



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



# ARQUITECTURA VERNÁCULA EN LA COSTA MEDITERRÁNEA

## PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO Y EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA EN EL LEVANTE ALMERIENSE



Tesis Doctoral  
Programa de Doctorado en Historia y Artes  
Directora: Dra. M<sup>a</sup> Paz Sáez Pérez

Granada, enero de 2024

Autora: Luisa María García Ruiz



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**



**ARQUITECTURA VERNÁCULA  
EN LA COSTA MEDITERRÁNEA**

**PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO  
Y EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA EN EL LEVANTE  
ALMERIENSE**

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Luisa María García Ruiz  
ISBN: 978-84-1195-239-2  
URI: <https://hdl.handle.net/10481/90705>



*A Ramona y José Antonio*



# AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta Tesis Doctoral ha sido un proceso de aprendizaje muy valioso, que me ha hecho crecer tanto a nivel investigador como a nivel personal. También ha sido un gran reto que no habría podido conseguir sin la colaboración de las personas que se nombran a continuación.

A mi directora y tutora, la Dra. María Paz Sáez Pérez, por su cercanía y disponibilidad ilimitada. Por su gran profesionalidad, implicación y confianza en mí.

Deseo agradecer la hospitalidad de los propietarios del Cortijo Las Huertas o de la Rambla del Plomo, el Cortijo El Paraíso, la Cortijada del Higo Seco y la Cortijada de Bornos (Níjar, Almería), por su hospitalidad, por abrirme las puertas de sus hogares y compartir conmigo los testimonios sobre su estilo de vida y la historia de sus hogares. Además, me gustaría reconocer la generosidad del Sr. Iván G., administrador de la Finca el Romeral, por dedicar una jornada completa a mostrarme la Finca El Romeral (Níjar, Almería) y facilitarme documentación sobre los cortijos de la misma. También quiero destacar la profesionalidad de los trabajadores de la Biblioteca Nacional de España (Madrid), del Archivo Histórico Provincial de Sevilla, del Archivo de la Diputación de Almería, del Archivo Histórico Provincial de Almería, del Archivo Municipal de Almería y de la Biblioteca de la Diputación de Almería. Quiero agradecer la presteza del personal de las Delegaciones Territoriales de Cultura y Patrimonio Histórico y de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de Almería.

Quiero agradecer el gran apoyo recibido por parte de mi familia. A mi tito Pedro, por acompañarme a todos y cada uno de los cortijos que he visitado, siempre con buena disposición. A mi cuñado César, por su sensatez y darme su opinión sincera, tan necesaria. A mi novio Jesús, por acompañarme en la recta final de la tesis, ha supuesto un pilar fundamental en la parte más dura de este camino. A mi querida hermana Almudena, por cuidarme, por su empatía, su comprensión, por su valiosísima ayuda.

Por último, quiero dar un agradecimiento especial a mis padres, Ramona y José Antonio, por demostrarme cada día el amor incondicional que sienten hacia mí. Sus palabras de apoyo han sido la mejor medicina contra los malos momentos de esta investigación. Además, sin ese esfuerzo tan grande que están haciendo a lo largo de toda su vida, sería imposible que yo hiciera realidad esta ilusión que, como ellos bien saben, lucho desde hace varios años. Porque celebráis cada uno de mis logros como si fuera vuestro, esta Tesis Doctoral os la dedico a vosotros.





# RESUMEN

## **ARQUITECTURA VERNÁCULA EN LA COSTA MEDITERRÁNEA. PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO Y EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA EN EL LEVANTE ALMERIENSE.**

La tendencia actual de diseño bioclimático en el ámbito de la arquitectura se debe al incremento extremo de temperaturas debido al cambio climático. La arquitectura vernácula, basada en la conexión entre el ser humano y el entorno natural o rural, sin interferencias de ningún otro elemento, es la principal fuente de inspiración para implementar estrategias pasivas en el sector de la construcción. En el área levantina de la provincia de Almería (España) existe una tipología arquitectónica vernácula de tipo residencial, a la que comúnmente se le denomina cortijos. La investigación realizada en la tesis determina una clasificación de estos cortijos, en función de sus características geométricas y físicas, para confeccionar un modelo tipo representativo de cada grupo. Para cuantificar el impacto de las altas temperaturas acontecidas durante el verano de 2022, propias del clima mediterráneo, dichos modelos tipo se someten a una simulación energética en condiciones de flotación libre. Se obtienen los porcentajes de hueco de cada fachada y los valores de transmitancia térmica, para evaluar los potenciales beneficios en términos de eficiencia energética. El estudio también establece una comparativa entre temperatura interior y exterior. Finalmente, se realiza un análisis de confort térmico adaptativo según ASHRAE 55 (2020). Las conclusiones obtenidas permiten afirmar que la arquitectura levantina almeriense posee la capacidad térmica necesaria para mitigar las temperaturas extremas y proporcionar un gran confort en sus estancias interiores.

# ABSTRACT

## **VERNACULAR ARCHITECTURE ON THE MEDITERRANEAN COAST. PRESERVATION OF BUILT HERITAGE AND BIOCLIMATIC EVALUATION IN THE EASTERN ALMERÍA (SPAIN).**

*The current trend of bioclimatic design in the field of architecture is due to the extreme increase in temperatures because of the climate change. Vernacular architecture, based on the link between the human being and the natural or rural environment, without interference from any other element, is the main source of inspiration for implementing passive strategies in the construction sector. In the Eastern Almería (Spain) there is a vernacular architectural typology of a residential type, called cortijos. The research carried out in the thesis determines a classification of these cortijos, based on their geometric and physical characteristics, to create a representative model of each group. To quantify the impact of the high temperatures that occurred during the summer of 2022, typical of the Mediterranean climate, these models are subjected to an energy simulation in free-floating conditions. The window-to-wall ratio of each facade and the U-factor values will be obtained, to evaluate the potential benefits in terms of energy efficiency. The study also establishes a comparison between indoor and outdoor temperatures. Finally, an adaptive thermal comfort analysis is carried out according to ASHRAE 55 (2020). The conclusions obtained allow us to affirm that the architecture of Eastern Almería has the necessary thermal capacity to mitigate extreme temperatures and provide great comfort in its inner rooms.*



# ÍNDICE

	Páginas
<b>1. INTRODUCCIÓN: PATRIMONIO Y CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	15
<b>1.1. El Patrimonio Arquitectónico, huella de nuestra Historia</b> .....	15
1.1.1. Los Monumentos .....	16
1.1.2. Los Conjuntos Históricos .....	17
1.1.3. Los Sitios Históricos .....	18
1.1.4. El Patrimonio Mediterráneo .....	20
<b>1.2. El Cambio Climático</b> .....	23
1.2.1. Sostenibilidad en la construcción: consumo energético y arquitectura sostenible ...	25
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	29
<b>2.1. La arquitectura vernácula</b> .....	29
2.1.1. La influencia de la arquitectura vernácula .....	29
<b>2.2. El estudio energético de la arquitectura</b> .....	32
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	37
<b>3.1. Objetivos generales</b> .....	37
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	38
<b>4. OBJETO DE ESTUDIO</b> .....	41
<b>4.1. La provincia de Almería</b> .....	41
4.1.1. Contexto geográfico .....	41
4.1.1.1. Regiones paisajísticas y sus figuras de protección .....	41
4.1.1.2. La hidrografía superficial .....	45
4.1.2. Contexto climático de Almería .....	47
4.1.2.1. Las temperaturas suaves y las precipitaciones irregulares .....	47
4.1.2.2. Clasificación del tipo de clima que afecta al caso de estudio .....	49
<b>4.2. El Cortijo Levantino de Almería</b> .....	50
4.2.1. Descripción formal y funcional del cortijo levantino almeriense .....	50
4.2.2. Descripción constructiva y matérica del cortijo levantino almeriense .....	56
4.2.3. Clasificación de los cortijos y definición de modelos .....	60
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	65
<b>5.1. Primera fase: definición de los Modelos Tipo</b> .....	67
5.1.1. Geometría de los Modelos Tipo .....	67
5.1.2. Porcentaje de huecos de los Modelos Tipo (WWR) .....	70
<b>5.2. Simulación energética de los Modelos Tipo</b> .....	71
5.2.1. Primera fase: el estudio numérico .....	71
5.2.1.1. Caracterización geométrica .....	71
5.2.1.2. Caracterización física .....	72
5.2.1.3. Caracterización térmica .....	73
5.2.1.4. Ejecución de la simulación energética .....	73
5.2.1.5. Calibrado y validación .....	75
5.2.2. Segunda fase: análisis del confort térmico adaptativo según ASHRAE 55 (2020)..	76

<b>6. RESULTADOS</b> .....	79
<b>6.1. La transmitancia térmica y la influencia de la orientación de los modelos</b> .....	79
<b>6.2. La temperatura interior de los Modelos Tipos</b> .....	82
<b>6.3. Confort térmico adaptativo de los modelos tipo según ASHRAE 55 (2020)</b> .....	84
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	87
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	91



# 1

## INTRODUCCIÓN

# 1. INTRODUCCIÓN: PATRIMONIO Y CAMBIO CLIMÁTICO

## 1.1. El Patrimonio Arquitectónico, huella de nuestra Historia

El **Patrimonio** de un territorio concreto está constituido por bienes y valores, que pueden ser tanto de índole natural como cultural. A continuación, se enumeran y definen estos dos tipos.

- El **Patrimonio Natural** es aquel cuya existencia no depende de la acción humana.
- El **Patrimonio Cultural** hace referencia al conjunto de elementos creados por una sociedad determinada. Se le aplican distintas figuras de protección, que son reguladas por cada país. A su vez, se divide en inmaterial y material.
  - El Patrimonio Cultural **Inmaterial** se refiere a elementos intangibles como tradiciones, expresiones artísticas o manifestaciones populares.
  - El Patrimonio Cultural **Material** engloba elementos tangibles, como edificios u obras escultóricas (IGN, 2009). Dentro de este grupo, se enmarca el patrimonio arquitectónico, objeto del presente epígrafe.

Desde que se tiene conocimiento de la existencia de poblaciones humanas en el mundo hasta la actualidad, el **Patrimonio Arquitectónico** supone una vía para recorrer la Historia, resaltando los elementos más destacables que se han producido. Además, es un reflejo fiel del pensamiento y la forma de actuar en cada época. Este legado del pasado es una herramienta de aproximación a las decisiones que han forjado cada cultura, sus influencias y sus raíces. De esta forma, queda íntimamente vinculado a la cultura, razón por la que la sociedad actual es responsable de su preservación, para que llegue a las generaciones futuras como un testigo del tiempo (Ministerio de Cultura, 2003). El Diccionario Panhispánico del español jurídico (RAE, 2003) enuncia la siguiente definición:

*Conjunto de bienes inmuebles que comprende monumentos, conjuntos arquitectónicos o sitios relevantes que, por su interés histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico, los Estados miembros del Consejo de Europa se comprometen a identificar y proteger.*

Relacionado con la definición previa y con la necesidad de conservación y mantenimiento del **Patrimonio Arquitectónico en España**, BOE núm. 155 (1989) define los distintos tipos de bienes inmuebles que recoge la definición anterior, que son monumentos, conjuntos de edificios y lugares. Todos ellos se declaran Bienes de Interés Cultural, y dichos tipos se corresponden con categorías denominadas Monumentos, Conjuntos Históricos y Sitios Históricos. Todos ellos se exponen a continuación.

### 1.1.1. Los Monumentos

El primer tipo de patrimonio arquitectónico español que se recoge en BOE núm. 155 (1989) son los Monumentos, los cuales se definen de la siguiente manera:

*Todos los edificios y estructuras de destacado interés histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico, con inclusión de sus instalaciones y accesorios.*

Los bienes inmuebles que cumplan con estas características o bien sean obras escultóricas de tamaño colosal, pueden ser declarados Bienes de Interés Cultural en la categoría de Monumento Histórico. Esta protección jurídica supone la imposibilidad de ejecutar obras en el interior, el exterior o el área de influencia del bien que lo altere íntegra o parcialmente sin autorización expresa de los Organismos competentes que redactan el BOE núm. 155 (1989). De igual forma, es necesaria autorización para colocar un rótulo, señal, símbolo, antena o cable en su envoltente. Para ejemplificar esta categoría, la Fig. 1 recopila algunos de los monumentos españoles con más renombre. La Fig. 1a se corresponde con la Alhambra y Generalife, declarado en 2004 y ubicado en Granada, consiste en una ciudad palatina andalusí con jardines y fortalezas. La Fig. 1b muestra el Teatro Romano de Mérida (Badajoz), declarado en 2004, es un ejemplar de arquitectura romana construida en el s. XV a.C. en el que se celebraban espectáculos y celebraciones. La Fig. 1c se trata de la Mezquita-Iglesia-Catedral de Ntra. Sra. de la Asunción, templo religioso construido en el s. VIII y reconstruido en el s. XVI, es declarado en 1882 y ubicado en Córdoba. Un ejemplo que no es un edificio, sino una estructura, es el Acueducto de Segovia, cuya imagen se muestra en la Fig. 1d. Se construyó en el s. I d.C. para transportar agua desde la montaña de San Andrés hasta el centro de la ciudad de Segovia. Se declara monumento en 1884. La Fig. 1e se corresponde con la Catedral de Santiago de Compostela (Coruña), declarada en 1896, se trata de una catedral de estilo románico. Por último, la Fig. 1f muestra el Real Alcázar de Sevilla, declarado Monumento en 1931. Data del s. X d.C. y combina el estilo mudéjar con el renacentista.



Fig. 1. Monumentos españoles relevantes. (a) La Alhambra y Generalife en Granada. (b) Teatro Romano de Mérida. (c) Mezquita de Córdoba. (d) Acueducto de Segovia. (e) Catedral de Santiago de Compostela. (f) Real Alcázar de Sevilla. (Entradas para la Alhambra, 2021; Turismo de Mérida, 2017; Tour por la Mezquita de Córdoba, 2022; Aquae Fundación, 2013; Catedral de Santiago de Compostela, 2017 y Real Alcázar de Sevilla, 2022).



### 1.1.2. Los Conjuntos Históricos

El segundo tipo de patrimonio arquitectónico español recogido en BOE núm. 155 (1989) son los conjuntos de edificios, conjuntos arquitectónicos o Conjuntos Históricos, a los que define como se enuncia a continuación:

*Agrupaciones homogéneas de construcciones urbanas o rurales que sobresalgan por su interés histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico, con una coherencia suficiente para constituir unidades topográficas.*

Las agrupaciones de bienes inmuebles que cumplan con estas características pueden ser declarados Bienes de Interés Cultural en la categoría Conjunto Histórico. Estos conjuntos de edificios se consideran una representación fiel de la sociedad actual o antecesora y su estilo de vida. A diferencia de los Monumentos, los Conjuntos Históricos pueden abarcar todo un barrio residencial, un polígono industrial, un pueblo y hasta una ciudad completa (Carretón, 2017). Debido a que muchos conjuntos se ven afectados negativamente por la acción humana en el ámbito urbanístico, UNESCO (1968) propone a las administraciones públicas la elaboración de planes urbanísticos específicos para la preservación de su entorno. Además, dentro del contenido de protección que deben tener sus instrumentos de planeamiento, se incluye de manera preceptiva la catalogación exhaustiva de todos los inmuebles que merezcan contar con una figura de protección, clasificados por nivel de importancia. En esta línea, el catálogo de los Planes Generales de Ordenación Urbanística o los Planes Especiales son instrumentos de planeamiento regulados por la legislación urbanística (Ley 7/2002). A continuación, se muestran seis ejemplos de conjuntos arquitectónicos españoles en la Fig. 2. La Fig. 2a muestra Puerta Purchena (Almería). Originalmente fue una de las puertas de entrada a la capital de la provincia, que desde el s. XIX, con el derribo de las murallas, se convierte en el corazón de la ciudad. Actualmente, se ubica en la Plaza Manuel Pérez García y da acceso a numerosos puntos de interés, como los Aljibes Árabes, la Casa de las Mariposas, la Calle de las Tiendas y los Refugios de la Guerra Civil o la estatua a Nicolás Salmerón. Se declara Conjunto Histórico en 1991 (Ruiz, 2008). Por otro lado, un ejemplo de Conjunto Histórico que abarca una ciudad completa es el caso de la ciudad de Granada, recogida en la Fig. 2b. Fue declarada en 1929 (Adarve, 2019). También lo es el municipio sevillano de Arahal, que cuenta con un catálogo de sus inmuebles protegidos en el Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de Arahal, Sevilla (2014). La Fig. 2c es una fotografía que abarca gran parte del municipio. Un caso de barrio declarado Conjunto Histórico es el Conjunto Histórico Artístico Cartuja de la Concepción, ubicado en el Barrio Cartuja Baja de Zaragoza, declarado en 1982 y mostrado en la Fig. 2d. La Fig. 2e representa el municipio de Los Marines, ubicado en el área serrana de Huelva y declarado Conjunto Histórico en 2002 (Huelva Ocio y Playas, 2016). El último Conjunto Histórico recogido en esta relación es la Villa de Sequeros (Salamanca), declarada en 2004 y mostrada en la Fig. 2f, ubicado en la Sierra Francesa, perteneciente al Sistema Central muy próximo a la capital (Rodrigo, 2010).

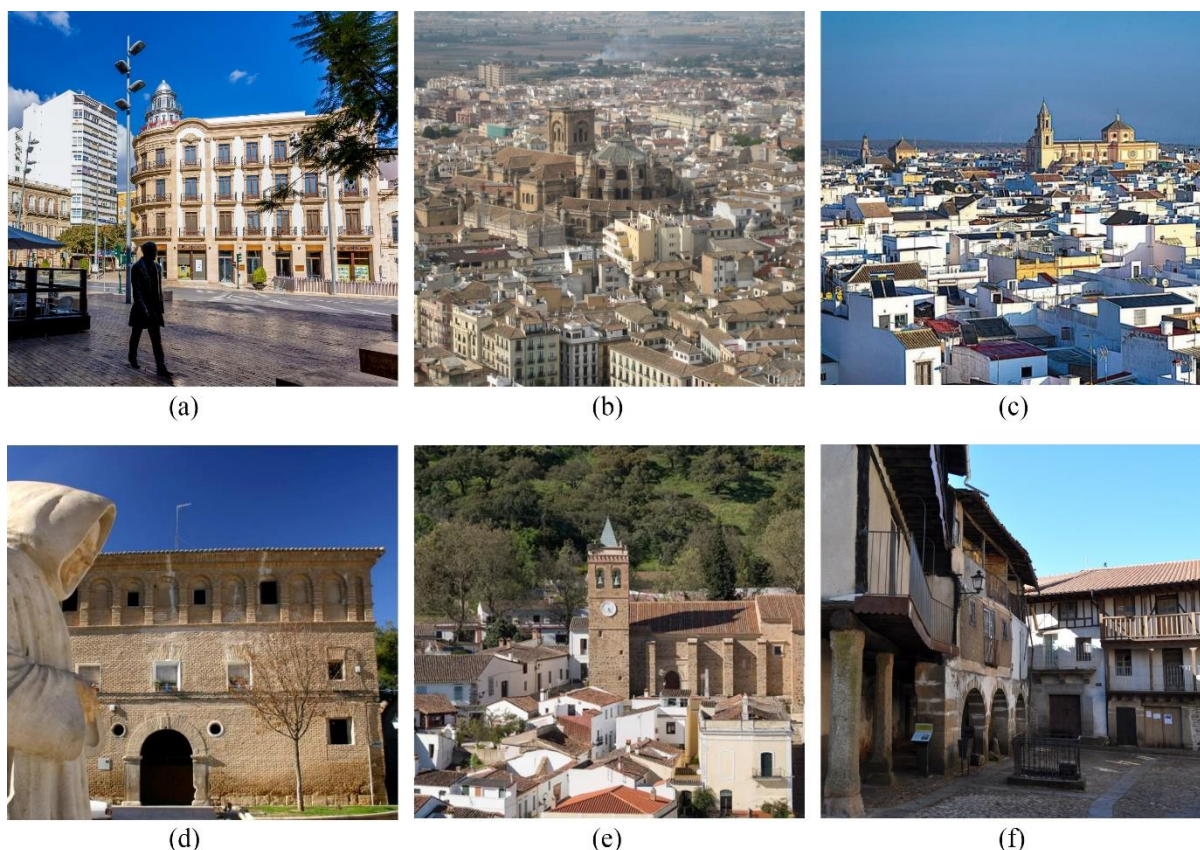


Fig. 2. Conjuntos Históricos españoles. (a) Puerta Purchena en Almería. (b) Ciudad de Granada. (c) Municipio de Arahal, Sevilla. (d) Barrio Cartuja Baja en Zaragoza. (e) Municipio de Los Marines, Huelva. (f) Municipio de Sequeros, Salamanca. (Ruiz, 2008; Adarve, 2019; Ayuntamiento de Arahal, 2014; Ayuntamiento de Zaragoza, 2023; Huelva Ocio y Playas, 2016 y Rodrigo, 2010).

