalización de los observatorios no permite alcanzar dicha cuantía. Se podría considerar buena referencia si los datos a utilizar son de un rango de tiempo menor, entorno 15 años, puede considerarse representativo del cambio. Datos complementarios de menores periodos deben ser comprobados en su coherencia con el resto de observatorios para poder utilizarlos.

- Fase II. *Análisis de los datos climatológicos.*
Para homogeneizar los datos obtenidos de cada observatorio se manejan los datos recopilados de carácter mensual de temperaturas máximas y mínimas, medias de máximas y mínimas, y humedades relativas medias máximas y mínimas, y se recopilan en una tabla completa de cada uno de los observatorios. Esta información permite el análisis de evolución y el análisis comparativo con las temperaturas extremas. Se deben filtrar los datos que puedan responder a situaciones erróneas o deficientes en la adquisición de los mismos.

Los datos medios obtenidos por mes se aplican al climograma de Givoni, y con el resultado obtenido se establecen las estrategias bioclimáticas con carácter mensual, tanto las de refrigeración como las de calefacción. Se preparan tablas o diagramas para cada observatorio.

- Fase III. *Implantación de estaciones y datos mensuales según estrategias bioclimáticas de Givoni. Inicio del proceso de cartografiado.*

Los datos obtenidos de forma individualizada en cada observatorio se traspan sobre un mapa del territorio, con código de color según estrategias. Se establece un mapa por mes, con la totalidad de puntos codificados. Se realiza de forma independiente para las estrategias de calefacción y para las estrategias de refrigeración.

En un primer análisis se comprueba la existencia de zonas de singularidad por contraste entre resultados o por superficies sin cubrir. Se realizan análisis complementarios de nuevos observatorios (caso de ser necesario) para definir mejor la complejidad de las zonas límites.

- Fase IV. *Zonificación y establecimiento de los «mapas» de estrategias bioclimáticas de Givoni, con carácter mensual.*

Una vez establecidos los mapas mensuales con los resultados en forma de puntos de datos, se analizan los resultados y se inicia el establecimiento del agrupamiento de zonas con idéntica estrategia requerida, delimitando las zonas diferenciales. En caso de observar puntos de discordancia se incorporan los datos de nuevos observatorios, en su caso.

Al efecto de posicionar la delimitación de zonas con diferentes estrategias se utiliza el procedimiento de interpolación entre observatorios próximos, basado en la distancia efectiva, y teniendo en cuenta la distancia geodésica, la diferencia de altitud y de latitud, entre ambos observatorios, similar al aplicado en el proyecto de investigación ClimEX (*Weather characterization of Extremadura*, cofinanciado por el Programa LIFE+09 de la Comisión Europea) (19).

De este modo se obtiene la zonificación cartografiada, con carácter mensual, de las estrategias que según Givoni se precisa en cada situación para alcanzar el confort.

Se debe tener en cuenta que los datos utilizados por su carácter medio no cubren la totalidad de las situaciones climáticas extremas, y que la cantidad de observatorios disponibles también influirá en el grado de precisión de los mapas obtenidos.

En el desarrollo de este método se dispone la experiencia realizada bajo el desarrollo del proyecto de investigación ENE2013-48015-C3-2R (*Integrated system for energy optimization and reduction of building CO₂ footprint: BIM. Indoor mapping, UAV technologies and advanced energy simulations tools*), financiado por el Ministerio de Economía

y Competitividad, y desarrollado por las Universidades de Alcalá, de Vigo y de Salamanca (20).

3. APLICACIÓN A UN TERRITORIO: EL CASO DE GALICIA (ESPAÑA)

Se aplica esta metodología a un territorio concreto: la región de Galicia (España), con una superficie de 29.575 km² y cuyas coordenadas geográficas son: 42° 45' 00" N, 7° 53' 00" O. Limita al norte por el Mar Cantábrico, al oeste por el Océano Atlántico, al sur con Portugal y al este con las regiones de Asturias y León. En general es una zona de clima suave de influencia oceánica, templado, regular, y húmedo.

Se utilizan los datos de 55 estaciones meteorológicas, de las 101 que dispone la red de observatorios meteorológicos de la Xunta de Galicia (www.meteogalicia.es), distribuida de forma generalizada por la geografía de la Comunidad Autónoma, estas estaciones recogen datos con un periodo mayor a 15 años.

Es de referir que en 2010 la *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*, realizada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios (21) para determinar el clima en Galicia, se basa en los datos de sólo 6 estaciones meteorológicas.

3.1. Los mapas de las estrategias mensuales

Como resultado se obtuvieron mapas de carácter mensual diferenciados para las estrategias de calefacción para obtener el confort con criterios de diseño bioclimático, que se presentan en la Figura 3. En el caso de las estrategias ante necesidades de refrigeración se da una circunstancia particular, y es que, con la aplicación de los datos de temperaturas medias mensuales, la práctica totalidad del territorio estaría en confort.