### 1.1.3. Los Sitios Históricos

El último tipo de patrimonio arquitectónico español recogido en BOE núm. 155 (1989) son los lugares o Sitios Históricos. El mismo documento los define como se indica seguidamente:

*Obras combinadas del hombre y de la naturaleza, parcialmente construidas y suficientemente características y homogéneas para poder delimitarse topográficamente y que tengan un interés destacado bajo el aspecto histórico, arqueológico, artístico, científico, social o técnico.*

Esta definición da a entender que el valor del Sitio Histórico, figura menos frecuente que las dos anteriores, reside en el vínculo entre el lugar o paraje natural y obras de la humanidad que posean valor, ya sea de tipo histórico, etnológico, antropológico o paleontológico. Estas obras pueden ser desde tradiciones populares hasta creaciones culturales o de la naturaleza (Ministerio de Cultura y Deporte, 2023). Al igual que se ha procedido con los Monumentos y los Conjuntos Históricos, a continuación, se incluye la Fig. 3 con una relación de seis obras españolas declaradas Sitio Histórico. En primer lugar, la Fig. 3a se corresponde con El Santuario y Aldea de El Rocío en Almonte (Huelva). Fue declarado en 2006 por ser uno de los mayores epicentros mundiales de devoción mariana, razón por la que es visitada anualmente por miles de fieles (Junta de Andalucía, 2020). La Fig. 3b hace referencia a los Molinos de Viento ubicados en los parajes de *Cerro de la Paz* y *Sierra de los Molinos*. Se trata de un Sitio Histórico declarado en 2002 compuesto por los diez molinos que han llegado a nuestros días de un total de treinta y cuatro molinos censados en 1752. Localizados en Campo de Criptana (Ciudad Real), tres de ellos datan del s. XVI, denominados Infante, Burleta y Sardinero, y los siete restantes se construyeron en el s. XX, llamados Lagarto, Culebro, Pilón, Cariari, Inca Garcilaso, Quimera y Poyatos. Estos molinos junto con los dos cerros, se son declados en 2002 por su pasado industrial y su presente turístico, pues



algunos de ellos albergan museos en la actualidad, como el Molino Culebro y el Molino Quimera (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2020). La Fig. 3c es representativa del Sitio Histórico denominado La Mare de Deu de la Salut declarada en 2001, incluye la Basílica de San Jaime Apóstol y la festividad asociada a la advocación mariana que da nombre al Sitio, acontecida cada 7 y 8 de septiembre desde 1834 en municipio de Algemés en Valencia (Ajuntament d'Algemés, 2006). Seguidamente, se muestra la Fig. 3d con el paraje de Pozos Nuevos en Valdeverdeja (Toledo), consiste en un conjunto de ciento diecinueve pozos de granito, cada uno con una pila-lavadero, ubicado en un valle al sureste de dicho municipio. Aunque su origen es desconocido, existen referencias de su existencia en el s. XVI. Se declara Sitio Histórico en 2002 (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2020). La siguiente Fig. 3e es representativa del Belén de Tirisiti, Sitio Histórico que incluye el Teatro Principal de Alcoy (Alicante), construido en 1838, que acoge el espectáculo navideño de títeres *Betlem de Tirisiti*, representación que se lleva a cabo desde finales del s. XIX. Se declara en 2002 (Ajuntament d'Alcoi, 2016). Por último, el Valle de Benasque se corresponde con la Fig. 3f. Se trata de una unidad geográfica delimitada por la cuenca superior del río Ésera y abarca siete municipios: Benasque, Bisaurri, Castejón de Sos, Chía, Sahún, Sesué, Villanova (Huesca). Es declarado en 1970 (Valle de Benasque, 2018).



Fig. 3. Sitios Históricos españoles. (a) Santuario y Aldea de El Rocío en Almonte, Huelva. (b) Molinos de Viento en Cerro de La Paz y Sierra de los Molinos en Campo de Criptana, Ciudad Real. (c) La Mare de Deu de la Salut en Algemés, Valencia. (d) Pozos Nuevos en Valdeverdeja, Toledo. (e) Belén de Tirisiti en Alcoy, Alicante. (f) Valle de Benasque, Huesca. (Junta de Andalucía, 2020; Gobierno de Castilla-La Mancha, 2020; Ajuntament d'Algemés, 2006; Ajuntament d'Alcoi, 2016 y Valle de Benasque, 2018).

Conocido lo anterior, queda demostrado que el Patrimonio Arquitectónico íntimamente ligado al territorio en el que nace y fuertemente condicionado por el costumbrismo de las poblaciones que alberga. Esta situación no se aplica únicamente a un país, pues existen elementos internacionales que son determinantes en el estilo de vida y la tradición cultural en general y constructiva en particular. Un claro ejemplo que retrata este escenario es el mar Mediterráneo, tal y como se desarrolla a continuación.

#### 1.1.4. El Patrimonio Mediterráneo

El **mar Mediterráneo** es un mar de reconocida importancia a nivel mundial, tanto por sus características físicas como por su influencia en la Historia de la humanidad. Este mar tiene una extensión de 2,5 millones de km<sup>2</sup>, con una distancia este-oeste de 3800 km y una distancia norte-sur de 900 km. Además, cuenta con una profundidad media de 1430 m y una profundidad máxima de 5121 m en la Fosa de Matapan o de Calipso, al sureste del Mar Jónico, en Grecia. También cabe indicar que se divide en trece mares menores, que son: el mar de Alborán, ubicado entre Almería (España) y Marruecos; el mar Menor, perteneciente a la Región de Murcia (España); la laguna de Nador, al norte de Marruecos; el mar Balear, situado entre la costa de la Península Ibérica y Cerdeña (Italia), el mar de Liguria entre Niza (Francia), Córcega y Livorno (Italia); el mar Tirreno; el mar Adriático; el mar Jónico; el mar Egeo, entre Grecia y Turquía; el mar de Creta, entre Creta y Las Cícladas; el mar de Libia, entre el golfo de Sidra y el golfo de Gabés; el mar de Silicia, entre Turquía y Chipre; y el mar Levantino o mar de Levante. Se encuentra conectado al océano Atlántico por el estrecho de Gibraltar, con una distancia de 14,4 km que separan el continente de África de la Península Ibérica. Desde 1869, también está conectado con el mar Rojo mediante el canal de Suez (Egipto). Como se puede deducir, se trata de un mar intercontinental situado entre Europa, Asia y África, formando parte de la costa de veintiún países. Cuenta con la particularidad de ser un modificador del clima importante, por su capacidad para retener el calor. A raíz de esto, en toda la cuenca mediterránea se da un tipo de clima que lleva su nombre: el clima mediterráneo (European Environment Agency, 2009; Anèlides, 2022). La Fig. 4 muestra toda la extensión del mar Mediterráneo junto con los países europeos, africanos y asiáticos que poseen su costa en el mismo.



Fig. 4. Mar Mediterráneo y los países europeos, africanos y asiáticos con costa mediterránea, junto con la ubicación del océano Atlántico, el estrecho de Gibraltar y el canal de Suez. Elaboración propia a partir de Anèlides (2022).

A partir de lo anterior, se puede apreciar que el Mar Mediterráneo constituye un elemento que genera un impacto enorme en su área de influencia, también en su patrimonio. Relacionado con ello, se acuña el término **Patrimonio Mediterráneo**. Como se ha indicado anteriormente, el patrimonio se divide en patrimonio natural y patrimonio cultural, y este último engloba patrimonio cultural material y patrimonio cultural inmaterial. El patrimonio mediterráneo no es una excepción, y cuenta con bienes y valores patrimoniales en todas las categorías mencionadas. A continuación, se exponen algunos de los elementos del patrimonio mediterráneo de gran relevancia, para mostrar que la influencia de este mar es tal que abarca todas las categorías.



- **Patrimonio Mediterráneo Natural**

- **La posidonia oceánica.** Es la planta endémica del Mar Mediterráneo que se puede ver en la Fig. 5a, de la cual dependen muchos otros organismos marinos. La pradera de posidonia ubicada entre Ibiza y Formentera (España) es el organismo vivo más grande y longevo de todo el planeta, con ocho kilómetros de longitud y cien mil años de vida. Fue declarada en 1999 (Aqua, 2022).
- **El Parque Natural Cabo de Gata-Níjar.** Se ubica en los municipios de Almería, Níjar y Carboneras (Almería). Es uno de los parques naturales españoles afectado por un mayor número de figuras de protección, tanto natural como cultural. En este caso, se muestra en la Fig. 5b como ejemplo de patrimonio mediterráneo natural. Uno de los motivos de su protección bajo esta categoría es que alberga una de las mayores riquezas florísticas de Europa, con casi mil especies vegetales inventariadas, entre otros elementos de valor natural (Amigos del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, 2021).



Fig 5. Patrimonio Mediterráneo Cultural Material. (a) Arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica. (b) Paisaje cultural agropastoril mediterráneo de Causses y Cévennes (Francia). (b) Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Aqua, 2022 y Amigos del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, 2021).

- **Patrimonio Mediterráneo Cultural Material**

- **Arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica** (Fig. 6a). Son sitios de arte rupestre declarados en 1998 por marcar el final de la Prehistoria. Es un conjunto de pinturas de gran envergadura que representa el desarrollo del ser humano en dicha época (UNESCO, 2009).
- **Paisaje cultural agropastoril mediterráneo de Causses y Cévennes (Francia).** Las *Causses* son mesetas de piedra caliza altamente erosionada y atravesadas por grandes gargantas fluviales que tallan los ríos, son propias del Macizo Central francés. Las *Cévennes* o *Cevenas* son una cadena de montañas ubicadas en el centro-sur de Francia. Este paisaje, reflejado en la Fig. 6b y declarado en 2011, es de tipo montañoso, representativo de los sistemas agropastoriles y su medio ambiente biofísico a través de cañadas. Sus pueblos y granjas de piedra ubicadas en las mesetas calcáreas de las *Causses* son un reflejo de la organización de las abadías del s. XI. Dentro de este paisaje se encuentra Mont Lozère, uno de los últimos lugares donde se practica la transhumancia estival (UNESCO 2013).



Fig 6. Patrimonio Mediterráneo Cultural Material. (a) Arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica. (b) Paisaje cultural agropastoril mediterráneo de Causses y Cévennes (Francia). (UNESCO, 2009 y 2013).

- **Patrimonio Mediterráneo Cultural Inmaterial**

- **La dieta mediterránea.** Declarada en 2013 y representada en la Fig. 7a, comprende conocimientos, competencias prácticas, rituales, tradiciones y símbolos relacionados con los cultivos y cosechas agrícolas, la pesca y la cría de animales, así como con la forma de conservar, transformar, cocinar, compartir y consumir los alimentos en las comunidades de la cuenca del Mar Mediterráneo (UNESCO, 2017).
- **El flamenco.** Es una manifestación cultural, única y múltiple, como se observa en la Fig. 7b. ES símbolo de identidad de Andalucía, región con costa mediterránea. Se declara en 2010 por estar presente en fiestas públicas y privadas. También por ser herencia de generaciones anteriores, que lo transmitieron de manera oral. En la actualidad, es industria cultural, motor económico, objeto de estudio y reclamo turístico (Junta de Andalucía, 2022).

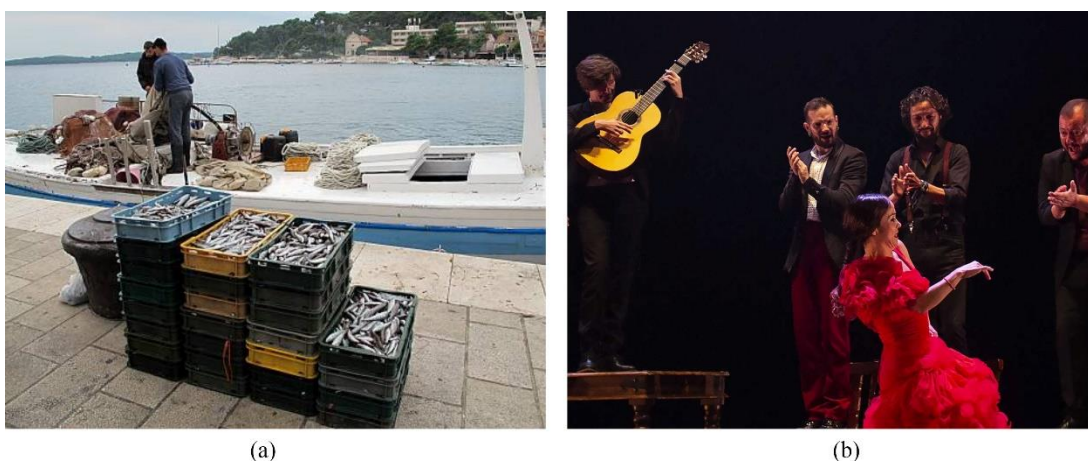


Fig. 7. Patrimonio Mediterráneo Cultural Inmaterial. (a) Actividad pesquera que forma parte de la dieta mediterránea. (b) Imagen representativa de cante y baile flamenco (UNESCO, 2017 y Junta de Andalucía, 2022).

Conocido lo anterior, es necesario indicar que tanto el mar Mediterráneo como su patrimonio natural y cultural se ven afectados por el cambio climático. Por ejemplo, la temperatura de las aguas superficiales del mar, están sufriendo un incremento muy acelerado de su temperatura, lo que provoca la evaporación y, como consecuencia, su salinidad. Esto impacta negativamente sobre la flora y fauna de este mar. Además, este cambio da lugar a la presencia de especies invasoras, naturales de aguas históricamente más cálidas, que suponen una amenaza para las especies autóctonas, alterando así su red trófica o cadena alimentaria y, en consecuencia, al estilo de vida de las comunidades de los países mediterráneos (European Environment Agency, 2009; Anèlides, 2022). A continuación, se procede a describir de manera pormenorizada este cambio climático, su impacto y sus consecuencias.

## 1.2. El Cambio Climático

La temperatura de la superficie terrestre ha aumentado desde 1970 hasta nuestros días más rápidamente que durante cualquier otro período de 50 años. El principal responsable de esta situación es la acción humana, a través de las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por un uso insostenible de la energía, el uso de la tierra, los cambios de uso de la misma, del estilo de vida y de los procedimientos de consumo y producción entre los países y dentro de ellos. En consecuencia, se está provocando un cambio climático que implica fenómenos meteorológicos extremos en todo el mundo, como las olas de calor, precipitaciones fuertes, sequías, precipitaciones y ciclones tropicales. A su vez, esto conduce a escenarios adversos en la salubridad del agua y de los alimentos, con repercusión en la salud de la humanidad, en la economía y en la sociedad, originando pérdidas humanas y naturales. Además, las poblaciones con menor contribución histórica al cambio climático, se están viendo afectados de manera desproporcionada. Muchos de estos daños son pérdidas irreversibles en sistemas terrestres, de agua dulce, criosféricos o ecosistemas costeros y marítimos. Por su parte, en los entornos urbanos, el cambio climático ha causado impactos adversos en la salud humana, medios de vida y en infraestructuras de importancia. En lo relativo a la salud de las personas, el cambio climático ha afectado negativamente a la salud física y mental a nivel mundial. Además, el impacto económico afecta cada vez más al estilo de vida de la población (IPCC, 2023). La Fig. 8 muestra la sucesión de hechos encadenados que demuestra que las emisiones están directamente relacionadas con el **calentamiento global**. En primer lugar, las emisiones de gases efecto invernadero han aumentado rápidamente en las últimas décadas, el CO<sub>2</sub> proviene de combustibles fósiles, combustión y procesos industriales, del uso de la tierra, cambios de uso en la tierra y silvicultura. También se mencionan otros gases distintos del CO<sub>2</sub>, los gases fluorados. Seguidamente, se indica que estas emisiones han ocasionado aumento en la atmósfera de la cantidad de esos gases, siendo los principales el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O. Luego, se plasma que la temperatura de la superficie global ha aumentado alrededor de 1,1°C más en la última década en comparación con el período comprendido entre 1850 y 1900. Por último, se señala que el calentamiento acontecido desde 1850 es provocado principalmente por la acción humana (IPCC, 2023). Esta situación afecta especialmente al área mediterránea, pues las aguas del Mar Mediterráneo están sufriendo un incremento de temperaturas más brusco que los océanos. Mientras que los océanos incrementan su temperatura unos 0,005°C anuales, el Mar Mediterráneo aumenta unos 0,05°C cada año. En general, la temperatura media de toda la región mediterránea ha aumentado 1,4°C respecto a épocas previas a la industrialización de los países, quedando 0,4°C por encima de la media mundial (Salata et al., 2023).

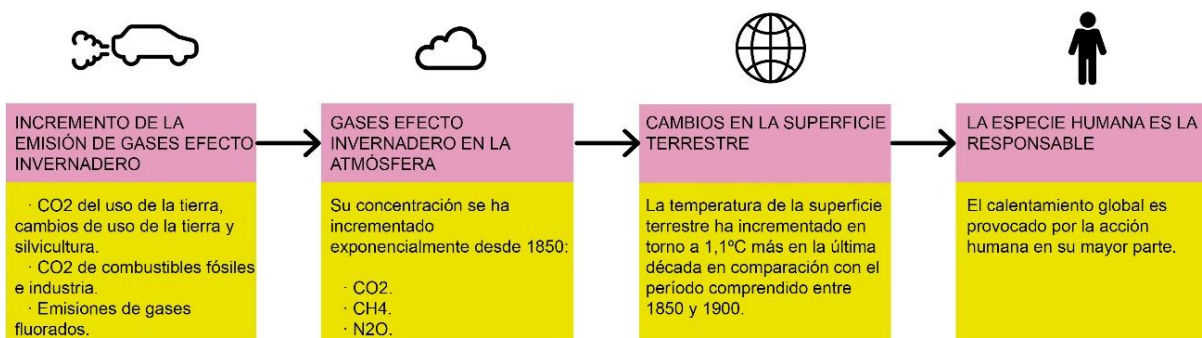


Fig. 8. Cadena causal desde las emisiones hasta el calentamiento global. Elaboración propia a partir de IPCC (2023).