Se puede observar que no hay ninguna zona en confort de forma natural para las condiciones de calefacción, si bien en algunas zonas y meses se encuentran zonas en las que las ganancias internas producidas por los equipos, y la actividad personal, o con el factor de ropa, se podría llegar al confort sin necesidad de implantar estrategias de calefacción.

3.2. La zonificación general obtenida para Galicia

Con el objeto de establecer una potencial zonificación se procede a establecer las agrupaciones de zonas con un comportamiento anual similar. Primero se han establecido las diferentes situaciones que se dan en la totalidad del territorio según las necesidades de estrategias mensuales cartografiadas, obteniendo el resultado mostrado en la Tabla 1.

Para poder establecer unas zonas de comportamiento similar se han establecido criterios concretos, y de este modo se pueden establecer 5 zonas principales con los siguientes criterios:

- **Zona I.** Sólo se requieren estrategias de calefacción mediante sistemas solares pasivos durante 7 o más meses, siendo el resto suficiente con las ganancias internas del edificio.

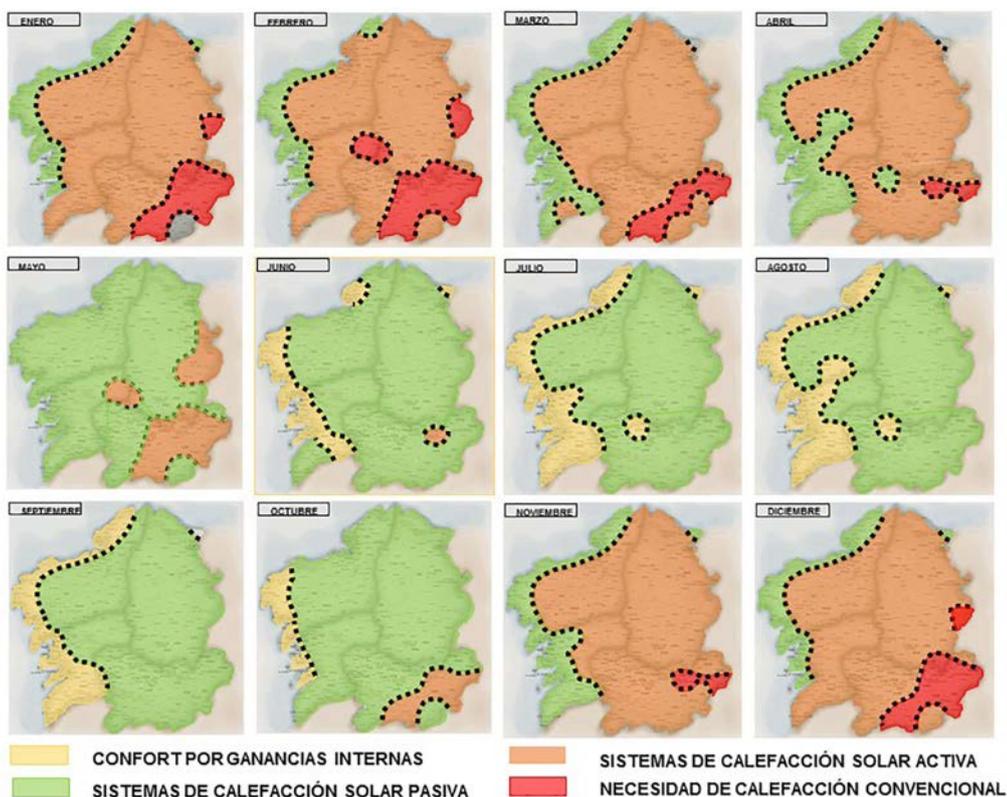


Figura 3. Cartografía estrategias bioclimáticas para calefacción en Galicia, según Givoni. Fuente: elaboración propia.

- **Zona II.** Se precisan estrategias de calefacción solar activa durante 3-4 meses al año, junto con medidas solares pasivas 5-6 meses, siendo el resto suficiente con las ganancias internas.
- **Zona III.** Se precisan estrategias de calefacción solar activa durante 5-6 meses al año, junto con medidas solares pasivas 5-7 meses, siendo el resto suficiente con las ganancias internas.
- **Zona IV.** Se precisan estrategias de calefacción solar activa durante 7 meses al año. En el periodo estival se necesitaría adoptar estrategias de calefacción solar pasiva, 5 meses, para los periodos nocturnos.

Tabla 1. Necesidades de estrategias de calefacción según mes para determinar zonas similares concretas en el territorio gallego. Fuente: elaboración propia.

Zona	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
I.a												
I.b												
I.c												
I.d												
II.a												
II.b												
II.c												
II.d												
III.a												
III.b												
III.c												
IV.a												
IV.b												
V.a												
V.b												
V.c												
V.d												
V.e												
V.f												

Legenda: tipo de necesidad de estrategias de calefacción según GIVONI
 Confort por Ganancias internas
 Sistemas de calefacción Solar Pasiva
 Sistemas de calefacción Solar Activa
 Necesidad de Calefacción Convencional

- **Zona V.** Se precisa calefacción convencional de 3 a 6 meses al año, acompañadas de estrategias solares activas de dos a cinco meses. En el periodo estival se necesitaría adoptar estrategias de calefacción solar pasiva para los periodos nocturnos.

En cada una de estas zonas se pueden establecer subzonas en las que se muestra alguna mínima diferencia, para de este modo disponer de la total variación de situaciones datadas en el territorio estudiado.

Al disponer esta información en un mapa del territorio, se puede visualizar la distribución geográfica de las mismas, como se muestra en la Figura 4.

Se puede observar cómo las zonas establecidas según los criterios anteriores presentan una agrupación geográfica clara, y se pueden establecer como zonas con un comportamiento similar.

Se presenta a continuación un análisis descriptivo del territorio afectado por cada zona:

- **Zona I.** Costa Atlántica, ocupando la zona de las Rías Centrales y las Rías Baixas. Altura topográfica general menor de los 200 m.

Hay una zona puntual que no corresponde a lo anterior, y es el entorno de la Ría de Ribadeo. Si bien este comportamiento está potencialmente relacionado con el territorio vecino de Asturias.

- **Zona II.** Zona interior costera, asociada a la Fosa Padrón-Tui, también conocida como Depresión Meridiana, y la zona del Baixo Miño. Altura topográfica general menor de los 200 m, con excepción en la zona de la Sierra do Soido con alturas superiores a 800 m.
- **Zona III.** Se corresponde con las mesetas interiores, Meseta de Lugo, incluyendo al norte las Rías Altas, y la Meseta Noroccidental sin la zona costera, se extiende también por el tramo superior del valle del río Sil. Altura topográfica general entorno a los 400 m, con cotas inferiores en las zonas occidentales, y de mayor cota en las zonas de sierra. Hay una zona puntual fuera de esta zona y es el entorno del tramo superior del valle del río Támega (al sur de las grandes Sierras Surorientales). Dentro de esta zona se diferencian claramente dos subzonas muy localizadas, una correspondiente al «escalón de Santiago» (subzona III.c) y otra correspondiente a la «Depresión de Ourense» (subzona III.c).
- **Zona IV.** Zona de transición con el Macizo Galaico Leonés. Se diferencian dos zonas independientes, separadas por el valle del río Sil.

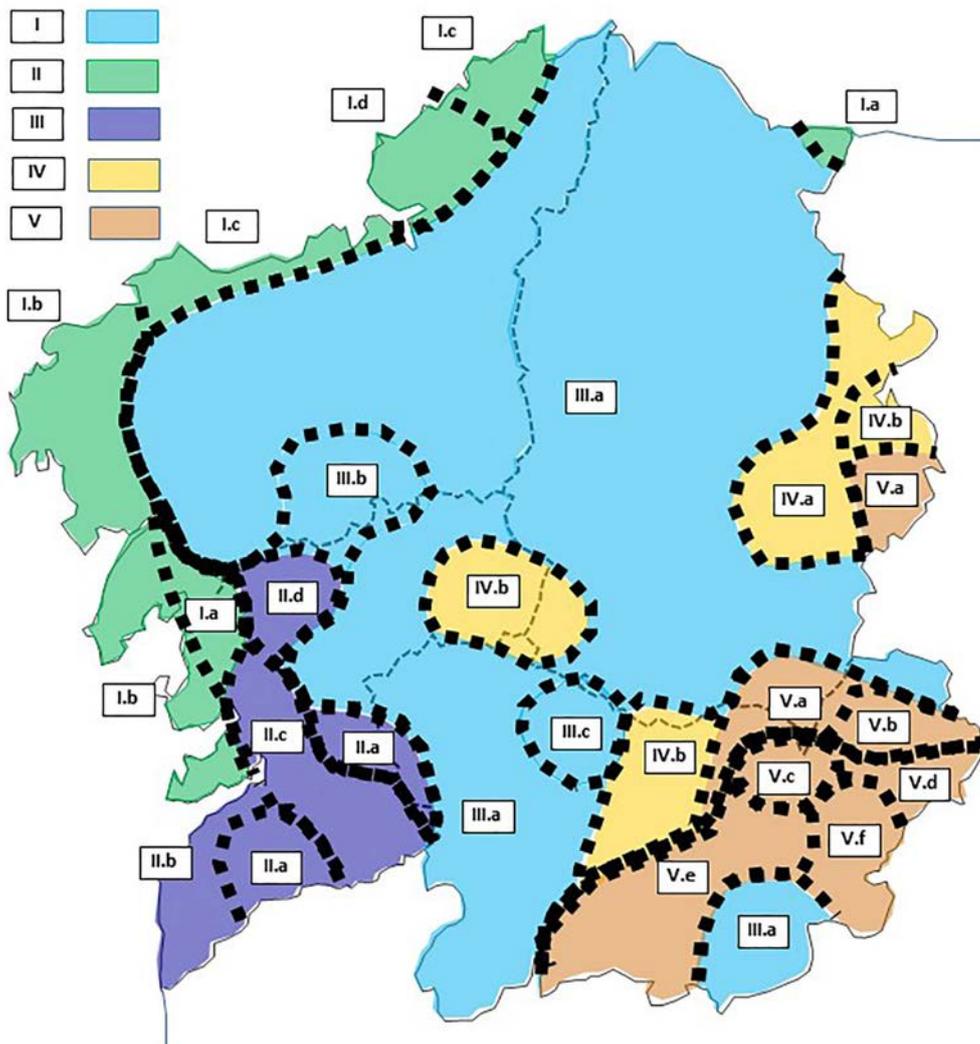


Figura 4. Zonificación climática resultante de la cartografía de las estrategias de diseño bioclimático según Givoni. Fuente: elaboración propia.