Todo ello obstaculiza el cumplimiento de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018). Con el motivo de paliar la indeseable situación expuesta previamente, nacen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante, ODS). Los ODS están contenidos en la Agenda 2030 aprobada por la Organización de las Naciones Unidas (en adelante, ONU) en 2015, que persigue que los países mejoren la vida de las sociedades de todos los países mediante estrategias de índole económica, social y medio ambiental. Los ODS suman 17 y cada uno aborda un problema mundial relacionado con la pobreza, las necesidades sociales y el cambio climático. Directamente enfocados en el cambio climático se encuentran los siguientes ODS:

- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.** Si se limita el calentamiento global de 2°C a 1,5°C, la población mundial que sufre escasez de agua, se reduciría a la mitad. Además, las masas de agua superficial mundiales están experimentando cambios rápidos, mostrando grandes fluctuaciones en una de cada cinco cuencas fluviales. Por ello, se plantea reducir el vertido y emisión de productos químicos y materiales peligrosos para reducir a la mitad la cantidad de agua sin tratar.
- **Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.** Las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron un 0,9%, convirtiéndose en máximo histórico. Por ello, se persigue modernizar las infraestructuras y reconvertir en sostenibles las infraestructuras para que este ámbito sea racional desde el punto de vista medioambiental.
- **Objetivo 11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.** Dos de sus metas son reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades, enfocado en la calidad del aire y la gestión de desechos municipales. Además, dentro de este objetivo también se incluye la protección y salvaguarda del patrimonio cultural y natural.
- **Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.** Como se ha indicado previamente, los niveles de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, están alcanzando niveles récord y cada año es más caluroso que el anterior. Por ello, las metas de este objetivo tratan sobre fortalecer la capacidad de adaptación a riesgos climáticos y desastres naturales, incorporar medidas en las políticas, estrategias y planes nacionales, así como la sensibilización respecto de la mitigación del cambio climático.
- **Objetivo 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos.** El calentamiento de los océanos es una de las causas de que los océanos posean mala salud, por lo que se persigue gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, con el fin de conseguir océanos saludables y productivos.
- **Objetivo 15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad.** La combinación del cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad genera una situación de crisis. Es por lo que se pretende instaurar un uso sostenible de los ecosistemas terrestres y la lucha contra la desertificación (ONU, 2018).

Relacionado con el anterior Objetivo 11, Qian y Li (2023) destaca que uno de los efectos del cambio climático ocasionado a raíz de una urbanización rápida y la densidad de población alta es el efecto **Isla de Calor Urbana** o *Urban Heat Island* (en adelante, UHI). La UHI se define como *un fenómeno en el que las temperaturas urbanas son significativamente más altas que las de los suburbios y áreas rurales circundantes*. Además, el calentamiento global provoca **Olas de Calor** en las ciudades, especialmente durante los meses de verano, con temperaturas que superan los 40°C. La combinación de la UHI con la ola de calor puede ocasionar impactos aún más graves. Esto provoca condiciones climáticas extremas, incrementa el riesgo de problemas de salud en las personas, aumenta el consumo de agua y el consumo energético en los edificios. A continuación, se cuantifica el consumo energético causado por dicha situación, así como la tendencia de las decisiones que se toman para paliar las consecuencias negativas originadas por esos datos de consumo.



### 1.2.1. Sostenibilidad en la construcción: consumo energético y arquitectura sostenible

En la actualidad, los edificios representan el 40% del **consumo energético** mundial, el 36% de las emisiones de GHG y el 55% del consumo de electricidad, especialmente en tipologías residenciales y comerciales (D'Agostino, 2022). Concretamente, el hecho de dejar encendidos los sistemas de climatización durante las horas desocupadas puede llegar a suponer hasta el 50% del uso total de energía en los edificios (Song et al., 2020). En los países industrializados, la demanda energética de los edificios responde a la calefacción en invierno, la refrigeración en verano, la producción de agua caliente sanitaria, la iluminación y los electrodomésticos. Estas necesidades energéticas están fuertemente ligadas a las condiciones climáticas, por lo que se espera que el cambio climático produzca una evolución de la demanda energética en los edificios existentes (Ciancio et al., 2020). Más concretamente, se espera que esta demanda incremente un 2% en 2040 (Bui et al., 2021). Existe una relación muy estrecha entre el cambio climático, la demanda energética y las emisiones de gases efecto invernadero (en adelante, GHG), que resulta en un bucle causa-efecto que empeora el panorama cada vez más (Ciancio et al., 2020). La previsión de la demanda energética futura de los edificios consiste en el aumento del uso de refrigeración en verano y una disminución del empleo de calefacción en invierno, puesto que se espera que los veranos con temperaturas extremas sean mucho más comunes y que los inviernos se suavicen (D'Agostino, 2022). Esto tendrá un impacto económico en la población mundial, pues se traducirá en una disminución de una reducción del uso de combustibles fósiles, como el gas natural, actualmente empleados para suplir la demanda de calefacción y un aumento del gasto de electricidad donde existe mayor demanda de refrigeración por compresión, como es el caso de los países con costa en el Mar Mediterráneo. En definitiva, esta región se convierte en una de las más afectadas por el cambio climático. (Ciancio et al., 2020). Con el fin de lograr una reducción significativa del consumo energético en el sector de la construcción, en el que la región mediterránea es una de las más vulnerables, es necesaria la regulación energética de los edificios en el grueso de los países industrializados. Sin embargo, los países en vías de desarrollo deben realizar un esfuerzo mayor para implantar dicha regulación (Adly y El Khouly, 2022). En ambos casos, las estrategias de eficiencia energética son las aliadas para transformar el parque de edificios existente y futuro en arquitectura sostenible.

La arquitectura es el resultado de la adaptación humana a su entorno y su clima, para protegerse del viento, de la lluvia, del frío y del calor. Originalmente, la envolvente era el elemento constructivo que desempeñaba la principal función de aislamiento térmico. Posteriormente, el aumento del nivel de vida ha ocasionado que la climatización de los espacios interiores sea un elemento clave para la supervivencia de las personas y el desarrollo de sus actividades. Sin embargo, este tipo de sistemas es uno de los principales productores de GHG (Xiong et al., 2023). A raíz de ello, se comienza a exigir a la arquitectura que se desarrolle de acuerdo a criterios de sostenibilidad. La RAE (2022) define Sostenibilidad como *cualidad de sostenible*. De igual modo, define Sostenible, en el ámbito de la ecología y la economía, como *aquello que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente*. Por ello, se define como **Arquitectura Sostenible** aquella que tiene en cuenta desde su fase de diseño, el impacto que va a ejercer durante toda su vida útil, desde el inicio de su construcción hasta su demolición final. Esto implica considerar los recursos que va a utilizar, el consumo de energía y de agua y el destino de los residuos que genera. Su fin principal es reducir el impacto ambiental e implementar estrategias de eficiencia energética tanto en su diseño y construcción como durante su puesta en funcionamiento. Se vale de la tecnología, del aprovechamiento de aspectos funcionales y el compromiso con su entorno natural o urbano, para conseguir dar una respuesta a sus ocupantes cumpliendo unas exigencias de salubridad, sostenibilidad e integración. Esta situación plantea un problema a futuro en el ámbito de la edificación, pues la consideración de la evolución climática futura hace más complejo el diseño, construcción y rehabilitación de los edificios. Las dos últimas décadas han estado marcadas por los grandes esfuerzos para reducir el consumo energético en el sector de la edificación, especialmente en la tipología residencial. Como se ha comentado anteriormente, la respuesta de las ciudades al cambio climático queda condicionada por la clase climática (Kotteck et al., 2006) a la que pertenecen y a la latitud a la que se ubica el edificio en cuestión. Puesto que se espera una reducción generalizada de la demanda de calefacción, la opción más sostenible es prescindir de la instalación de sistemas de calefacción. Sin

embargo, los propietarios de viviendas existentes las adaptan muy poco a poco. Por otra parte, resulta costoso reemplazar los edificios antiguos por otras versiones modernas más eficientes (Ciancio et al., 2020). En el caso de España, el Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE 2022) fija los requisitos acústicos, estructurales y térmicos de los materiales y de las instalaciones que deberán cumplir los edificios (AEC, 2013). Como se aprecia, la arquitectura sostenible queda determinada por lo energéticamente eficiente que sea el edificio en cuestión. Por ello, también es necesario definir el término **Eficiencia Energética**. El Diccionario Panhispánico de español jurídico (2020) la define como *relación entre la producción de un rendimiento y el gasto de energía, cuyo fin es reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios* (Diesendorf, 2007).

Actualmente, las instituciones estudian distintas opciones para optimizar energéticamente el funcionamiento de los edificios durante su vida útil y asegurar que los edificios son energéticamente eficientes. Por ello, se crean sistemas internacionales de calificación y certificación de sostenibilidad, como el *Green Building Rating System* en Australia o el *Nearly Zero Energy Buildings* de la Unión Europea (Bui et al., 2021), que afecta a gran parte del área mediterránea. La Directiva 2010/31/UE establece que a partir de 2020 todos los edificios de nueva construcción sean edificios de consumo de energía casi nulo o *Nearly Zero Energy Buildings* (en adelante, NZEB). Para edificios de administraciones y de titularidad pública, esta obligación se adelanta a 2018. D'Agostino (2022) define el NZEB de la siguiente manera:

*Edificio que tiene un rendimiento energético muy alto, con una cantidad casi nula o muy baja de energía necesaria cubierta en gran medida por energía procedente de fuentes renovables, incluida la energía procedente de fuentes renovables producidas in situ o en sus proximidades.*

La clave para el diseño de un NZEB radica en enfocar un coste óptimo en relación con las estrategias de eficiencia energética con las que se le dotan. Estas estrategias resultan de una combinación adecuada de medidas rentables de eficiencia térmica, equipos, electrodomésticos y energías renovables. Este tipo de diseño varía en función de las condiciones climáticas del edificio en cuestión, en lo relativo a niveles de aislamiento, envolvente, hermeticidad, color y reflectancia de las superficies y control solar desde las ventanas (D'Agostino, 2022). Para alcanzar los estándares requeridos, los avances actuales en la investigación de este campo se basan en la bioinspiración, cuyo significado es el *uso de fenómenos propios de la biología que pueden ser empleados para estimular la investigación en cualquier otra ciencia y tecnología*. Su potencial reside en que los temas que trata son relativamente sencillos a nivel técnico y ofrece resultados funcionales (Esteban, 2019). A raíz de esta bioinspiración surgen tendencias como el **Diseño Biomimético**, que es un diseño que *busca la semejanza de ecosistemas equilibrando la naturaleza y la humanidad*. Por ejemplo, Bui et al. (2021) desarrolla un tipo de fachada biomimética cuyo elemento estrella son las ventanas electrocrómicas, que funcionan como la piel del camaleón, cambiando su color para controlar la entrada de luz y calor a los espacios interiores. Otra tendencia relacionada es el **Diseño Bioclimático**, que se define como *aquel que es consecuente con el entorno, que construye con el clima, optimizando los intercambios energéticos con el medio en función de las características del entorno y del clima local* (Ceetydes, 2020).

Llegados a este punto, resulta paradójico detectar que, para proponer avances innovadores en la actualidad, la clave se encuentra en echar la vista atrás y reaprender de las enseñanzas de la naturaleza, de la conexión entre el ser humano y su entorno, de la misma conexión que propició el nacimiento de la arquitectura. En esta línea se enmarca el objeto de la presente investigación, pues existen construcciones olvidadas en la costa levantina de la provincia de Almería, que surgieron en torno al s. XVIII para dar respuesta a la necesidad de los pobladores de la zona, que demandaban una vivienda vinculada a la producción agrícola en la que se basaban para subsistir. Actualmente, las construcciones de estas características son fuente de inspiración en el ámbito del diseño bioclimático, pues se valían de estrategias pasivas para ser energéticamente eficientes. La importancia del presente estudio reside en

evaluar la capacidad de dichas construcciones al clima actual para evaluar su viabilidad de adaptación a los usos que demanda la sociedad de nuestros días. De esta forma, se evita la desaparición de estos elementos que forman parte de nuestra identidad y se contribuye a la reducción del consumo energético explicado previamente.

# 2

ESTADO DEL ARTE

## **2. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. La arquitectura vernácula**

#### **2.1.1. La influencia de la arquitectura vernácula**

La morfología, materiales y técnicas de construcción empleados en la arquitectura vernácula y, en consecuencia, su tipo de expresión formal, están fuertemente conectados a la región sobre la que se asientan las construcciones, su medio físico, sus moradores y las condiciones económicas de estos. Las técnicas constructivas perduraban a lo largo de sucesivas generaciones mediante el conocimiento empírico. Por ello, la arquitectura vernácula es un fiel reflejo del estilo de vida de la comunidad, entre personas y con el entorno natural. En consecuencia, estas construcciones son extremadamente heterogéneas en función de sus condiciones locales. En el caso de la región mediterránea, cuyo clima amable unido su localización en entornos rurales, invita al desarrollo de actividades cotidianas en el exterior de las viviendas, sus construcciones responden especialmente a necesidades particulares de ámbito social (Philokyprou et al., 2021; Ortega et al., 2019; Fernandes et al, 2015).

Este tipo de arquitectura presenta unas características en su diseño que responden a cuestiones funcionales, socioculturales, ambientales y económicas, como sucede con la inclusión de patios, espacios de transición entre el interior y el exterior y zonas exteriores con sombra. Además, actúan como estrategia pasiva de diseño bioclimático. Esta manera vernácula de proceder tiene potencial para un mayor desarrollo y adaptación a necesidades contemporáneas (Philokyprou et al., 2021, Fernandes et al, 2015). Con respecto a su proceso de construcción, la historia ha demostrado que la arquitectura vernácula es sinónimo de construcción sostenible, además de ofrecer confort térmico interior. Los materiales y las técnicas constructivas vernáculas juegan un papel fundamental en la eficiencia energética de las construcciones y repercuten directamente en su consumo. Se promueve recuperar el uso de materiales de construcción locales ubicados en las inmediaciones de las viviendas, que fue una manera de proceder empleada hasta el siglo XIX y, en caso de implementarse, deben ser tenidos en cuenta desde la fase de diseño (Agyekum et al., 2020). La relevancia de esta tipología arquitectónica da lugar a que muchos de sus ejemplares sean objeto de numerosas investigaciones en países mediterráneos de Asia, África y Europa. Por ello, la valorización y preservación del patrimonio vernáculo de escala pequeña es crucial, por ser elemento clave de identidad cultural y memoria del pasado, así como un factor influyente en el desarrollo local, especialmente desde el punto de vista económico (Ortega et al, 2019).

A continuación, se desarrollan estudios sobre arquitectura vernácula en países mediterráneos de Asia y África y se profundiza en un mayor número de ejemplos localizados de países mediterráneos europeos, por ser el caso que nos ocupa en la presente tesis doctoral. En países mediterráneos de **Asia**, existen investigaciones que sostienen que la conservación del patrimonio es capaz de mantener en uso técnicas de construcción típicas de la arquitectura vernácula. A través de ello, se persigue revivir conceptos sostenibles que estaban integrados implícitamente en esta tipología arquitectónica. Manzano-Agugliaro et al. (2015) destaca la necesidad de estrategias bioclimáticas en función del clima al que esté sometido la vivienda en cuestión. Concretamente, este estudio se centra en **India, Irán o China**. Se estudia desde los puntos de vista ambiental, económico y social. El caso de estudio es un edificio tradicional en **Pakistán**, conservado y fuertemente marcado por la presencia del patio. Se concluye que su capacidad térmica es más eficaz que su homólogo moderno (Salameh et al, 2022). También se analizan las características térmicas de las viviendas tradicionales de **Anatolia** mediante la determinación en el laboratorio de las propiedades termofísicas de los materiales empleados en sus envolventes. También se realizan mediciones de la temperatura interior y de la demanda de calefacción y refrigeración. Además, se estudian varios sistemas modernos de climatización comunes en esta tipología para determinar las ventajas y desventajas de cada uno (Timur et al., 2022). Otro estudio aplicado a las casas vernáculas de **Nepal**, sometidas a un clima subtropical. Se detecta que las principales estrategias de diseño bioclimático son la calefacción solar pasiva en invierno, la construcción con materiales ligeros y ventanas de tamaño y ubicación adecuados para favorecer la ventilación natural y quedar en sombra durante la época estival. Dicha ventilación queda especialmente favorecida con la presencia de patios interiores (Bodach et al., 2014).

En segundo lugar, en los países mediterráneos de **África**, los materiales vernáculos son clave para la construcción sustentable. Un estudio de las viviendas vernáculas de **Ghana** recoge que los materiales usados con más asiduidad son la madera, el bambú y la laterita. Los hallazgos sugieren además que las técnicas vernáculas clave que son adecuadas para la construcción sustentable son la construcción con entramado de madera, los muros de ladrillo secado al sol o adobe (principalmente de arcilla) y los muros de tierra apisonada o Atakpame (principalmente de laterita roja). En el caso de Agyekum et al. (2020), se analiza mediante estadística descriptiva e inferencial la opinión de expertos de la construcción referente a materiales y técnicas de construcción empleadas en la arquitectura vernácula de Ghana. Se determina que dichas técnicas son la clave para una construcción sostenible. Por otra parte, un estudio desarrollado por Laib et al. (2018) sostiene que la inclusión de placas fotovoltaicas en la arquitectura vernácula de **Argelia** puede satisfacer la energía que no puede obtener de manera pasiva. Por otra parte, existe una investigación desarrollada en **Egipto**, que evalúa un sistema de control de los sistemas de calefacción compatibles con un gran número de edificios existentes a nivel mundial de uso residencial y oficinas (Cholewa et al., 2023).

Este documento proporciona los datos de una evaluación de campo a largo plazo de un innovador control de previsión de sistemas de calefacción (forHEAT), que puede instalarse fácilmente (en menos de 2 h) e integrarse con instalaciones existentes en millones de edificios existentes en Europa y en todo el mundo. Se evaluó el consumo de energía para calefacción en siete edificios residenciales y tres edificios de oficinas públicas antes y después de la instalación y uso del control de previsión. El ahorro energético resultante fue de una media del 13,4% en los edificios residenciales y del 10,7% en los edificios públicos situados en un clima de Europa continental, con inviernos muy fríos. El tiempo de recuperación promedió 0,6 temporadas de calefacción y en la mayoría de los estudios de casos no supera una sola temporada de calefacción.