La ubicada al norte corresponde con el eje de la Sierra Oriental hasta la zona de A Fonsagrada. La altura topográfica general es superior a los 800 m, salvo en la zona más superior que desciende hasta los 200 m.

La ubicada al sur corresponde con la ladera noroeste de las Grandes Sierras Surorientales, en el entorno de Maceda. La altura topográfica general es superior a los 600 m.

Hay una zona puntual fuera de esta zona y es el entorno de la Sierra de Faro, entre Deza y Chantada. La altura topográfica general es superior a los 600 m.

- **Zona V.** Zona Sureste correspondiente con las Grandes Sierras Surorientales. La altura topográfica general es superior a los 600 m.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO. APLICACIONES DE LA ZONIFICACIÓN OBTENIDA

Una vez obtenida toda esta información se abren múltiples opciones para su consideración y estudio. Se presentan a continuación dos de estas opciones, una primera respecto de las estrategias a adoptar para poder alcanzar el confort en el diseño de edificios, y en segunda opción se analizan las convergencias y divergencias con las zonas climáticas del DB-HE-2013.

4.1. Respecto del modo de alcanzar el confort: las estrategias básicas de diseño en Galicia

Una aplicación directa de la zonificación alcanzada es la utilización de la misma para determinar las estrategias para poder alcanzar el confort con el diseño de la edificación.

Del análisis de la zonificación obtenida se pueden obtener una serie de conclusiones de interés:

- Respecto de la necesidad de estrategias de calefacción, con carácter general:
 - No hay ninguna zona en la que por las condiciones climáticas se esté en confort, siendo preciso adoptar algún tipo de estrategia para alcanzarlo.
 - En todo el territorio es necesario adoptar estrategias de calefacción solar pasiva en algún mes del año para alcanzar el confort.
 - La necesidad de calefacción convencional sólo se precisa en un periodo de meses (noviembre a abril) en la zona V, de alta montaña, y de solo el mes de febrero en la zona IV.b (zonas de montaña, en el entorno de la Sierra do Faro).
- Respecto de la necesidad de estrategias de refrigeración, con carácter general no son necesarias en todo el territorio de Galicia salvo en cuatro zonas puntuales y dispersas:
 - Necesarias sólo en el mes de agosto en la zona de Mondariz-Pontevedra (provincia de Pontevedra), en la zona interior costera, al sur de la Fosa de Padrón-Tui, correspondiendo parcialmente con la zona II.c.
 - Necesaria sólo en el mes de julio y agosto en:
 - Zona de Rubias (provincia de Ourense), en el valle del río Sil, en su ladera norte, en el límite con la Comunidad de Castilla y León. Está en el límite de la zona III.a.
 - Zona de Verín (provincia de Ourense), al sur de las Grandes Sierras Surorientales, en el límite con la frontera de Portugal. Se corresponde con la zona III.a.
 - Necesarias desde el mes de junio a septiembre, en la zona de Ourense capital, coincidiendo con la zona central de la depresión de Ourense, y correspondiéndose con la zona III.c.

Hay que tener en cuenta que la zonificación está determinada con temperaturas medias mensuales, por lo que estas observaciones no tienen en cuenta las situaciones de temperaturas máximas. Al analizar las situaciones respecto de las estrategias para alcanzar el confort se observa:

- En la zona V donde se requiere calefacción convencional, además se precisa durante tres a cinco meses estrategias de solar activa, y el resto (de tres a cinco meses) se necesitan estrategias de calefacción solar pasiva. En estas zonas, puesto que es obligado el sistema de calefacción convencional, la adopción de medidas de calefacción solar pasiva podría ser suficiente para no tener que disponer medidas de solar activa.
- En las zonas donde no se precisa calefacción convencional con carácter general (zonas II, III, y IV) la necesidad de estrategias de calefacción solar activa y pasiva se da en periodos de 5 a 6 meses. Dos son las opciones de recomendación, por un lado, la posibilidad de adoptar sistemas de calefacción convencional (para cubrir las situaciones extremas) y complementar con estrategias solar pasiva. La segunda opción, adoptar estrategias de calefacción solar activa, con capacidad de regulación para los periodos de menor requerimiento.
- En la zona I se requieren estrategias de calefacción solar pasiva prácticamente de octubre a mayo, pudiendo obtenerse el confort el resto de meses con un control de los sistemas. Esta zona se corresponde con la zona costera atlántica correspondiente con las rías.
- En las zonas I, II, y III.b y c, donde se obtiene que se puede alcanzar el confort con las ganancias internas de la actividad del propio edificio, este aspecto debe tenerse en cuenta para evitar sobrecalentamientos en estos meses si no se tiene en cuenta, ya que se simultanearían con los sistemas adoptados, si bien el grado de relevancia de este aspecto depende del horario y uso concreto.

Cada diseñador de edificios debe tomar las decisiones adecuadas, de modo que con las recomendaciones indicadas y con los requisitos propios de diseño, y los condicionantes específicos de la parcela, pueda dotar al edificio de soluciones que mejorarán la eficiencia energética.

4.2. Respecto de las zonas climáticas del DB-HE-2013 en Galicia

Otra línea es analizar las convergencias y divergencias de la zonificación obtenida, con las zonas climáticas del DB-HE-2013. Es evidente que los procedimientos y objetivos de esta zonificación son muy distintos al planteado en el presente artículo. La realización de un análisis comparativo entre estos procedimientos se plantea con el objetivo de poder determinar si hay alguna interrelación entre ambos. De las conclusiones obtenidas se pueden establecer relaciones con la complementariedad de la adopción de medidas bioclimáticas en el diseño de los edificios, con los objetivos de las normativas de eficiencia energética europea.

4.2.1. Cartografía de la zonificación climática establecida en el DB-HE-2013 para Galicia

El criterio de establecimiento de las zonas climáticas de cada municipio, en la actualización de 2013, modificó sustancialmente la versión inicial de 2006, eliminando las irregularidades constatadas que suponía la versión inicial al determinarlo en función de la diferencia de cada municipio con la altura de la capital de provincia.

El establecimiento de las zonas climáticas se refleja en la Tabla B.1 del apéndice B del DB-HE 2013, individualizado para cada provincia, y cuyos datos para Galicia son las referencias de la Tabla 2.

Al plasmar los datos de cada uno de los municipios de Galicia, codificando con un color cada zona climática asignada, se obtiene el siguiente mapa (Figura 5).

4.2.2. Análisis de coincidencias y divergencias con la zonificación climática establecida en el DB-HE-2013 para Galicia

Una vez establecida la cartografía de la figura anterior, se puede proceder a realizar el análisis comparativo entre las

cartografías resultantes de la aplicación de los criterios del DB-HE-2013 y la obtenida en el apartado 3.2 anterior, y cuya superposición puede observarse en la Figura 6.

De dicha superposición se observan las coincidencias y divergencias de ambas cartografías. Se analizan de forma independiente cada una de las zonas según las necesidades de estrategias bioclimáticas:

- **Zona I.** Con carácter general se corresponde con la zona climática C1. Sólo hay pequeñas divergencias que se corresponden con zona D1 (municipios de Zas, Mazaricos, y San Sadurniño), si bien pueden responder al proceso de delimitación derivada de los límites de términos municipales y de las zonificaciones climáticas.

Tabla 2. Datos de la Tabla B.1 del apéndice B del CTE 2013.

Capital de Provincia	Zona Climática	Altura topográfica referencia	Distribución de zonas climáticas en función de la cota			
			C1 si $h < 200$	D1 si $h > 200$		
A Coruña	C1	0	C1 si $h < 200$	D1 si $h > 200$		
Lugo	D1	412		D1 si $h < 500$		E1 si $h > 500$
Ourense	D2	327	C3 si $h < 150$	C2 si $150 < h < 300$	D2 si $300 < h < 800$	E1 si $h > 800$
Pontevedra	C1	77	C1 si $h < 350$	D1 si $h > 350$		