Con respecto a los países mediterráneos de **Europa**, el número de estudios es tan numeroso que permite presentar varios ejemplos en países distintos, como son Italia, Grecia, Chipre y España. En los estudios analizados de **Italia**, se observa una tendencia a orientarlos hacia las estrategias bioclimáticas aplicadas o que se pueden aplicar a los casos de estudio. Por ejemplo, Posani et al. (2023) estudia el efecto de la implementación de distintos sistemas de climatización en Bolonia. Otro ejemplo ejecuta en una simulación energética el escenario hipotético de un edificio histórico en **Bari** con una fachada vegetal añadida (Vox et al., 2022). En Convertino et al. (2017) Se usa la arquitectura vernácula como herramienta para conocer las características de la arquitectura bioclimática, respetuosa con el medio

ambiente e íntimamente ligada al territorio sobre el que se asienta. Se centra en los beneficios que ofrecen los revestimientos exteriores de cal empleados en el casco histórico de **Ostuni**. Otro ejemplo es Desgous et al. (2016), que analiza mediante confort térmico adaptativo las estrategias bioclimáticas aplicadas en la isla de **Cerdeña**, para concluir la investigación afirmando que la arquitectura vernácula de la región incorpora estrategias bioclimáticas para satisfacer de diversas formas las temperaturas altas y bajas. En la investigación más significativa analizada de **Grecia**, se realizan análisis cuantitativos del flujo de aire en configuraciones de calle típicas de la época bizantina y posteriormente, un análisis térmico mediante simulación de períodos con calefacción y períodos con refrigeración de un modelo de arquitectura vernácula (Bougiatioti y Oikonomou, 2020). La casa mediterránea en **Chipre** se extiende a lo largo de distintas zonas climáticas y diferentes topografías, tanto montañosas como costeras y valles. Estas condiciones mencionadas definen su morfología, dimensiones y la mayor o menor presencia de espacios de transición entre el exterior y el interior. Con ello, persiguen un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales de sus proximidades, así como dar respuesta al estilo de vida y a las características ambientales de su localización (Philokyprou et al, 2021). Existe una tipología residencial típica en Chipre cuya principal característica geométrica es la inclusión de un voladizo de madera denominado *sachnisi*, generalmente ubicado en esquina de planta alta en edificios de dos plantas. Numerosos estudios realizan investigaciones de tipo morfológico y medioambiental, Thravalou y Philokyprou (2021) cambian el punto de mira hacia las posibilidades de su geometría y su integración en la trama urbana del centro de **Nicosia**. Se trabaja con una muestra de 246 ejemplares, en el que se concluye que, debido a la configuración de las calles, no existe orientación predominante y solo un tercio de la muestra recibe luz solar directa. La Fig. 9 muestra diez ejemplares de dicha muestra. Tampoco se encuentran diferencias significativas en el porcentaje de huecos de las distintas fachadas en la misma vivienda. La estrategia bioclimática aplicable a este tipo de construcciones reside en la ventilación natural, pues cuenta con huecos en los laterales del elemento voladizo, ideal para captar el viento de las calles cuando la dirección del viento es favorable para ello.



Fig. 9. Diez ejemplares de vivienda con *sachnisi* en Nicosia (Chipre) integrados en la investigación de Thravalou y Philokyprou (2021).

Otra metodología que es procedente destacar es la revisión sistemática. Ozarisoy y Altan (2021) llevan a cabo una revisión sistemática en la que se destaca el mejor funcionamiento de ciertos materiales tradicionales empleados en arquitectura vernácula frente a otros. Además, se señala que su impacto desde el punto de vista de las emisiones durante su construcción es menor que otros materiales más frecuentes en la actualidad.

Por otro lado, una tipología arquitectónica muy extendida en **España** surgió a raíz del auge de la explotación agrícola del siglo XIX. Concretamente en **Almería**, se trata de un tipo de edificación residencial en entornos rurales, de la que surgen numerosas variantes con distintas denominaciones, siendo el cortijo la más extendida. A su vez, entre los distintos cortijos se distinguen tendencias constructivas en función de la localización de cada inmueble. Un estudio realizado por García Ruiz et al. (2022a) posiciona a la arquitectura vernácula como un referente en diseño bioclimático y recalca la

necesidad de su puesta en valor. En esta misma línea, existen dos estudios enfocados en la viabilidad de adaptar edificios históricos a usos actuales (García-Ruiz et al., 2022b y García-Ruiz y Sáez-Pérez, 2018). La posibilidad de rehabilitar una vivienda vernácula con estas características es el objetivo principal en García-Ruiz. et al (2019), en el que se realiza un análisis de la viabilidad de intervenir el **Cortijo del Fraile** en Níjar, Almería (España), un ejemplar de cortijo destacado y declarado Bien de Interés Cultural en 2010 en la categoría de Sitio Histórico. Se concluye que dicha viabilidad es compleja y queda condicionada por diversos factores, como son los materiales y técnicas constructivas que se necesite emplear, documentos normativos o el estado de degradación de la construcción. Además, en Cano et al. (2013) se incide en la importancia de las investigaciones de la arquitectura vernácula para aportar nuevos datos y difundirlos. Con ello, se favorece la demanda social de rehabilitación de los mismos.

En el resto de provincias andaluzas también se desarrollan estudios relacionados con el diseño bioclimático. En **Granada**, se realiza un análisis térmico del Hospital Real, edificio histórico en el que se establece una comparativa del comportamiento interior en verano y en invierno en dos de sus estancias, con orientaciones y opciones de ventilación y asoleo opuestas (Sáez-Pérez et al. 2023). En **Sevilla**, se desarrolla un estudio comparativo entre dos viviendas bien aisladas y dos viviendas mal aisladas en época estival (Calama-González et al., 2023). Además, dos ejemplos de estudio del impacto de las estrategias pasivas en Sevilla se encuentran, por un lado, en Lizana et al. (2022), que estudia la capacidad de la arquitectura vernácula para mitigar las temperaturas extremas, consecuencia de las olas de calor que tienen lugar en el sur de España. Dicha capacidad tiene lugar gracias a sus estrategias pasivas de climatización, concretamente, en la inclusión de un patio en la composición de la construcción. Por otro lado, existe un estudio de aplicación de las directrices técnicas recogidas en documentos normativos para incrementar el confort térmico en los edificios con características típicas de arquitectura vernácula mediterránea. Se centra en el período de verano, incluidas las olas de calor características del sur de España (Diz-Mellado et al., 2021). Por su parte, Caro y Sendra (2021) evalúan el comportamiento térmico de la envolvente de edificios históricos durante la época invernal. En el resto del país, el estudio desarrollado por Mallea et al. (2018) pone de manifiesto que la morfología de la arquitectura tradicional del **País Vasco** es un claro responsable de su confort térmico interior. Por ello, destaca la necesidad de estudios térmicos mediante simulaciones energéticas de esta tipología.

Todos los ejemplos anteriores dejan constancia de la relevancia de la arquitectura bioclimática. Los múltiples enfoques de los estudios reseñados son una clara muestra de los distintos ámbitos en los que estas construcciones adquieren valor, especialmente en lo relativo a un diseño bioclimático. Relacionado con ello, se llevan a cabo estudios sobre la demanda energética en el interior de los edificios, que, a su vez, se acometen desde múltiples puntos de vista. Esta cuestión se desarrolla en el epígrafe siguiente.

## 2.2. El estudio energético de la arquitectura

El siglo XXI está marcado por sus esfuerzos en reducir el consumo energético de los edificios residenciales. Sin embargo, el ritmo de rehabilitación es lento y los edificios antiguos no reciben adaptaciones a la demanda energética actual. Esta demanda queda fuertemente condicionada por la posición geográfica de cada construcción. En el caso de España, y más concretamente, en la provincia de Almería, en los próximos 60 años disminuirá de manera significativa la demanda de calefacción en invierno y aumentará la demanda de refrigeración en verano (Ciancio et al., 2020). Por su parte, el número de características y estrategias empleadas en el diseño energético de un edificio es muy numeroso, lo que convierte en complejo su estudio. Esto destaca la necesidad de un enfoque multifactorial abordado por entidades multidisciplinares que cuenten con la colaboración entre investigadores y usuarios (Philokyrou, 2023). Conocida la actualidad sobre demanda energética en los edificios, se realiza una revisión de la literatura que permite clasificar los estudios realizados en estudios de un edificio concreto, estudios comparativos, estudios específicos de las estrategias de diseño climático y estudios del proceso de simulación energética, tal y como se expone seguidamente.



En primer lugar, se realizan **análisis energéticos de casos de estudio**, en los que se toma un edificio de relevancia arquitectónica, urbanística y/o social para analizar su demanda energética con el fin de desarrollar una metodología aplicable a edificios de características similares o ubicados en la misma zona climática. Esto se ejemplifica con dos estudios sobre edificios históricos. El primer ejemplo es la envolvente del **Castillo de Zena en Pianoro**, Bolonia (Italia), que es estudiada desde el punto de vista térmico por Alongi et al (2015). Conocida su demanda anual de refrigeración y de calefacción, se aplica el algoritmo de confort térmico adaptativo a la temperatura del aire interior. Se estudia el funcionamiento hipotético de varios sistemas de refrigeración disponible, considerando la emisión de gases efecto invernadero. El segundo caso de estudio es **Palacio Gallenga Stuart** en Perugia (Italia) realizado por Pisello et al. (2014). Se demuestra que la incorporación de sistemas de climatización en un edificio del siglo XVII puede tener un funcionamiento óptimo a pesar de las fuertes limitaciones arquitectónicas y ambientales. Esta investigación continúa en Pisello et al. (2016), durante un año se analiza la configuración actual del edificio, el funcionamiento de materiales de construcción implementados en la cubierta, la optimización del sistema de climatización explicado en Pisello et al. (2014) y la combinación entre dichos materiales y el mencionado sistema de climatización. En líneas generales, los resultados muestran que la modernización energética aplicada lo convierte en un edificio de alto rendimiento energético, sin comprometer su calidad arquitectónica. Además, se afirma que es económicamente viable. Esto se presenta como elemento clave para reducir la demanda energética en edificios históricos ubicados en países mediterráneos y, en consecuencia, reducir las emisiones de carbono en las ciudades.

El segundo tipo de estudios analizados son los **estudios comparativos**. Esta comparación se puede establecer entre las condiciones climáticas y temporales, entre edificios o entre softwares. A continuación se expone un ejemplo de cada caso. En el primer estudio comparativo analizado, Ciancio et al (2020) estudia diecinueve ciudades europeas que poseen distintas **clases climáticas** según la clasificación de Koppen-Geiger (Kottek et al, 2006). Empleando la herramienta CCWorldWeatherGen se generan los archivos climáticos compatibles con el software *EnergyPlus* para todas las ciudades en 2050 y en 2080. Se concluye que la respuesta de la totalidad de las ciudades estudiadas queda influida por una combinación de su clase climática y su latitud, a partir del estudio de la máxima potencia de climatización requerida, del consumo energético medio y anual y el tiempo de funcionamiento de los sistemas de climatización y ventilación o *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC). En años futuros, se produce una clara disminución de la demanda de calefacción y un incremento innegable de la demanda de calefacción, especialmente en el sur de Europa durante el período de tiempo comprendido entre la actualidad y 2050. Del estudio del consumo energético se deduce el aumento de la frecuencia de olas de calor. Por ello, un mayor uso de electricidad en los sistemas de refrigeración aumentará la presencia de gases efecto invernadero en la atmósfera, consecuencia que puede evitarse mediante la eficiencia energética en el parque inmobiliario. En la segunda comparativa, se recoge en una misma investigación la evaluación del confort térmico y la sensación térmica de los usuarios de la **Mezquita de la Facultad de Teología de la Universidad de Mármara** en Üsküdar, Estambul (Turquía) y de la **Mezquita del Imán Alí** en Nayaf (Irak). Ambas se encuentran en clima templado-húmedo. Mientras que la primera cuenta con un sistema de climatización, la segunda no. Se mide el confort térmico en tres estaciones distintas, durante cinco días en cada estación. El uso inadecuado del sistema de climatización dio como resultado que el nivel de confort térmico de la mezquita acondicionada es más bajo en comparación con la mezquita no climatizada, especialmente en época estival. El estudio concluye que la clave para corregir esta situación es prestar atención a los materiales constructivos y a la rutina de los ocupantes (Atmaca y Gedik, 2020). Por último, la reducción del caso de estudio a un único edificio en investigación demuestra ser también un procedimiento adecuado para comparar herramientas de simulación. Esto ocurre en el análisis y la comparativa desarrollada por Mauri (2016), que emplea el **Palacio de la Galería de Arte Scala Reale** en Agrigento (Italia) para comparar las demandas energéticas de refrigeración y calefacción calculadas por el software estático *Termo* con los resultados obtenidos en el software dinámico *Trnsys*. Ambos ponen de manifiesto la importancia de considerar actuaciones que pongan al edificio en el camino de los edificios de consumo casi nulo o *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEB), como implementar aislamiento térmico en la envolvente y la modernización del sistema de calefacción actual.

El tercer tipo de estudios analizado es el referente a los criterios o estrategias que definen el **diseño climático**. Este grupo es el más heterogéneo de los cuatro, pues el diseño bioclimático de edificios es un problema multifactorial, tal y como se indica en Ascione et al (2016). A continuación, se describen tres ejemplos representativos. Relacionado con la conexión entre la arquitectura vernácula y el medio en el que se asienta, Philokyprou et al (2017) identifica y evalúa las estrategias de diseño bioclimático aplicado en viviendas localizadas en tres tipos de paisaje rural: costa, montaña y valle, todas ellas en Chipre. La investigación se centra en aspectos como el tipo de construcción, el uso espacios abiertos o semiabiertos y criterios como el tamaño y la posición de los huecos. Se detecta que las viviendas costeras y de dehesa aseguran una adecuada ventilación natural y zonas de sombra, mientras que las viviendas en áreas montañosas persiguen el máximo aprovechamiento solar en invierno como protección contra el frío extremo. Se aconseja que lo anterior sea tenido en cuenta en intervenciones de rehabilitación eficientes en edificios actuales, para orientarlo hacia un diseño comprometido con el medio ambiente. También es importante incluir en esta revisión a Ascione et al (2016), que emplea la simulación en cuatro países mediterráneos; Madrid (España), Niza (Francia), Nápoles (Italia) y Atenas (Grecia), para medir el rendimiento energético y confort térmico de la envolvente en un edificio residencial de pequeñas dimensiones. Este tipo de edificio es equiparable con el cortijo típico del levante almeriense. A partir de los resultados obtenidos, proponen materiales constructivos y técnicas de construcción para reducir la demanda de climatización forzada. Por ejemplo, aconseja el uso de hormigón celular, ladrillo tradicional y aislamiento de fibra de madera en la cara exterior del cerramiento para disminuir la demanda de calefacción en invierno. Por otra parte, recomienda el uso de colores fríos en los techos con sistemas de alto aislamiento para reducir el uso de refrigeración en verano. Para un aislamiento efectivo durante todo el año, establece las características físicas de los materiales recogidas en la Tabla 1, las cuales logran reducir la demanda energética entre un 2% en el caso de estudio de Madrid (España) y un 13% en el caso de estudio de Nápoles (Italia). Con respecto a las ventanas, destaca el buen funcionamiento de vidrios de triple hoja con sistemas de sombra internos y externos, especialmente las persianas enrollables. Relacionado con ello, refiere que el porcentaje de huecos óptimo presenta un rango amplio de variabilidad.

Tabla 1. Características físicas de los materiales de construcción para reducir la demanda energética entre un 2 y un 13%, recomendadas por Ascione et al (2016).

	Densidad (kg/m <sup>2</sup> )	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Materiales recomendados
Cerramiento	250	-	Bloque o ladrillo de hormigón celular con aislamiento integrado.
Techo	500	0,16	Ladrillo-hormigón con aislamiento externo.

Tras la revisión de literatura referente a viviendas vernáculas mediterráneas, Ozarisoy y Altan (2021) emprenden un análisis sistemático de las estrategias de diseño bioclimático y su impacto en el confort térmico, para implementarlas en edificios residenciales modernos. Se evalúa el uso de energía en verano y en invierno realizando simulaciones térmicas en el software *IES-VE* introduciendo cambios de material. Se concluye que la transmitancia térmica de los materiales y el diseño de los techos son dos factores decisivos para una intervención efectiva en un edificio preexistente. Además, se comprueba que el espesor del cerramiento influye directamente en la ventilación y en el aislamiento del calor según la orientación de la fachada. Por ello, para que los ocupantes perciban confort térmico en el interior de las estancias, es necesario que los materiales de la envolvente presenten características térmicas similares a los materiales vernáculos. En este punto, cabe considerar la reincorporación de ese tipo de materiales al ámbito constructivo actual, ya que son capaces de ofrecer enfriamiento pasivo, mejorando así la eficiencia energética de la construcción intervenida.

El último conjunto de investigaciones se enfoca específicamente en el proceso de **simulación energética**. Se escoge un estudio enfocado en construcciones históricas y otro que pone al software empleado para la simulación en el punto de mira. En uno de los estudios se resalta que un paso determinante en el proceso de simulación es el modelado del edificio que se estudia. A diferencia de los edificios actuales, en el caso de construcciones históricas, esta fase es extremadamente compleja, pues el desconocimiento de aspectos como las características mecánicas o el estado de las uniones. A

partir de esta premisa, Sáez-Pérez y García-Ruiz (2020) analizan métodos de estimación fiables que requieran poco esfuerzo computacional. En el otro estudio escogido y tras una revisión de literatura sobre métodos de cálculo para la selección de opciones de huecos de ventana, Bayonki y Dobszay (2016) desarrollan el software de simulación energética de edificios *EPICAC BE*, centrado en modernizar las opciones de diseño de ventanas en edificios históricos. Su validación se realiza mediante la comparativa de distintas opciones de renovación de un monumento ubicado en Hungría. Se obtiene la solución optimizada considerando la transmitancia térmica de los huecos y el uso de elementos de sombra, que genera un equilibrio energético entre la temporada con demanda alta de refrigeración y la de calefacción.

En esta revisión del Estado del Arte desarrollada se plasma la diversidad de factores que definen y condicionan el diseño bioclimático en el ámbito de la arquitectura. Se comprueba la existencia de numerosos estudios energéticos sobre edificios actuales e históricos de gran magnitud. Sin embargo, los estudios energéticos sobre arquitectura vernácula residencial de pequeña escala son más limitados.

# 3

## OBJETIVOS

## 3. OBJETIVOS

El objeto de estudio en la presente tesis doctoral es la arquitectura vernácula levantina almeriense. Para su análisis, se selecciona una muestra de cortijos localizados en distintos municipios costeros del área levantina en la provincia de Almería. En el presente capítulo, se enumeran y comentan los objetivos planteados con motivo de precisar los fines de la investigación realizada.

### 3.1. Objetivos generales

La investigación llevada a cabo se desarrolla en tres etapas. Cada etapa persigue dar respuesta a cada uno de los objetivos generales planteados al inicio del estudio. Estos tres son: conocer la realidad de la arquitectura vernácula, contextualizar dicha tipología en el caso del levante almeriense y evaluar la eficiencia energética de la misma. Todos ellos se describen a continuación.

- **Conocer la realidad de la arquitectura vernácula.**  
En primer lugar, se pretende reconocer el estado en el que se encuentra la arquitectura vernácula y la evolución que han seguido los estudios energéticos realizados sobre edificios con valor patrimonial a lo largo de los años.
- **Contextualizar la arquitectura levantina almeriense.**  
En segundo lugar, se persigue identificar los elementos geográficos y climáticos que han sido determinantes para la construcción de los cortijos que representan la tipología mencionada. Paralelamente, se plantea analizar sus características geométricas y físicas.
- **Evaluar la eficiencia energética de la arquitectura levantina almeriense.**  
Se propone estimar el comportamiento térmico y energético de los cortijos analizados ante las condiciones climáticas actuales. Para ello, se pretende determinar los parámetros que permiten realizar una evaluación bioclimática de los cortijos objeto de estudio, mediante la confección de tantos modelos representativos de la tipología como sea necesario para abarcar todas sus variantes.