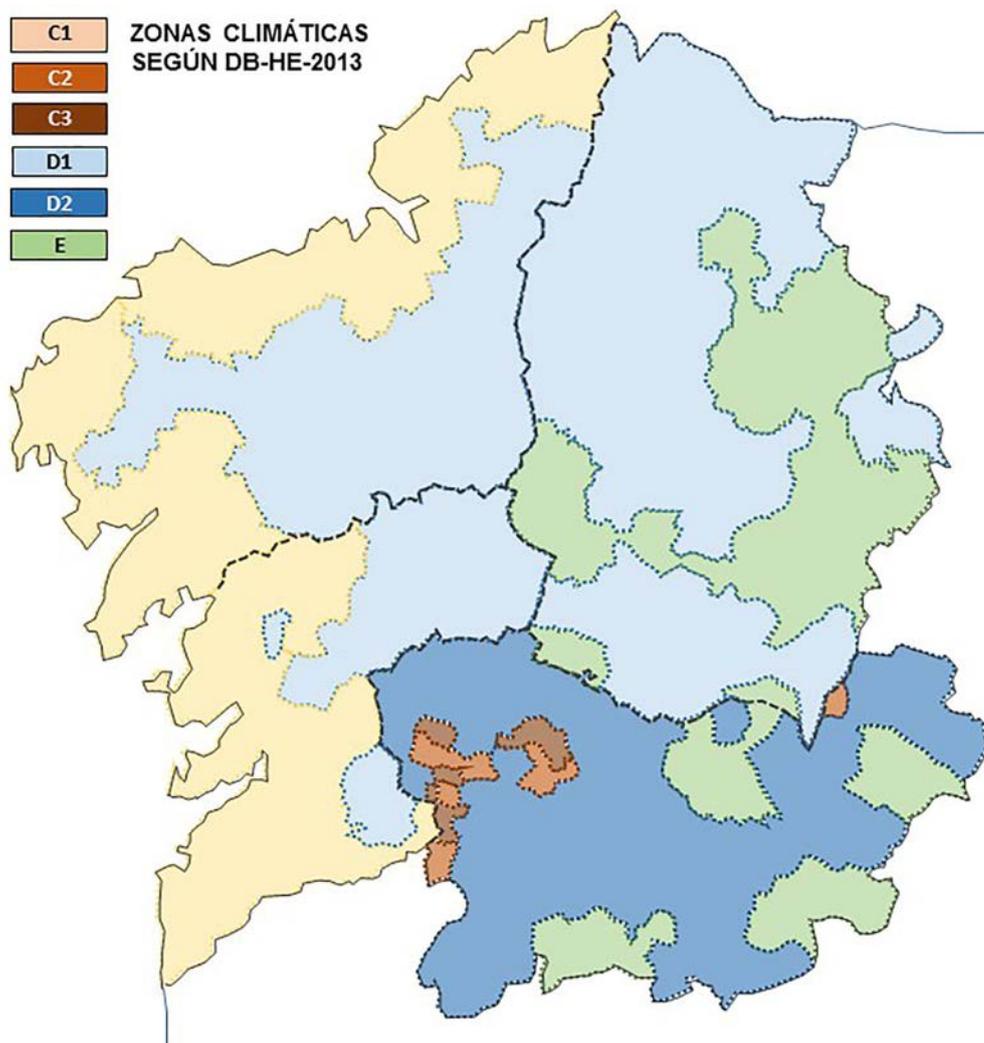


Figura 5. Mapa zonas climáticas según DB-HE-2013. Fuente: elaboración propia.

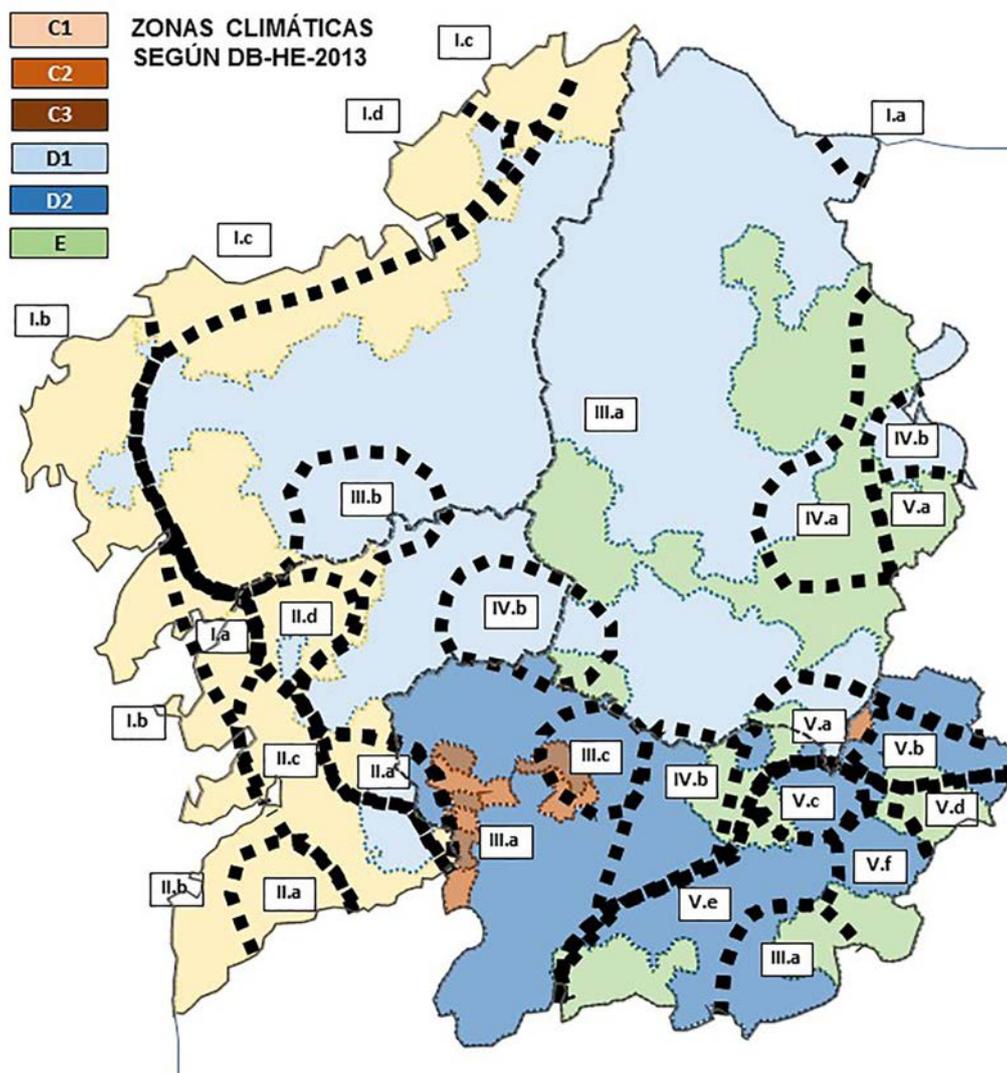


Figura 6. Zonificación climática DB-HE 2013 (color) y zonificación según estrategias bioclimáticas (nominal). Fuente: elaboración propia.

- **Zona II.** Con carácter general se corresponde con la zona climática C1. Hay una pequeña divergencia probablemente derivada del problema de delimitación referido anteriormente, en el municipio de Moraña. Se detectan dos divergencias más, una, que se corresponde con zona D1 (municipios de Covelo y Cañiza), que se corresponde con las laderas sur de la Sierra de Soido. La segunda zona se corresponde con la zona climática D2 (municipio de Melón y la zona sur del municipio de Avión) y coincide con las laderas este de la Sierra de Soido.
- **Zona III.** Con carácter general se corresponde con la zona climática D1. Hay divergencias que se corresponden con la zona C1, en el límite con la zona costera, probablemente derivada del problema de delimitación. Otras divergencias de mayor entidad se corresponden con la zona climática E, en la delimitación NE con las Sierras Orientales, concretamente en la Sierra de Meira. Otra zona es en la delimitación norte de la Terra de Lemos, entre la Sierra do Faro y la Sierra de Oribio. También hay una zona puntual en la estribación sur de la Sierra do Faro (municipio de Carballedo). En la zona occidental de la provincia de Ourense la zona general es la D2, si bien se observan zonas C2 y C3, en la zona de menor cota de la depresión de Ourense. En dichas

zonas no se dispone de observatorios meteorológicos para poder validarlas.

- **Zona IV.** No presenta una gran homogeneidad. En la zona norte del río Sil (zona IV.a) se corresponde con la zona E, con algunos puntos de conflicto en los límites. En la zona sur del río Sil se corresponde con la zona D2, salvo zonas puntuales con zona E, zona interior entre las Sierras de Múa, de Queixa y de San Mamede (municipios de A Terceira y de Montederramo). En el entorno de la Sierra do Faro la zona climática es la D1, salvo dos puntos aislados, uno al sur correspondiente a la zona D2 por el cambio de provincia (municipio de San Cristovo de Cea, Ourense), y otro al este correspondiente a la zona E (municipio de Carballedo).
- **Zona V.** Con carácter general se corresponde con la zona climática D2. Hay zonas puntuales que se corresponden con zonas climáticas E, grandes cotas mayores de 800 m de las Grandes Sierras Surorientales, y con la zona al este de las Sierras Orientales. Se observan dos zonas puntuales con zonificación de otro tipo, D1 (municipio de Quiroga), y otra zona C2 (municipio de A Rúa).

En general, las zonas obtenidas por las estrategias bioclimáticas de Givoni no se diferencian por la cota topográfica, sino

por las condiciones del entorno físico que facilitan la formación de microclimas.

Es notable la divergencia con el DB-HE-2013 en la consideración particular de la provincia de Ourense, en el que se clasifica con una zona D2, si bien en el análisis bioclimático el comportamiento es similar al de la zona correspondiente a las mesetas. También es notable la diferenciación en dos zonas de comportamiento la zona costera según Givoni, si bien el DB-HE-2013 los unifica.

En la zona de las Grandes Sierras Surorientales, en el DB-HE-2013, es más homogénea y similar al carácter general de la provincia de Ourense, mientras que según las estrategias de Givoni marca zonas diferentes sobre todo con las zonas de la depresión.

5. CONCLUSIONES

Se ha establecido una metodología para obtener una zonificación geográfica clara y se ha validado en su aplicación al territorio gallego, donde se concreta en 5 zonas con un comportamiento similar, en base a las estrategias según la carta bioclimática de Givoni.

Esta cartografía es utilizable por cualquier técnico en el diseño de edificios, de forma muy inmediata, ya que aborda la información necesaria para poder adoptar los criterios y estrategias concretas, sin la necesidad de la búsqueda de datos climáticos específicos.

Se puede entender como una herramienta con aplicaciones muy amplias, comenzando por su utilización para establecer recomendaciones directas a los sistemas constructivos y a las diferentes estrategias de carácter bioclimático que se pueden adoptar por los diseñadores de edificios, de modo que según las zonas establecidas se puedan obtener edificios más eficientes energéticamente desde su fase inicial, reduciendo, por tanto, las demandas energéticas y consumos de los edifi-

cios, siendo éstos los parámetros actualmente regulados por las normativas de eficiencia energética europeas.