### 3.2. Objetivos específicos

Con motivo de la extensión de los objetivos generales, se establecen los objetivos específicos descritos a continuación, como medio para la consecución de los enumerados previamente. Relacionados con el primer objetivo general, *Conocer la realidad de la arquitectura vernácula*, se plantean dos objetivos específicos, que son: realizar un análisis de la arquitectura vernácula y determinar los tipos de estudio energético en edificios históricos. Ambos se desarrollan seguidamente.

- **Realizar un análisis de la arquitectura vernácula.**  
A partir de la información y documentación recopilada, se pretende determinar la influencia que ejerce la arquitectura vernácula sobre la identidad y la historia de las poblaciones en distintos países de Asia, África y Europa que cuentan con costa en el Mar Mediterráneo.
- **Determinar los tipos de estudio energético en edificios históricos.**  
Se plantea la revisión de la literatura existente que permite diferenciar los múltiples enfoques que la ciencia emplea en un estudio energético sobre edificios con valor patrimonial. Para ello, se pretende identificar el tipo de edificio que se escoge y las herramientas digitales empleadas en cada caso de estudio.

Para cumplir con el segundo objetivo general planteado, *Contextualizar la arquitectura levantina almeriense*, se establecen los siguientes objetivos específicos: determinar los elementos geográficos y climáticos de Almería e identificar las características de la arquitectura levantina almeriense. A continuación, se describe cada uno de ellos.

- **Determinar los elementos geográficos y climáticos de Almería.**  
Se propone reconocer las distintas regiones paisajísticas de Almería, distinguiendo entre su relieve y su litoral. Además, se pretende determinar las figuras de protección que les afectan. También se plantea detectar los rasgos climáticos que afectan a la provincia.
- **Identificar las características de la arquitectura levantina almeriense.**  
Se pretende analizar sus materiales, técnicas y elementos constructivos. A raíz de ello, se planea establecer una clasificación de grupos de cortijos que comparten las características más significativas de su diseño y construcción, se pretende definir tantos grupos como sea necesario para abarcar cada una de las características geométricas y físicas detectada como rasgo identificativo de la tipología.

El tercer objetivo general, *Evaluar la eficiencia energética de la arquitectura levantina almeriense*, se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- **Definir los Modelos Tipo representativos del caso de estudio.**  
Se plantea confeccionar un modelo de cortijo para cada grupo de la clasificación realizada en el anterior objetivo específico *Identificar las características de la arquitectura levantina almeriense*, planteado para la consecución del segundo objetivo general, *Contextualizar la arquitectura levantina almeriense*, que contenga todas sus características identificativas.
- **Ejecutar una simulación energética de los Modelos Tipo.**  
Mediante el empleo del software *EnergyPlus* (versión 8.6.0), se persigue realizar tantas simulaciones energéticas como modelos tipo se confeccionen en el anterior objetivo específico, *Definir los Modelos Tipo representativos del caso de estudio*. A partir de las características geométricas, físicas y térmicas de los cortijos, así como de los condicionantes externos, se propone determinar los parámetros energéticos que definen su eficiencia energética. Esos parámetros cuyo valor se planea conocer son la transmitancia térmica de los elementos constructivos que los componen y la temperatura en el interior de los modelos.

- **Realizar un análisis del confort térmico adaptativo según ASHRAE 55 (2020).**  
A partir de los datos introducidos para la ejecución de la simulación y de los resultados de temperatura interior obtenidos, se pretende evaluar y estimar las condiciones de confort térmico en el interior de los cortijos. Para su consecución, se plantea emplear el método descrito en el documento normativo ASHRAE 55 (2020).

4

OBJETO DE ESTUDIO



## 4. OBJETO DE ESTUDIO

### 4.1. La provincia de Almería

#### 4.1.1. Contexto geográfico

##### 4.1.1.1. Regiones paisajísticas y sus figuras de protección

La provincia de Almería se encuentra en una posición geográfica de encrucijada y encuentro en múltiples ámbitos. Se ubica entre el continente europeo y el continente africano, entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, entre el Trópico de Cáncer y el Círculo Polar Ártico. Esto hace de Almería un territorio singular y un paisaje rico, así como el fruto de distintas influencias culturales. Desde el punto de vista geográfico-político, se ubica al sur del levante de la Península Ibérica y es trata de la provincia más oriental de Andalucía (García, 2009). La Fig. 10 muestra la ubicación de Almería en su contexto geográfico.



Fig. 10. Ubicación de la provincia de Almería en la Península Ibérica, delimitación política de las Comunidades Autónomas y países europeos y africano más próximo. Adaptada de Instituto Nacional de Estadística.

Almería es un territorio de contrastes entre su dehesa, un relieve joven y el litoral volcánico. Por un lado, existen serranías, señaladas en color amarillo en la Fig. 11a. Las serranías de mayor entidad son la Sierra de María-Los Vélez, Sierra de las Estancias, Sierra de los Filabres, Sierra Nevada, Sierra Alhamilla y Sierra de Gádor. Por otro lado, sus principales paisajes de dehesa y litoral se indican en color rosa en la Fig. 11a. Estos son el Valle del Almanzora, el Campo de Tabernas, el Campo de Dalías, el Valle del Andarax y el Campo de Níjar. Las figuras de protección destacadas en la Fig. 11b se destacan en color amarillo si pertenecen a una serranía y en color rosa si se ubican en un paisaje de dehesa o de litoral. Se inicia la descripción del relieve almeriense por la **Sierra de María-Los Vélez**, la serranía de montaña media que se ubica en su extremo norte y se engloba dentro de las Sierras Béticas de Andalucía, señalada en la Fig. 11a. Se ubica al norte de la provincia y posee relieves calcáreos con predominio de roca caliza y alcanza una altitud de 2045 metros. Parte de su extensión pertenece al **Parque Natural de la Sierra de María-Los Vélez**, indicado en la Fig. 11b, que es un espacio natural protegido español desde 1987, distribuido en los municipios de Chirivel, María, Vélez-Blanco y Vélez-Rubio. Su superficie queda poblada por arboleda silvestre como protagonista, acompañada de matorral, espartizal y pinar autóctono de repoblación (Junta de Andalucía, 2020). Dicha sierra se señala en la Fig. 11a. Al sur de la Sierra de María-Los Vélez y a su vez, en lo que puede aún considerarse el norte de la provincia, se encuentra la **Sierra de las Estancias**, también perteneciente a las Sierras Béticas de Andalucía y destacada en la Fig. 11a. Alcanza los 1500 metros de altitud y se extiende por los municipios de Albox, Cúllar, Lúcar, Oria, Partalao, Purchena, Somontín, Taberno, Urrácal, y Vélez-Rubio. Combina relieves dolomíticos con relieves calcáreos, creando contrastes llamativos (Patronato de Turismo de Almería, 2004). La **Sierra de los Filabres**, indicada en la Fig. 11a, se sitúa al noroeste de la provincia, entre el Desierto de Tabernas y el Valle del Almanzora, los cuales se describen más adelante. La Sierra de los Filabres pertenece a la Cordillera Penibética y su altitud máxima es de 2168 metros. Compuesta por esquisto, cuarcita, yeso y mármol, abarca los municipios de Bacares, Bayarque, Sierro, Serón y Velefique. Con respecto a su vegetación, este macizo montañoso presenta principalmente bosques de pinar (Revista Viajeros, 2017). También en la Cordillera Penibética, al oeste de Almería y compartida con la provincia de Granada, se encuentra la parte oriental de **Sierra Nevada**, señalada en la Fig. 11a. Se extiende por los municipios de Abla, Abrucena, Alboloduy, Alhabia, Almócita, Alsodux, Bayárcal, Beires, Bentarique, Canjáyar, Fiñana, Fondón, Illar, Instinción, Láujar de Andarax, Nacimiento, Ohanes, Padules, Paterna del Río, Rágol, Santa Cruz, Terque y Las Tres Villas. El pico más alto de esta sierra ubicado en Almería alcanza los 2611 metros de altitud. Cuenta con numerosas figuras de protección y galardones, entre los que destaca su declaración como **Parque Nacional de Sierra Nevada** en 1989, indicado en la Fig. 11b (Portal Ambiental de Andalucía, 2021). En el área central de la provincia, se encuentra **Sierra Alhamilla**, macizo montañoso señalado en la Fig. 11a y que se extiende por los municipios de Lucainena de las Torres, Níjar, Pechina, Rioja, Almería y Tabernas, donde se despliega un paisaje árido compuesto por abanicos aluviales y glacis de erosión, que descienden hacia el mar conformando cárcavas, barrancos, surcos y ramblas serpenteantes (Ruiz, 2008). Al igual que en el caso de Sierra Nevada, la declaración del **Paraje Natural de Sierra Alhamilla**, indicado en la Fig. 11b, tuvo lugar en 1989. Al oeste de dicha área central, se encuentra la **Sierra de Gádor**, indicada en la Fig. 11a y que se extiende por los términos municipales de Felix, Enix, Almería, Huércal de Almería, Benahadux, Gádor, Santa Fe de Mondújar, Alhama de Almería, Alicún, Huécija, Terque, Bentarique, Íllar, Instinción, Rágol, Canjáyar, Almócita, Padules, Fondón, Laujar de Andarax, Alcolea, Berja, Dalías, El Ejido, Roquetas de Mar y Vúcar, en esta área se combina la geomorfología erosiva con las terrazas fluviales de formas suavizadas por el Río Andarax (Ruiz, 2008).

Como se ha indicado anteriormente, los paisajes de dehesa y litoral de la provincia se clasifican en valles y campos. El valle ubicado al norte de Almería es el **Valle del Río Almanzora**, con una extensión de 1629 km<sup>2</sup> que incluye los municipios de Albanchez, Albox, Alcóntar, Arboleas, Armuña de Almanzora, Bacares, Bayarque, Cantoria, Chercos, Cóbdar, Cuevas del Almanzora, Fines, Huércal-Overa, Laroya, Líjar, Lúcar, Macael, Mojácar, Olula del Río, Oria, Partalao, Pulpí, Purchena, Serón, Sierro, Somontín, Suflí, Taberno, Tíjola, Urrácal, Vera y Zurgena. Se representa en la Fig. 11a. Se trata de un territorio árido marcado por serranías de montaña media, campiñas esteparias, vegas y valles esteparios y costas con campiñas costeras, todo ello drenado por ramblas. Cabe destacar que, en el área interior del valle, la presencia del mármol es la base de su actividad productiva. En contraposición, la sierra litoral es de origen volcánico, caracterizada por relieves montañosos de materiales metamórficos

(Villalobos, 2003). El **Campo de Tabernas**, comúnmente conocido como el Desierto de Tabernas, es un territorio árido de 280 km<sup>2</sup> con un paisaje desértico que queda confinado por la Sierra de los Filabres al norte, por el extremo oriental de Sierra Nevada, Sierra Alhamilla por el este y Sierra de Gádor por el oeste, tal y como se detecta en la Fig. 11a. Se expande por los municipios de Tabernas, Gádor, Santa Cruz de Marchena, Alboloduy y Gérgal. La totalidad de su extensión se encuentra catalogada como **Paraje Natural del Desierto de Tabernas** desde 1989, tal y como se muestra en la Fig. 11b. Es una tierra de contrastes debido a las áreas de campiña esteparia y desierto con valles, vegas y marismas litorales de las serranías que lo delimitan. Las condiciones climáticas actuales han llevado a la desecación de esta área y la consecuente inactividad de los abanicos fluviales próximos al Río Andarax (Fernández y Fernández, 2010; Villalobos, 2003). El paisaje actual adquiere un carácter erosivo muy marcado, tal y como plasma Goytisolo (1960):

*Desde un recodo de la cuneta había contemplado [...], cociéndose al sol, las sierras ásperas, cinceladas a golpe de martillo, de la zona de Tabernas, corroídas por la erosión y como lunares.*

Al suroeste de la provincia se ubica el **Campo de Dalías**, de 340 km<sup>2</sup> de extensión y 50 km de costa. Este campo señalado en la Fig. 11a, agrupa los municipios de Adra, Berja, Dalías, Enix, Felix, Roquetas de Mar, El Ejido, Vícar y la Mojonera. Esta área recoge las ramblas provenientes de Sierra de Gádor, las cuales solo llevan agua en los escasos períodos de lluvia. Las ramblas de la vertiente este y de la vertiente oeste desembocan en el mar, mientras que las ramblas céntricas desembocaban al mar. Sin embargo, actualmente estas escorrentías se canalizan mediante acequias y canales para abastecer el sistema de regadío de la actividad agraria que **Reserva Natural Punta Entinas-Sabinar** y la **Reserva Natural Albufera de Adra**, ambas declaradas en 1989 (Andalucía, 2012) y recogidas en la Fig. 11b. El **Valle del Río Andarax** se encuentra en el centro y sur de la provincia, delimitado por Sierra Nevada al Norte y por Sierra de Gádor al sur. Se extiende 2512 km<sup>2</sup> entre la alpujarra almeriense y el área metropolitana de Almería, lo cual incluye los municipios de Alhama de Almería, Almería, Almócita, Benahadux, Huércal de Almería, Gádor, Fondón, Laujar de Andarax, Padules, Pechina, Rioja, Santa Fe de Mondújar y Viator. Su área litoral comunica con el Mar Mediterráneo al este de la ciudad de Almería. El territorio ocupa una depresión rellena de sedimentos marinos (Ferre, 2006). También comunicado con el litoral, está en **Campo de Níjar**, señalado en la Fig. 11a al sureste de la provincia con una extensión de 29000 Ha, de las cuales, 3000 Ha pertenecen a Almería, 5000 Ha se encuentran en Carboneras y 21.000 Ha en Níjar. Es un sector árido y desértico que se compone de la ladera meridional de Sierra Alhamilla, el piedemonte y llanura costera con sierras litorales y la sierra paralela al litoral, que supone el 35% del territorio del campo y, a su vez, el **Parque Natural Cabo de Gata-Níjar**, incluido en la Fig. 11b y declarado en 1988 (IAPH, 2015; Ayuntamiento de Níjar, 2005). Para recoger en este epígrafe todos los principales espacios protegidos de la provincia, es necesario añadir el **Paraje Natural Karst de Yesos**. Se trata de un territorio semidesértico en el que la acción de la lluvia sobre el yeso a lo largo de los siglos ha formado el modelo kárstico tan singular de ese lugar. Está localizado en la Fig. 11b y ocupa una superficie de 2318 Ha y está ubicado en el municipio de Sorbas (Portal Ambiental de Andalucía, 2021).

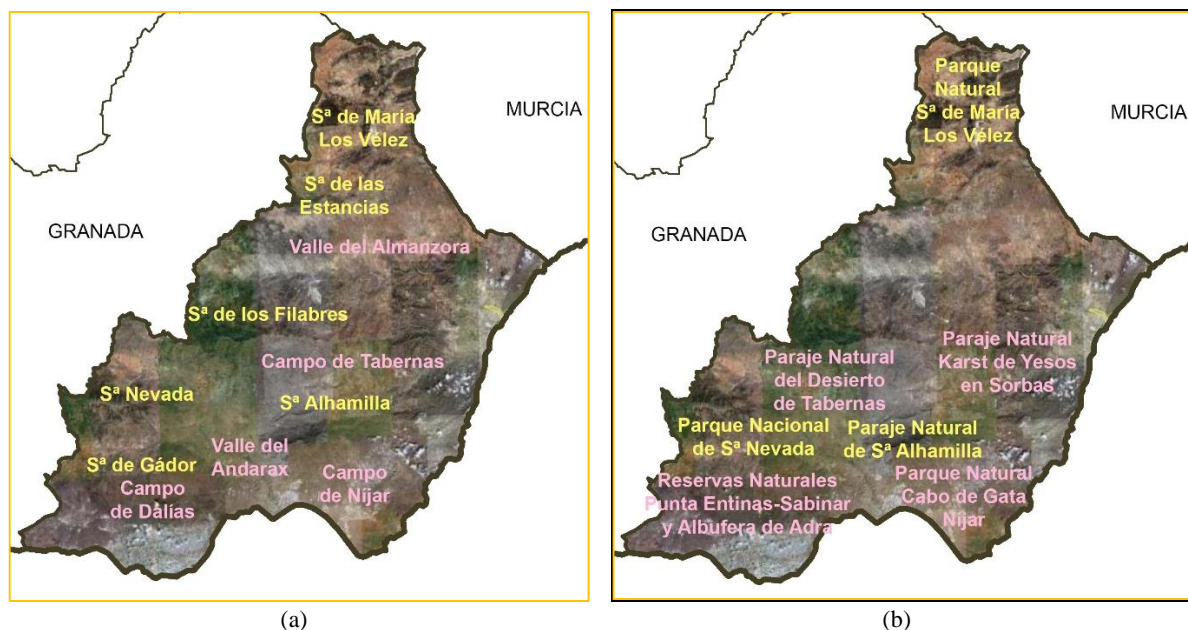


Fig. 11. Relieve de la provincia de Almería (España). (a) Regiones paisajísticas, diferenciadas entre las serranías señaladas en color amarillo y los paisajes de dehesa y litoral indicadas en color rosa. (b) Principales figuras de protección relacionadas con el entorno natural.

En relación con lo mostrado en la anterior Fig. 11, al sur y al este de Almería y con carácter general en toda su extensión, existe un **litoral volcánico** que combina playas de gran extensión con calas de tamaño reducido, así como ensenadas de arena fina con playas de bolos volcánicos. Además, su sierra volcánica cuenta con acantilados, salinas, estepa, ramblas y calizas arrecifales. El oleaje bravo característico de la zona contribuye a la erosión de los acantilados que acaban convertidos en calas. En el interior de la bahía, los fuertes vientos arrastran la arena por el mar hasta configurar paisajes desérticos. En las salinas, el color blanco de la sal crea un fuerte contraste al depositarse sobre la roca de color oscuro. La antigua albufera, que es una explotación salinera en la actualidad, mantiene el agua en el lado interno de la línea de costa. Las mencionadas ramblas, así como los barrancos y cárcavas constituyen huellas de la torrencialidad del mar (Marín y Molina, 2009).

#### 4.1.1.2. La hidrografía superficial

Directamente relacionado con los valles, se aporta información sobre la hidrografía almeriense, que se define como dinámica y compleja, dos características típicas de los territorios semiáridos del área mediterránea. Para confeccionar una descripción pormenorizada, se explica la hidrografía superficial almeriense empleando como directriz los ríos más importantes de la provincia, representados en la Fig. 12. Estos son un total de ocho ríos, son el Río Guadiana Menor, el Río Almanzora, el Río Antas, el Río Aguas y el Río Alías, el Río Andarax, el Río Nacimiento y el Río Adra.



Fig. 12. Principales ríos de la provincia de Almería. Se representa la trayectoria de su cauce junto a su denominación.

El **Río Guadiana Menor** es el cauce principal y afluente del Río Guadalquivir con 152 km de longitud, señalado en la Fig. 12. En la provincia, nace en Cañadas de Cañepla, María (Almería), que coincide con la Cuenca Hidrográfica Guadalquivir Cabecera, de 7319 km<sup>2</sup> de extensión, de la cual solo un reducido porcentaje se localiza en Almería, atravesando las sierras del norte y del oeste. Su curso determina un territorio repleto de barrancos y arroyos secundarios, debido a que se compone de vegas aluviales y valles de inundación compuestos por limos y arcillas (CEPT, 2019; García, 2009). A continuación, se procede a describir los ríos pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica Sur-Oriental, que abarca 17500 km<sup>2</sup> de extensión. En primer lugar, el **Río Almanzora** (Fig. 13a) tiene una longitud de 120 km, nace en Sierra de los Filabres a 2000 metros de altitud y su desembocadura se localiza en Villaricos, Cuevas del Almanzora (Almería) en el Mar Mediterráneo. Además de Sierra de los Filabres, discurre por la Sierra de las Estancias y el Valle del Almanzora. Permanece seco la mayor parte del año, pero en primavera y otoño experimenta un crecimiento importante generado por las lluvias torrenciales y los deshielos. La última crecida destructiva tuvo lugar en 1973, que provocó daños materiales en varias poblaciones (Fig. 13b) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018; García, 2009).



Fig 13. Río Almanzora. (a) Apariencia actual, en la que se aprecia que permanece seco la mayor parte del año (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). (b) Municipio de Cuevas del Almanzora durante la última crecida del Río Almanzora en 1973 (La Voz de Almería, 2023)

El **Río Antas** tiene 44 km de longitud, con nacimiento en Sierra de los Filabres y desembocadura en el Mar Mediterráneo. Su curso, recogido en la Fig. 12, atraviesa los municipios de Antas, Garrucha y Vera. Cabe mencionar que su mencionada desembocadura o delta posee gran valor paisajístico, ya que consta de un humedal de grava y arena en medio del paisaje semiárido de la zona, denominado Laguna de Puerto Rey o Laguna de Vera. Con respecto a la vegetación, en este humedal abunda el carrizo, la caña y el junco (Costa de Almería, 2020). Al igual que el Río Antas, el **Río Aguas** nace en Sierra de los Filabres y desemboca en el Mar Mediterráneo. Su curso, de 35 km de longitud e indicado en la Fig. 12, pasa por los términos municipales de Bédar, Los Gallardos, Lucainena de las Torres, Lubrín, Mojácar, Sorbas, Turre y Uleila del Campo. A pesar de estar ubicado en la zona del Paraje de Karst de Yesos en Sorbas, presenta una vegetación exuberante en sus orillas, ya que posee un cauce fluvial con agua superficial permanente (Los Yesares, 2021). El río perteneciente a la Cuenca Hidrográfica Sur-Oriental de menor entidad es el **Río Alías**, también llamado Río Carboneras, señalado en la Fig. 12, al igual que los anteriores. Con una longitud de 42 km, constituye el curso hídrico más significativo del **Parque Natural Cabo de Gata-Níjar**. Nace en el límite entre los municipios de Lucainena de las Torres y Sorbas y desemboca en el Mar Mediterráneo dentro del término municipal de Carboneras (García, 2009). Junto con el Río Almanzora, el **Río Andarax** o Río Almería es el río de mayor entidad de la provincia, atravesando los municipios de Rioja, Pechina, Viator, Huércal de Almería, Gádor, Almería y Benahadux. Nace en Sierra Nevada y, tras una trayectoria de 62 km, desemboca en el Mar Mediterráneo. Se caracteriza por los frecuentes barrancos y arroyos en su parte alta y por sus ramblas de gran torrencialidad en sus partes media y baja. Además, genera un humedal en su delta, tal y como sucede con el Río Antas, el cual se encuentra en vías de desaparición, motivado por el crecimiento urbano de la capital de Almería, que sume al curso del Río Andarax en una sequía permanente (García, 2009). Esta situación genera un impacto social tal que deja huella en el refranero popular almeriense, que reza así:

*Andarax, Andarax y jamás agua encontrarás.*

Tanto el Río Andarax como su principal afluente, el **Río Nacimiento**, se muestran en la Fig. 12. El citado Río Nacimiento o Río Alboloduy pasa por los municipios de Fiñana, Abruca, Abla, Las Tres Villas, Nacimiento, Gérgal, Alboloduy, Santa Cruz de Marchena, Alsodux, Alhabia y Terque. En este último, se produce su desembocadura en el Río Andarax, con el que comparte características de poseer arroyos, barrancos y gran torrencialidad. Nace en Sierra Nevada y tiene una longitud de 40 km (García, 2009). El último río perteneciente a la Cuenca Hidrográfica Sur-Oriental que cabe mencionar



es el **Río Adra**, reflejado en la Fig. 12. Su curso, de 49 km, describe una trayectoria marcada por fuertes desniveles, desde su nacimiento en Sierra Nevada hasta su desembocadura en el Mar de Adra, en Paterna del Río (Almería). Su valle es el que más precipitaciones recibe de toda la provincia, proveniente de las lluvias y el deshielo (Andalucía, 2021).

#### **4.1.2. Contexto climático de Almería**

En la zona meridional de la Península Ibérica que queda bañada por el Mar Mediterráneo, el clima adquiere tendencia hacia rasgos semiáridos característicos de climas secos. Dentro de esta particularidad, Almería es un territorio especialmente caluroso y seco (Mühr, 2019; Cara et al, 2008). A continuación, se exponen las características de las temperaturas y precipitaciones de la provincia. Tras esto, se definen las características del tipo de clima que afecta al caso de estudio según la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek et al, 2006) y CTE (2022).

##### **4.1.2.1. Las temperaturas suaves y las precipitaciones irregulares**

La suavidad y benignidad de las **temperaturas** medias anuales convierten a Almería en una de las provincias más confortables de la Península Ibérica, son homogéneas comprendidas entre 18 y 20°C. Entre los factores que dan lugar a esta situación, varios son de ámbito geográfico, como son su continentalidad, distribución de su relieve y proximidad a la costa y, sobre todo, su altitud. De hecho, el incremento de la altitud en la provincia se corresponde con un descenso de las temperaturas medias en invierno, entre octubre y abril. Suelen rondar en torno a 12°C descendiendo a 5°C en olas de frío esporádicas. Además, el efecto termorregulador del Mar Mediterráneo dulcifica las temperaturas medias del territorio almeriense en valles, laderas y, sobre todo, en la costa. Allí se registran los valores más elevados entre mayo y octubre, especialmente en julio y agosto, ascendiendo hasta 26°C de temperatura media debido a masas de aire tropical saharianas. Por otra parte, en el interior de la provincia hacia el norte y el oeste, la oscilación de temperatura diaria se incrementa porque se pierde esa influencia del mar. En los valles y las laderas surgen rasgos de continentalidad y la alta montaña cuenta con precipitaciones de nieve. La primavera y el otoño almerienses suponen una transición suave entre los fríos invernales y las temperaturas extremas estivales (Costasur, 2022; García, 2009). A partir de la información registrada en el Atlas Nacional de España (IGN, 2020) se elaboran la Fig. 14. La Fig. 14a muestra la distribución de temperatura media anual de Almería de 1981 a 2010. En ella se observa que el incremento de temperatura se acentúa al sur y al este próximos a la costa, descendiendo progresivamente en zonas del interior. La Fig. 14b recoge la distribución de temperatura máxima anual de la provincia entre 1981 y 2010. En este caso, las máximas temperaturas se producen en el área central de la provincia. Con respecto a los valores mínimos, se obtienen en áreas interiores, tal y como sucede en la Fig. 14a.

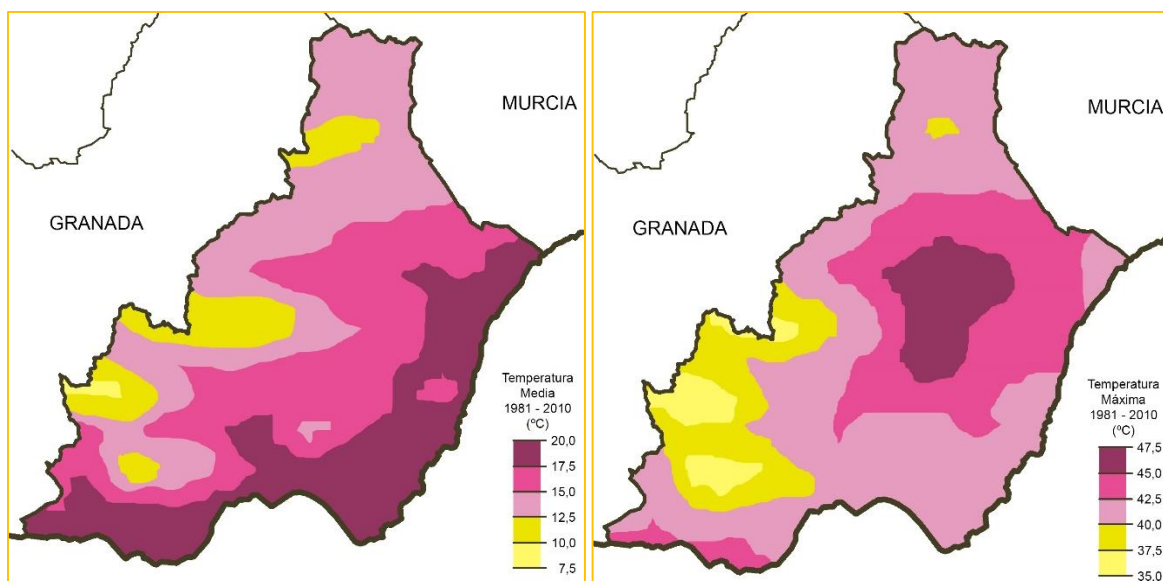


Fig. 14. Distribución de temperaturas en la provincia de Almería. (a) Temperatura media anual de Almería de 1981 a 2010. (b) Temperatura máxima anual de Almería de 1981 a 2010. Elaboración propia a partir de Atlas Nacional de España (IGN, 2020).

Los flujos húmedos atlánticos son los principales responsables de las precipitaciones en la Península Ibérica. La provincia de Almería queda protegida de los mismos por su situación geográfica, pues queda al sur de los desplazamientos del frente polar y a sotavento de los relieves Béticos. Esta situación hace de Almería que uno de sus rasgos climatológicos más característicos sea la escasez de precipitaciones, lo confiere características semiáridas al paisaje almeriense. Concretamente, las precipitaciones son muy bajas en áreas costeras, por debajo de 200 mm/año. Sin embargo, conforme se aleja del litoral y se aproxima a áreas montañosas, estas aumentan hasta 300 mm/año. Los valles de la provincia actúan como áreas de tránsito con precipitaciones de 400 mm/año. Por su parte, el Mar Mediterráneo contribuye a la disminución de precipitaciones, las cuales marcan una tendencia torrencial (García, 2009). La Fig. 15a recoge la distribución de precipitación media anual desde 1981 hasta 2010, en la que se observa que gran parte de la provincia mantiene sus valores entre 200 y 400 mm/año. Con respecto a la precipitación máxima diaria entre 1981 y 2010, la Fig. 15b recoge datos comprendidos entre 20 mm/año en el sur de la provincia, hasta 60 mm/año en el oeste y el este de la provincia.

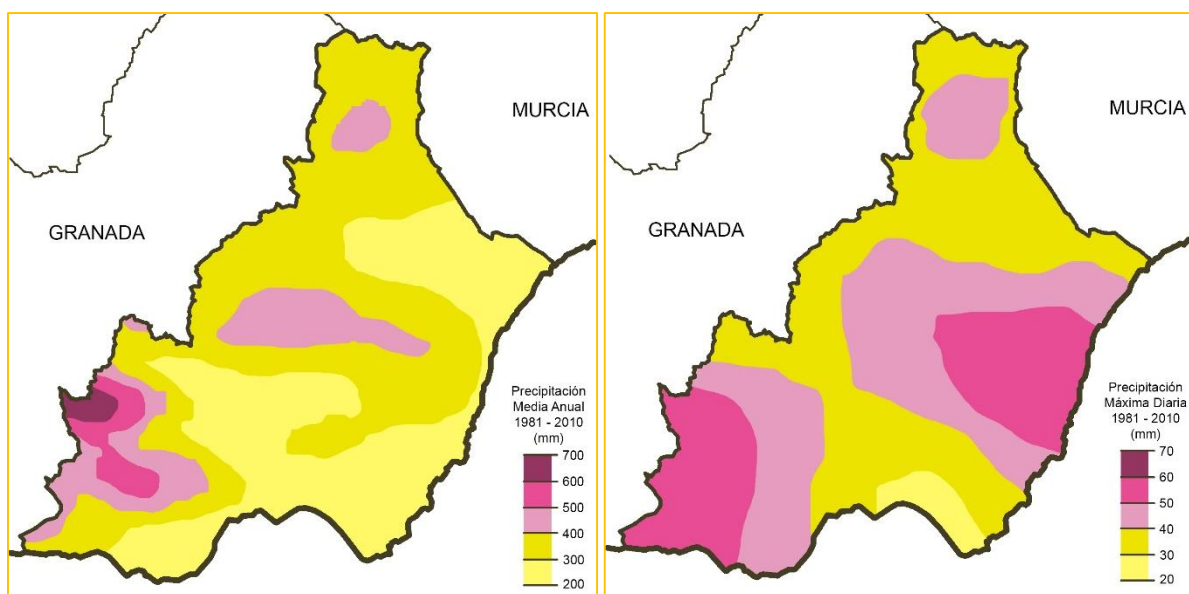


Fig. 15. Distribución de precipitaciones en la provincia de Almería. (a) Precipitación media anual de Almería de 1981 a 2010. (b) Precipitación máxima diaria de Almería de 1981 a 2010. Elaboración propia a partir de Atlas Nacional de España (IGN, 2020).



La presencia de viento es un fenómeno muy característico de la provincia, siendo frecuente, constante y violento en ocasiones, con predominancia de poniente que supera los 120km/h. En segundo lugar, toman importancia los vientos de componente norte y levante, más usuales en verano (Costasur, 2022).

En la Tabla 2 se muestran los datos de temperatura media y las precipitaciones en julio, el mes más caluroso en Almería durante los cinco últimos años. Se observa que los valores que tradicionalmente ubican a Almería dentro del clima mediterráneo con rasgos semiáridos propios de climas secos cuenta con los datos más extremos registrados, especialmente el año 2022. Por ello, la presente tesis doctoral se realiza en las condiciones más desfavorables acontecidas recientemente.

Tabla 2. Temperatura media mensual y precipitaciones totales de lluvia y nieve derretida en el mes de julio en la provincia de Almería durante los últimos cinco años (AEMET, 2023).

Año	Temperatura Media (°C)	Precipitación total de lluvia y nieve derretida (mm)
2019	26,1	0,00
2020	27,9	0,76
2021	25,4	0,00
2022	27,9	0,00
2023	28,0	0,00

#### 4.1.2.2. Clasificación del tipo de clima que afecta al caso de estudio

Los casos de estudio se ubican en los términos municipales de Antas, Cuevas del Almanzora, Mojácar, Níjar y Pulpí, que presentan altitudes en torno a 356 metros sobre el nivel del mar. Por tanto, se localizan en el área levantina de la provincia de Almería. A continuación, se indica dónde se enmarca el clima según la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek et al, 2006) y según CTE (2022). En primer lugar, según la clasificación del clima actualizada de Köppen-Geiger (Kottek et al, 2006), el clima mediterráneo, se enmarca dentro del tipo Templado Cálido o Mesotérmico con denominación **Csa**, que implica:

- Grupo **C**: clima húmedo típico de los bosques templados.
- Régimen de lluvias tipo **s**: Verano Seco, que cumplen el siguiente mínimo de precipitaciones: *precipitación del mes más seco del verano es inferior a la tercera parte de la precipitación del mes más húmedo, y algún mes tiene precipitación inferior a 30 mm.*
- Temperaturas de verano tipo **a** o Subtropical: superan los 22°C de media en el mes más cálido y superan los 10°C en cuatro meses al año, como mínimo.

Por otra parte, el Documento Básico de Ahorro de Energía (Código Técnico de la Edificación, 2022) publica la clasificación de Zonas Climáticas de España en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar, con el propósito de definir las sollicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo necesarias en términos de ahorro energético. En el presente caso de estudio, para la provincia de Almería y una altitud dentro del rango definido entre 351 y 400 metros sobre el nivel del mar, le corresponde la zona climática B3, lo que conlleva lo siguiente:

- La letra **B** indica una severidad climática de invierno baja, comprendida entre 0,23 y 0,5.
- El número **3** indica una severidad climática de verano alta, comprendida entre 0,83 y 1,38.

## **4.2. El Cortijo Levantino de Almería**

La tipología de arquitectura vernácula que queda sometida al clima mediterráneo es el cortijo levantino almeriense. A continuación, se expone una descripción de dicha tipología, desde los puntos de vista formal, funcional, matérico y constructivo. Para ello, de manera complementaria al procesado de información y documentación recopilada, se inspecciona *in situ* la muestra seleccionada, compuesta por un total de 27 cortijos con características comunes entre todos ellos. Sin embargo, se distinguen rasgos que se repiten en algunos de los cortijos, pero no en todos ellos. Este hecho permite agruparlos en tres tipos atendiendo a su morfología, número de plantas y tipo de cubiertas.

### **4.2.1. Descripción formal y funcional de cortijo levantino almeriense**

A raíz de la inspección *in situ* realizada en la presente investigación, se observa que el cortijo levantino almeriense se ubica en una extensión de tierra amplia, apta para el cultivo y próximo a un canal hídrico. Además, la geometría exterior del cortijo almeriense se caracteriza por la particularidad de no responder a un patrón definido. Sin embargo, su implantación en el territorio, así como su distribución espacial está específicamente configurada para albergar el uso residencial combinado con uso dotacional y productivo relacionado con la agricultura y la ganadería (Ortiz & Cruz, 1994). A continuación, se toma un ejemplo representativo de la tipología que cuenta con la mayoría de los volúmenes y estancias típicas, para ilustrar la descripción que sigue. Fig. 16 muestra un esquema de la planta de cubiertas del Cortijo El Romeral (Níjar). El primer rasgo que se distingue es que el cortijo está dividido en varios volúmenes, se observa que se articula en torno a un núcleo central, que alberga las estancias vivideras de los propietarios, unidas a habitaciones destinadas a almacenaje. Desvinculada de este núcleo se encuentra la vivienda de aparceros, que eran los trabajadores al servicio de los propietarios, ubicada junto a las estancias donde se guardaba el ganado. Un elemento característico de la tipología es la era, que es una porción de terreno compactado, de planta sensiblemente circular destinada a desempeñar actividades relacionadas con la producción agrícola y ganadera propias de cada cortijo (Ortiz & Cruz, 1994).