Así mismo, a través del análisis de la documentación se pueden establecer para cada zona cuáles son las estrategias que no se deben adoptar, y así evitar la adopción de planteamientos inadecuados, o contraproducentes, para una zona por el desconocimiento de las consecuencias de tal aplicación.

En el análisis comparativo entre la zonificación establecida y las zonas climáticas establecidas en el DB-HE-2013 se han observado las convergencias y divergencias entre ambas cartografías, se observa que las zonas establecidas según las estrategias bioclimáticas de Givoni, con los datos reales de los observatorios meteorológicos, se ajustan a las condiciones del entorno (relieve) que condicionan la aparición de microclimas, y no sólo por la altura topográfica de los municipios.

La generalización de la zonificación climática del DB-HE-2013 es aceptable para ser considerada para el cumplimiento normativo, que exija los requisitos de parámetros de consumo energético, y de demanda energética, así como a los niveles de transmitancia de los paramentos. Ahora bien, se ha podido contrastar que no puede ser considerada como un adecuado punto de partida para el diseño bioclimático de los edificios.

De este modo se minimizan los efectos que se producen en los casos que los climas de referencia no se corresponden en características de similitud a la ubicación concreta. En ocasiones se pueden presentar incongruencias de relevancia que podrían conllevar a decisiones erróneas.

Por tanto y como conclusión final, y según lo presentado, se debe indicar que para aplicar el diseño bioclimático a los edificios de un determinado territorio la metodología de aplicación sería la presentada mediante una cartografía basada en las estrategias definidas por Givoni, que se puede considerar como una aproximación a la situación climática real.

REFERENCIAS

- (1) Márquez, J. M. (2016). Selección de soluciones constructivas genéricas para viviendas en las Islas Canarias a través de la cuantificación de demandas energéticas en modelos Bestest (Tesis doctoral no publicada). Madrid: Universidad Europea de Madrid.
- (2) CTE (2013). *Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Ahorro de energía (DB HE)*. Actualización septiembre de 2013. Ministerio de Fomento, <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf>.
- (3) Ministerio de Fomento. Documento descriptivo climas de referencia, versión 2.0, de julio 2015 <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/20170202-DOC-DB-HE-o-Climas%20de%20referencia.pdf>
- (4) Larrumbide, E., Bedoya, C. (2015). El comportamiento del hueco de ventana en la arquitectura vernácula mediterránea española ante las necesidades de acondicionamiento solar. *Informes de la Construcción*, 67(539): e105, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.056>.
- (5) Ministerio de Ambiente del Ecuador (2012). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito.
- (6) Ferrer, F. J., Cabrera, P. G., García, A., de Nicolás, P. (1996). Metodología sobre cartografía bioclimática. En Valladares Bethencourt, P., Dorta, P., Marzol Jaén, M. V. (coords.), *Clima y agua: gestión de un recurso climático* (pp. 363-378). Tabapress.
- (7) Cerezo, F., et al. (2007). Modelo numérico para la generación de mapas de radiación solar. Las Palmas de Gran Canaria. Ed. Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas de Ingeniería. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- (8) Houghten, F., Yaglou, C. P. (1923). Determining lines of equal comfort. *ASHVE Transactions*, 29(10): 163-176.

- (9) Bedoya, C., Neila, F. J. (1986). *Acondicionamiento y energía solar en Arquitectura*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- (10) Neila, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Ediciones Munilla-Lería.
- (11) Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (2008). *Introducción al diseño solar pasivo: Soluciones Bioclimáticas*. Proyecto RECONSOST.
- (12) Neila, F. J., Bedoya, C. (2001). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Madrid: Ediciones Munilla-Lería.
- (13) Olgyay, V. (1963) *Design with climate*.
- (14) Givoni, B. (1969) *Climate and architecture*. Elsevier.
- (15) Luxán, M., et al. (1997). *Arquitectura y clima en Andalucía. Manual de diseño*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- (16) Luxán, M., Reymundo, A. (2010). *Sostenibilidad energética de la edificación en Canarias: Manual de diseño*. Las Palmas de Gran Canaria: Gobierno de Canarias.
- (17) Alonso, M., et al. (2014). *Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación*. Valencia: Foro para la Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana-Mesa de Estrategias de Diseño Sostenible, Instituto Valenciano de la Edificación.
- (18) Da Casa, F. (2000). *Adecuación bioclimática en la subregión de Madrid, para el diseño de los edificios y sus elementos constructivos*. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid (edición digital Biblioteca UPM-ID 563).
- (19) Gobierno de Extremadura. Proyecto EDEA-Renov. DO4.1_PROYECTO ClimEX, http://renov.proyectoedea.com/sites/default/files/action/DO4.1_Geographic-information-system-of-an-energy-map.pdf.
- (20) Echeverría, E., Celis, F., Da Casa, F., et al. (2016). *Integrated system for energy optimization and reduction of building CO₂ footprint*. En *SBE16. Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*. Vitoria, Brasil: Universitá do Espirito Santo.
- (21) ATECYR-IDEA (2010). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid: Ministerio de Industria Turismo y Comercio. ISBN: 978-84-96680-56-2.

* * *