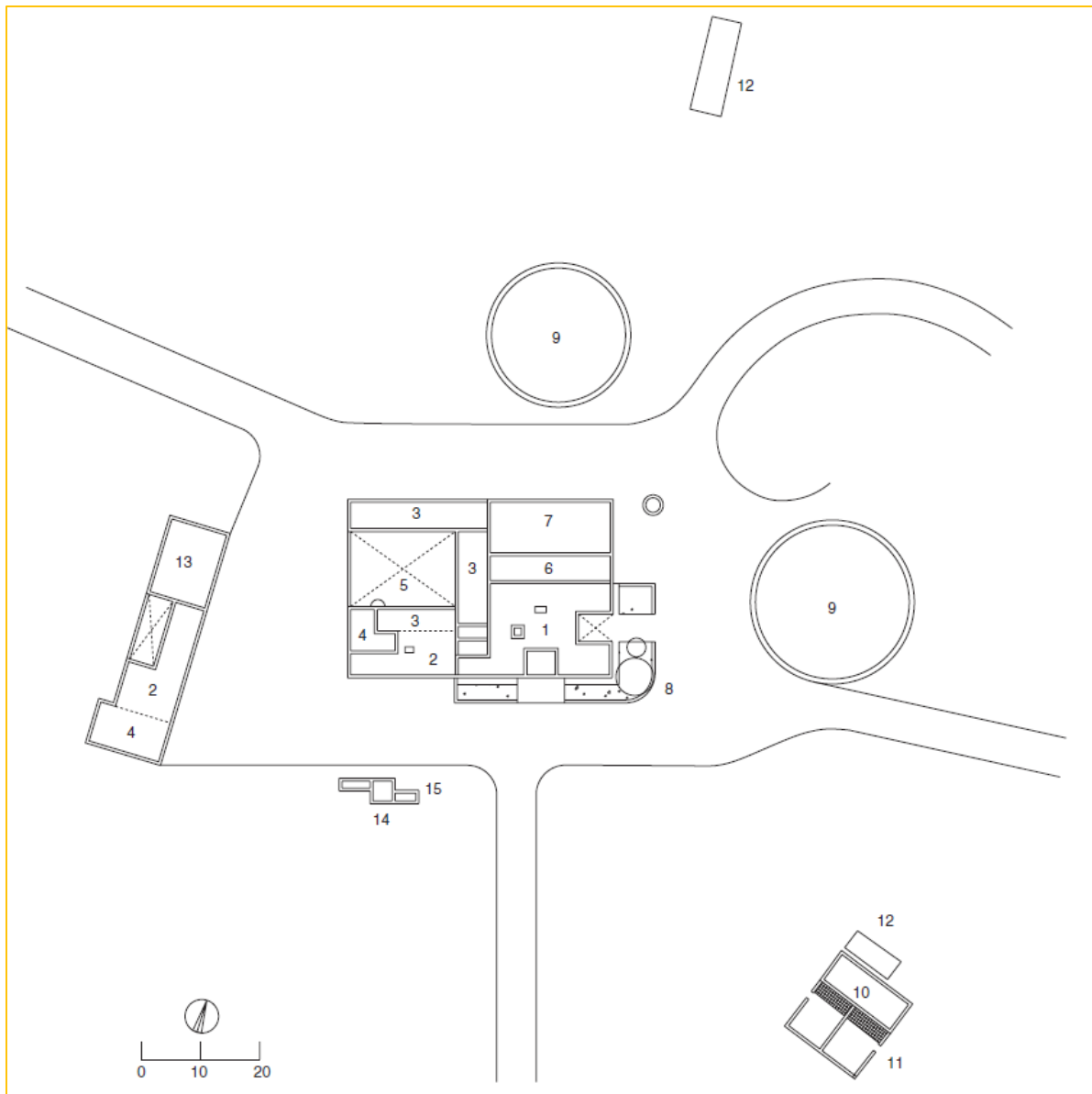


Fig. 16. Cortijo El Romeral, Níjar (Almería). La numeración de las estancias se corresponde con los siguientes usos: (1) Vivienda principal. (2) Vivienda de aparceros. (3) Cuadras. (4) Cochera. (5) Horno. (6) Pajar. (7) Almacén. (8) Jardín. (9) Era. (10) Corral. (11) Porche. (12) Aljibe. (13) Cochinería. (14) Palomar. (15) Gallinero. (Cruz y Ortiz, 1994).

Además, una estancia singular pero muy frecuente en el cortijo levantino era la almazara, que suele presentarse en aquellas construcciones que originalmente estaban ligadas a la producción de aceite (Ortiz & Cruz, 1994). Un ejemplo de ello es el Cortijo La Máquina, recogido en la Fig. 17. Como se puede apreciar, la almazara, indicada con el número (3), ocupa una extensión importante en comparación con la extensión total del cortijo.

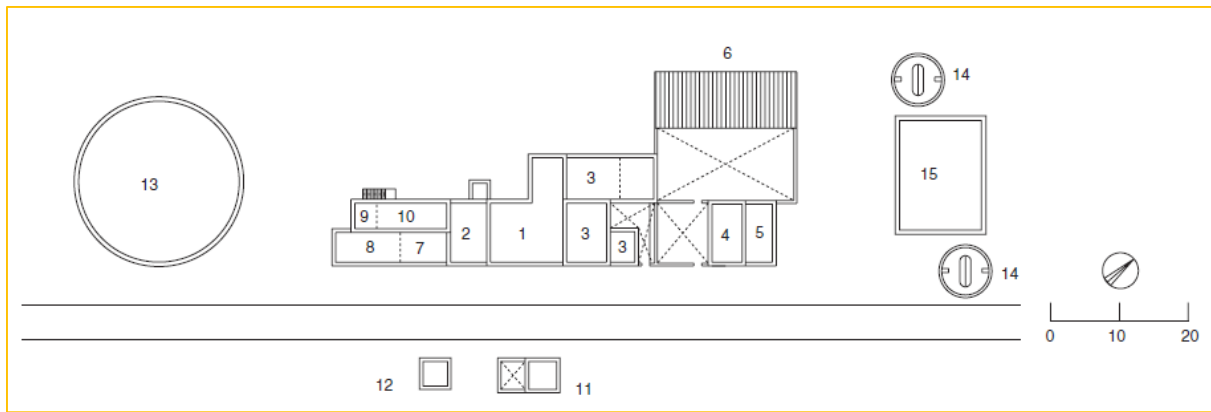


Fig. 17. Cortijo La Máquina, Níjar (Almería). La numeración de las estancias se corresponde con los siguientes usos: (1) Vivienda principal. (2) Vivienda de aparceros. (3) Almazara. (4) Corral. (5) Corral. (6) Corral. (7) Cuadra. (8) Vaquería. (9) Cochera. (10) Pajar. (11) Conejera. (12) Gallinero. (13) Era. (14) Noria. (15) Balsa. (Cruz y Ortiz, 1994).

Con respecto a la orientación del cortijo, se escogía aquella que evitaba en mayor medida los problemas ocasionados por el viento y, a su vez, permitía el máximo aprovechamiento de la luz solar en invierno (Gil, 1992). La Fig. 18 muestra una clara predominancia de la orientación este en la costa levantina y la orientación suroeste en la frontera con Murcia. En la inspección in situ realizada para el presente estudio, se observa que las dependencias combinan uso residencial, generalmente orientadas a sur y a este, con estancias que originalmente estaban destinadas a la guarda de ganado y herramientas de labranza, en este caso mayoritariamente orientadas a norte y oeste.

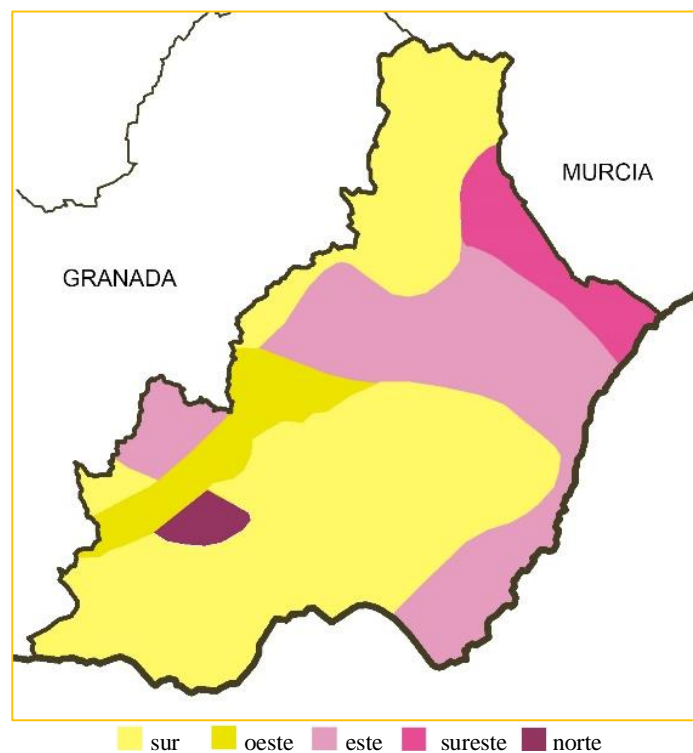


Fig. 18. Orientación predominante de los cortijos en la provincia de Almería. Elaboración propia a partir de Gil (1992).

Conocidas la tendencia de implantación del territorio de los cortijos, la articulación de los distintos volúmenes que componen cada construcción y la orientación predominante de sus estancias, se procede a definir sus estancias.

- **Entrada.** La entrada del cortijo almeriense asumía la función de comedor y es muy común que se fusione con la cocina (Gil, 1992).
- **Cocina.** En los ejemplares visitados es muy frecuente encontrar como primera estancia tras atravesar la puerta de entrada un híbrido entre recibidor que da acceso a otras estancias y la cocina, con su chimenea y boca del horno. Dos ejemplos de ello son el Cortijo de Los Genoveses (Fig. 19a) y el Cortijo Montano (Fig. 19b), ambos de Níjar.



Fig. 19. (a) Chimenea de la cocina del Cortijo de Los Genoveses (Níjar), es de pequeñas dimensiones y presenta una repisa materializada con estuco. (b) Cocina del Cortijo Montano (Níjar), es de grandes dimensiones y se aprecia el acceso a distintas dependencias y una hornacina con repisas para almacenaje. Fotografías de la autora, 2015.

- **Dormitorios.** En los cortijos de planta única, como sucede en el Cortijo de Los Genoveses (Fig. 20a), los dormitorios están directamente comunicados sin la existencia de pasillo. Por otro lado, en los cortijos de dos plantas, como es el caso del Cortijo Cayuela de Níjar (Fig. 20b), los dormitorios se ubican en la planta alta.



Fig. 20. (a) Dormitorio del Cortijo de Los Genoveses (Níjar) con una ventana en el cerramiento de fachada y comunicado con otro dormitorio. (b) Dormitorio del Cortijo Cayuela (Níjar) ubicado en planta alta y conectado con dos dormitorios más. Fotografías de la autora, 2020.

- **Almacenes y estancias para el ganado.** En los cortijos de dos plantas, lo común era ubicarlo en el nivel superior, donde existía la llamada puerta pajera, pensada para introducir la paja desde el exterior. Un ejemplo de esta puerta se ve claramente en la fachada del Cortijo del Fraile en Níjar (Fig. 21a). En este mismo cortijo se encuentran anexos al volumen principal destinados a **cuadras** o **corrales** en su planta baja y a pajar en su planta alta (Fig. 21b). Los **graneros** presentaban compartimentaciones para almacenar por separado las distintas clases de granos, productos de matanza, vegetales o ropa (Gil, 1992). El Cortijo de Los Genoveses en Níjar (Fig. 21c) conserva compartimentaciones para estos fines con una altura aproximada de un metro. Con respecto a las estancias destinadas para el ganado, el Cortijo del Fraile también posee una puerta de mayores dimensiones para la entrada de las bestias directamente conectada con el patio de acceso a las cuadras (Fig. 21d).



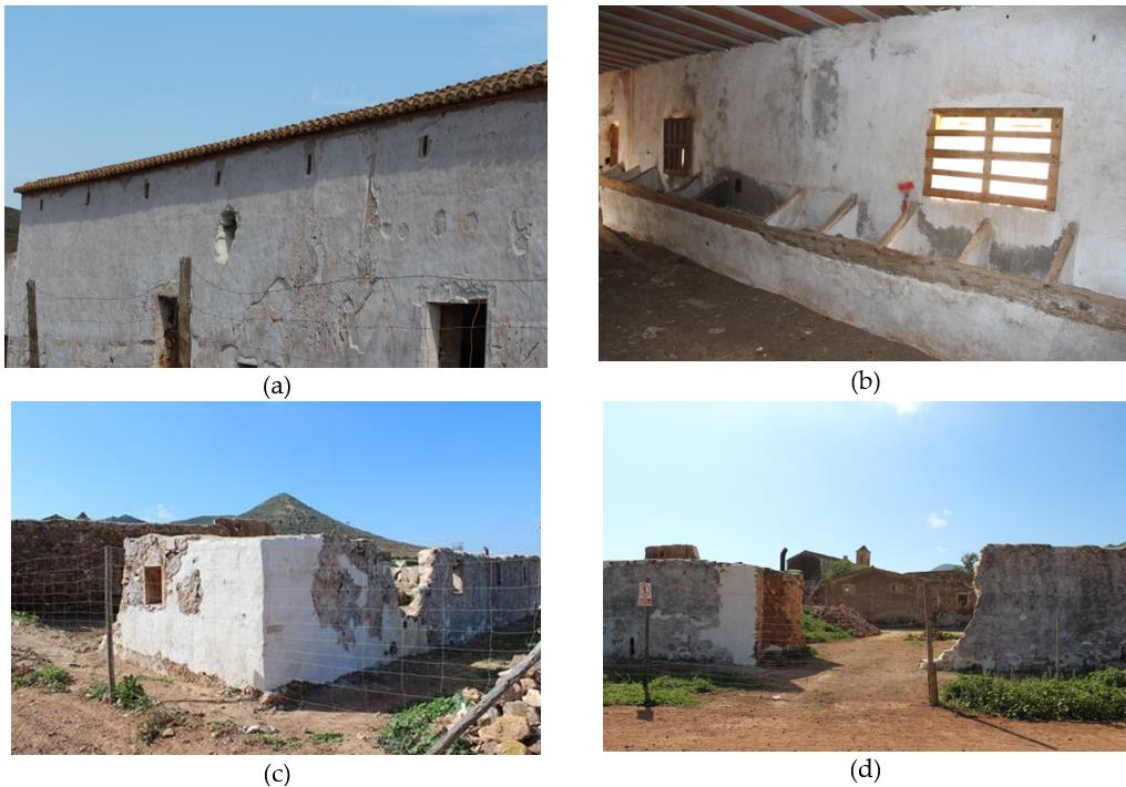


Fig 21. (a) Ventana en la parte superior del cerramiento para el almacén de paja en el Cortijo del Fraile (Níjar). (b) Compartimentos para el grano en el granero del Cortijo de Los Genoveses (Níjar). (c) Anexo del cortijo del Fraile, en el que la planta baja se dedicaba a cuadras y la planta alta a pajar. (d) Puerta para el acceso del ganado, ubicado junto a las cuadras del Cortijo del Fraile. Fotografías de la autora, 2018.

- **Patios.** Aparecen en la composición del cortijo como áreas exteriores que conservan la privacidad del interior de la vivienda (Salameh et al, 2022). La Fig. 22 muestra el patio del Cortijo Los Torres, ubicado en fachada, dando acceso a varias dependencias, siendo la cocina una de ellas, pues la trasera del horno también se distingue.



Fig. 22. Patio del Cortijo Los Torres (Níjar). A la izquierda de la imagen se aprecia el volumen del horno y una ventana que da a la cocina. En el centro una estancia con puerta de grandes dimensiones para la entrada de las bestias y a la derecha el muro de fachada.

- **Anexos.** En ocasiones, el cortijo del levante almeriense presenta pequeños anexos cubiertos con bóvedas o cúpulas destinados a **gallineras, conejeras** o instalaciones dedicadas a la crianza del cerdo, llamadas **chiquerías** o **zahúrdas** (Gil, 1992). Durante la visita a la zona donde se ubica la muestra del objeto de estudio, se aprecian multitud de aljibes que han sido rehabilitados en el año 2009, como los del Cortijo Montano (Fig. 23a). Este dato es conocido a raíz de la información recogida en numerosos paneles informativos ubicados en las proximidades de los cortijos inspeccionados in situ. Otro ejemplo comentado con anterioridad es el Cortijo La Máquina, en el que existe una almazara (Fig. 23b). Ambos cortijos se encuentran en Níjar.



Fig. 23. (a) Dos aljibes del Cortijo Montano (Níjar) rehabilitados en 2009. (b) Almazara del Cortijo La Máquina (Níjar), ubicada en un volumen anexo tras el volumen principal del cortijo. Fotografía de la autora, 2020.

- **Porche.** En algunas ocasiones, los cortijos presentan un soportal que antecede a la entrada. Su función era permitir el desarrollo de actividades agrícolas protegidas del sol. Además, los días lluviosos se empleaba para refugiar las bestias y proteger las herramientas de labranza. En verano, también se usaba como sala de estar (Gil, 1992). Los porches de los ejemplares inspeccionados in situ se encuentran en la fachada del edificio, son de la misma mampostería de los muros de carga y presentan arcos de medio punto, tal y como se presentan en la Fig. 24 del Cortijo El Paraíso (Níjar).



Fig 24. Soportales que conforman el porche del Cortijo El Paraíso en Níjar (Almería). A la derecha pintados de blanco se ve la construcción original y a la izquierda pintados de crema se observa la ampliación posterior ejecutada en 2004.



#### 4.2.2. Descripción constructiva y matérica del cortijo levantino almeriense

Se procede a realizar una enumeración y descripción de los elementos constructivos del cortijo almeriense.

- **Cimentación.** A partir de lo observado en los ejemplares en estado ruinoso, como el Cortijo Segura (Níjar) de la Fig. 25a, y lo descrito en Ribera (1930), se deduce que estas construcciones están apoyadas directamente sobre el terreno.
- **Cerramientos.** Es especialmente característico reconocer un cortijo tradicional mediterráneo por sus muros de carga de gran espesor (Convertino et al, 2017). En el caso de los cortijos almerienses inspeccionados, la totalidad de las muestras presentan muros conformados por mampuestos de piedra caliza unidos mediante mortero de cal, con espesores comprendidos entre 40 y 70 cm, esto se distingue claramente en la ruina del Cortijo Segura (Fig. 25a). En el caso de construcciones con ampliaciones posteriores, existen ejemplares con muros de bloques de hormigón en estancias dedicadas al ganado, como el Cortijo La Máquina (Fig. 25b) o muros de ladrillo con mortero de cemento para albergar elementos necesarios para la instalación eléctrica, como el Cortijo del Fraile (Fig. Xc). Estos tres cortijos se encuentran en el municipio de Níjar.



Fig. 25. (a) Aparejo de muro de la ruina del Cortijo Segura (Níjar), de mampuestos de piedra caliza y mortero de cal. (b) Encuentro de muro de bloque de hormigón con muro de mampostería, en el que se encuentra el hueco de una puerta macizada también con bloque de hormigón. (c) Centro de transformación del Cortijo del Fraile, con muros de ladrillo con mortero de cemento. Fotografías de la autora, 2020.

- **Cubiertas planas.** Las soluciones empleadas en la envolvente superior de los cortijos levantinos son los terrados y los tejados cerámicos. Las cubiertas planas o **terrados**, con una pendiente comprendida entre el 2 y el 5%, conforman el sistema predominante en el levante almeriense, debido a su economía y versatilidad funcional, así como su simplicidad de construcción y mantenimiento. Su principal desventaja era la insuficiencia de su sistema de evacuación debido a la torrencialidad de las precipitaciones de la zona (Flores, 1973), esto ha propiciado que lleguen a nuestros días pocas cubiertas en buen estado de conservación. La solución más común visualizada durante la inspección es un soporte base de caña unida mediante esparto sobre el que se aplica una capa de mortero de cal, resultando cubiertas en torno a 10 cm. El Cortijo Fuente Amarguilla (Fig. 26a) y el Cortijo El Cautivo (Fig. 26b), ambos en Níjar, cuentan con este tipo de cubiertas.





Fig. 26. Dos ejemplares del cortijo levantino almeriense con cubierta plana o terrado. (a) Cortijo Fuente Amarguilla (Níjar). (b) Cortijo El Cautivo (Níjar). Fotografías de la autora, 2020.

- **Cubiertas inclinadas.** En el levante almeriense tienen pendientes que oscilan entre 10 y 25% y se caracterizan por su acabado de **tejado cerámico**. De este caso se han encontrado ejemplos de tejado como solución única, como el Cortijo Requena en Níjar (Fig. 27a) o combinado con terrados, como el Cortijo Carrillo (Fig. 27b) ambos en Níjar. La teja es curva en todos los ejemplares excepto en la capilla del Cortijo del Fraile (Fig. 27c). Los tres cortijos nombrados se ubican en Níjar. Este tipo de tejados consta de un soporte de cañizo sobre el que se instala una capa de mortero y, seguidamente, las tejas.

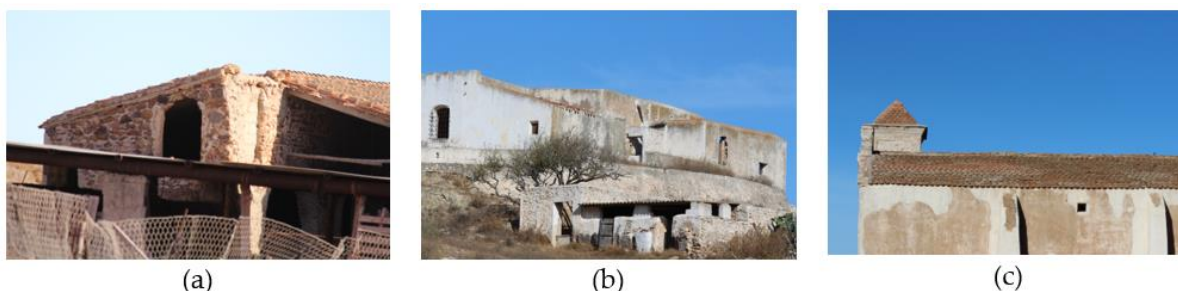


Fig. 27. (a) Cubierta inclinada a dos aguas de teja cerámica del Cortijo Requena (Níjar). (b) Combinación de cubierta plana con cubierta inclinada en el Cortijo Carrillo (Níjar). (c) Cubierta de teja plana en la capilla del Cortijo del Fraile (Níjar). Fotografías de la autora, 2020.

- **Tabiquería y partición interior.** Pueden ser de cañizo, de adobe, de ladrillo o de tapial. Los tabiques de cañizo quedaban entrelazados con otros elementos vegetales. La compartimentación interior de adobe se compone de piezas con unas dimensiones comprendidas entre 20x10x30 cm y 40x40x50. Tal y como sucede con la tabiquería de ladrillo, el adobe se aparejaba a sardinel. En los casos que emplean tapial, presentan un espesor de 30 cm. Otra solución consiste en emplear piedras planas, como pizarra o caleña, o incluso yesones, unidas por yeso y revestidas con revoco o el propio yeso (Gil, 1992). En todos los ejemplares visitados en los que ha sido posible inspeccionar la distribución interior, se observa una materialización de tabiques similar a la de los cerramientos exteriores, pero con menor espesor, entre 10 y 30 cm. La Fig. 28. muestra un tabique del Cortijo Montano (Níjar).



Fig. 28. Tabique del Cortijo Montano (Níjar). Cuenta con 10 cm de espesor y se materializa con la misma mampostería que los cerramientos. Fotografía de la autora, 2015.

- **Techos.** A partir de la investigación realizada, resulta difícil definirlos debido a que han sufrido gran deterioro hasta su desaparición en la actualidad. En numerosos casos de cortijos de planta única, se deduce que dejaban vista la capa inferior de las cubiertas, como se aprecia en la ruina del Cortijo Montano (Fig. 29). En el caso de los cortijos de dos plantas, como el Cortijo Cayuela (Fig. 29b) se puede intuir una solución similar a la cubierta plana. Los dos cortijos de la Fig. 29 se ubican en Níjar.



(a)



(b)

Fig. 29. (a) Techo del Cortijo Montano (Níjar) en ruinas, se observan viguetas de madera y soporte base de cañizo. (b) Techo del Cortijo Cayuela (Níjar) en ruinas, se distinguen las muecas de las cabezas de las viguetas de madera en el muro. Fotografías de la autora, 2020.

- **Huecos.** El cortijo almeriense presenta una clara predominancia adintelada, a pesar de ello, es posible encontrar arcos. En la totalidad de los casos inspeccionados se detectan carpinterías de madera y, en ocasiones, rejería de hierro. Una particularidad de la zona era la homogeneidad formal entre huecos de puerta y ventana, especialmente en fachada, y también entre exterior e interior. Este aspecto coincide con lo analizado en Thravalou y Philokyprou (2021). En estos

casos, presentan una anchura en torno a un metro. En contraposición, son muy frecuentes las fachadas que presentan ventanas poco numerosas y de dimensiones reducidas, tal y como se ha comprobado en la inspección de la muestra. Además, concuerda con los ejemplares analizados en Convertino et al (2017). En la inspección in situ llevada a cabo para este trabajo, se detecta que los huecos de ventana son más numerosos y de mayores dimensiones en las fachadas sur y este, aunque también hay casos orientados a norte. Cuando el edificio presenta más de una planta, las ventanas superiores son de magnitud reducida, además del hueco empleado para introducir la paja en el inmueble desde el exterior. El Cortijo del Fraile (Níjar) ejemplifica esta situación, se observan huecos grandes con las mismas dimensiones en puertas y ventanas en fachada suroeste (Fig. 30a) y ventanas poco numerosas y pequeñas en fachada noreste (Fig. 30b).



Fig 30. Cortijo del Fraile en Níjar. (a) Fachada suroeste con huecos de grandes dimensiones en puertas y ventanas. (b) Fachada noreste con ventanas poco numerosas y de dimensiones reducidas.

- **Revestimientos.** En el levante almeriense, los cortijos se revisten con barro, cal o yeso, por ello, se ha perpetuado la imagen del cortijo mediterráneo como una construcción de muros blancos (Convertino et al, 2017). Con respecto a la solería, en la totalidad de los ejemplares inspeccionados es tierra compactada. El Cortijo Montano en Níjar (Fig. 31a) conserva parte del revestimiento de sus muros y en la Fig. 31b se puede apreciar el suelo de tierra compactada del Cortijo Los Torres (Níjar).



Fig. 31. (a) Tabique del Cortijo Montano (Níjar) que conserva el revestimiento blanco de cal. (b) Estancia del Cortijo Los Torres (Níjar) en la que se aprecia el suelo de tierra compactada. Fotografías de la autora, 2020.



#### 4.2.3. Clasificación de los cortijos y definición de modelos

Tras la revisión de la literatura y la inspección realizada in situ, se distinguen tres tipos de cortijo levantino almeriense, en función de las características analizadas previamente. El **primer tipo** se corresponde con cortijos de una planta, estructurados en torno a un núcleo central. Forman un volumen compacto de dimensiones reducidas compuesto por cocina, sala de estar, un dormitorio y estancias dedicadas a la actividad agrícola o ganadera. Puede presentar anexos exentos de este volumen principal, como un horno, un aljibe o una era. En la mayoría de los casos, presenta cubierta plana. La Fig. 32 expone cortijos de la muestra que se clasifican dentro de este tipo.



Fig 32. Ejemplares de la muestra que se clasifican dentro del Tipo 1: (a) Cortijo El Jabonero (Níjar). (b) Cortijo Soler (Cuevas del Almanzora). (c) Cortijo El Chavo (Níjar). (d) Cortijo El Paraíso (Níjar). (e) Cortijo Las Huertas (Níjar). (f) Cortijo Los Torres (Níjar).

El **segundo tipo** se trata de cortijos de una única planta de dimensión variable, mayoritariamente con cubiertas inclinadas a dos aguas acabadas con tejados cerámicos. En su interior, presentaban cocina, sala de estar, dos dormitorios o más, almacén agrícola y estancias para la guarda del ganado. Al igual que el tipo 1, se han inspeccionado ejemplares con construcciones anexas, que en estos casos presentaban una entidad bastante menor. La Fig. 33 recoge cortijos de la muestra que presentan las características de este tipo.



Fig 33. Ejemplares de la muestra que se clasifican dentro del Tipo 2: (a) Cortijo Segura (Níjar). (b) Cortijo Requena (Níjar). (c) Cortijo San Carlos (Pulpí). (d) Cortijo Doña Jacoba (Huércal-Overa). (e) Cortijo Las Molinas (Huércal-Overa). (f) Cortijo de Los Genoveses (Níjar).

Por último, el **tercer tipo** se corresponde con cortijos de grandes dimensiones, compuestos de la adición de varios volúmenes, generalmente en torno a un núcleo principal con las estancias vivideras. El resto, servían para la producción agrícola o la actividad ganadera. También se han encontrado dormitorios construidos con posterioridad al volumen central. Este tipo de cortijo cuenta con cubierta plana en la totalidad de las estancias o la combina con cubierta inclinada. Presentan dos alturas y la planta alta no ocupa la totalidad de la superficie de planta baja en la mayoría de los casos. La Fig. 34 recopila seis cortijos que se agrupan dentro de este tipo.

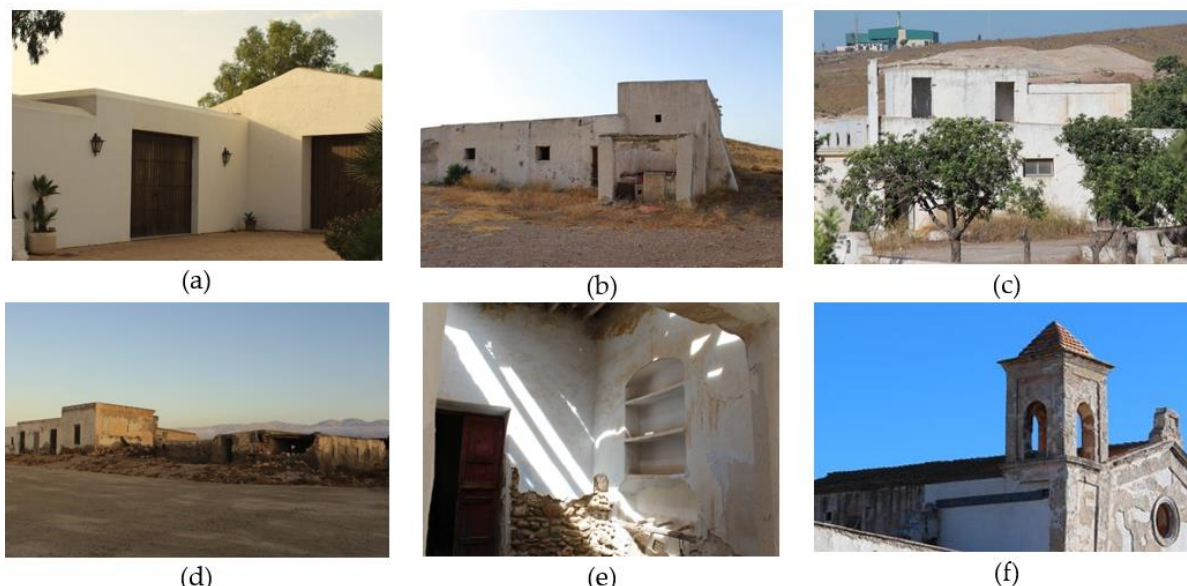


Fig 34. Ejemplares de la muestra que se clasifican dentro del Tipo 3: (a) Complejo de las Chiquerías (Níjar). (b) Cortijo El Romeral (Níjar). (c) Hacienda Ródenas (Níjar). (d) Cortijo La Máquina (Níjar). (e) Cortijo Montano (Níjar). (f) Cortijo del Fraile (Níjar).

Como se ha indicado previamente, la investigación realizada in situ para determinar su caracterización y su posterior clasificación en tres tipos, se realiza sobre una muestra consistente en un grupo representativo de la tipología de cortijo levantino almeriense. Se inspeccionan in situ un total de 27 cortijos ubicados en municipios costeros del levante almeriense. La Tabla 3 se corresponde con una relación de todos los cortijos considerados, clasificados por municipios. Se observa la clara predominancia de ejemplares en Níjar, debido a su mayor extensión en comparación con el resto de términos municipales. Sin embargo, se procura localizar construcciones en todos los municipios que componen el área costera del levante almeriense para conseguir una muestra verdaderamente representativa. Además, se plasma la denominación popular de cada construcción, el estado de conservación a fecha de la inspección in situ en agosto de 2020, el número de alturas y su superficie construida. Con respecto al estado de conservación, se distingue entre **bueno** si está actualmente en funcionamiento, sin signos de deterioro; **regular** si está desocupado sin indicios de recibir labores de mantenimiento y **malo** si se trata de una ruina. Se incluye el número de alturas por ser una característica determinante en su comportamiento térmico y, en consecuencia, para la definición de los modelos tipo empleados en la presente tesis doctoral para la obtención de resultados.

Tabla 3. Cortijos que componen la muestra objeto de estudio clasificados por alturas. Se indican también su número de alturas, superficie construida y estado de conservación.

Municipio almeriense	Denominación	Estado de conservación	Número de alturas	Superficie (m <sup>2</sup> )
Antas	Cortijo La Providencia	Regular	2	1.250
Cuevas del Almanzora	Cortijo Soler	Bueno	1	180
Huércal-Overa	Cortijo Doña Jacoba	Bueno	3	560
	Cortijo Las Molinas	Bueno	3	340
Mojácar	Casa Gerencia de Chávarri	Bueno	2	750
Níjar	Cortijo Cayuela	Regular	2	220
	Cortijo El Jabonero	Bueno	1	340
	Cortijo El Paraíso	Bueno	1	740
	Cortijo Fuente Amarguilla	Regular	3	830
	Cortijo La Boquera de Moril	Bueno	2	220
	Cortijo La Máquina	Regular	1	1.000
	Cortijo Las Huertas	Regular	2	350
	Cortijo Los Torres	Regular	1	630
	Hacienda El Romeral	Bueno	1	1.300
	Hacienda Ródenas	Bueno	1	1.700
	Cortijo Colorao	Malo	1	640
	Cortijo del Fraile	Regular	2	2000
	Cortijo El Carrillo	Regular	2	290
	Cortijo Montano	Regular	1	1.100
	Cortijo Morillas	Bueno	2	760
	Cortijo Requena	Regular	1	840
	Cortijo de Los Genoveses	Regular	1	240
	Cortijo de Mónsul	Malo	1	680
	Complejo de Las Chiqueras	Bueno	1	1.500
	Cortijo El Palmar	Bueno	1	50
Cortijo El Chavo	Bueno	1	140	
Pulpí	Cortijo San Carlos	Bueno	2	630

Conocidas las características físicas de los cortijos que se pueden extraer de la inspección realizada in situ y la información disponible en IAPH (2019), se identifican las características comunes entre ellos. Para este fin, la muestra se clasifica en grupos atendiendo a su número de plantas, superficie construida y espesor de sus muros, tal y como se muestra en la Tabla 4. Con respecto al número de alturas, se observa la clara predominancia de cortijos de planta única, estando presente en el 56% de la muestra. El 33% de los cortijos tienen dos alturas y el 11% de la muestra cuenta con tres alturas. Por su parte, los grupos según la superficie construida presentan un reparto ligeramente más equitativo, presentando un 41% de la muestra una superficie menor de 500 m<sup>2</sup>, un 33% de la muestra una superficie construida comprendida entre 500 y 1.000 m<sup>2</sup> y el 26% restante supera los 1.000 m<sup>2</sup> de superficie construida.

Tabla 4. Número de ejemplares clasificados según su número de alturas, superficie construida y espesor de cerramiento.

		Nº de ejemplares
Número de alturas	1 altura	15
	2 alturas	9
	3 alturas	3
Superficie construida	Superficie < 500 m <sup>2</sup>	11
	500 m <sup>2</sup> < Superficie < 1.000 m <sup>2</sup>	9
	Superficie > 1.000 m <sup>2</sup>	7
Espesor de cerramiento	45 cm	3
	50 cm	20
	65 cm	4



# 5

**METODOLOGÍA**



## 5. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se desarrolla la metodología seguida para la obtención de los objetivos expuestos en el capítulo de Resultados. El procedimiento se muestra en la Fig. 35, en la que se aprecia que distingue dos fases:

- Primera fase. **Definición de los Modelos Tipo** representativos de la muestra que se someten a la simulación energética de la segunda fase.
- Segunda fase. Resolución del cálculo numérico mediante **Simulación Energética** de los Modelos Tipo definidos en la primera fase.

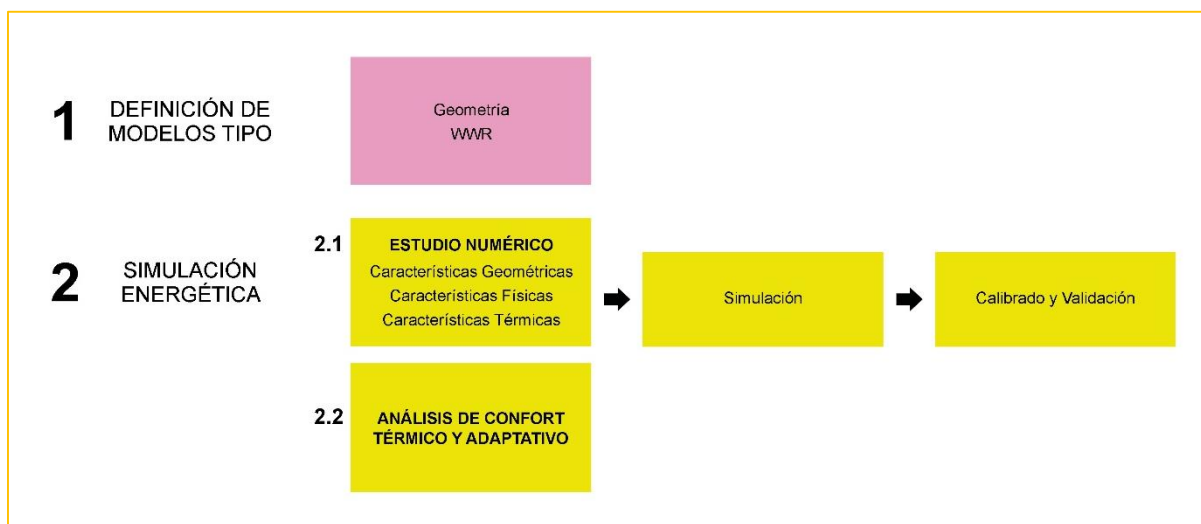


Fig. 35. Diagrama de la metodología seguida para el desarrollo de la presente tesis doctoral.

Previo a la exposición de las dos fases mencionadas, es necesario definir una serie de términos que se utilizan en el presente capítulo para la total comprensión de la misma:

- **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers** (en adelante, ASHRAE). Es la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado y su Estándar 55 tiene como fin el establecimiento de las condiciones térmicas aceptables para los usuarios de los edificios a partir de un punto de vista multifactorial, entre los que se encuentra el factor temperatura (Ordóñez, 2019).
- **Índices de incertidumbre.** Medidas de validación establecidas por ASHRAE 14 (2014), consistentes en unos valores límite de una serie de parámetros determinados.
- **Temperatura operativa.** Es la media aritmética entre la temperatura interior objeto de análisis y la temperatura media exterior durante el período de tiempo analizado. Se emplea en el análisis de confort térmico adaptativo descrito por ASHRAE 55 (2020).
- **Modelo en Flotación libre o Free-Floating Model.** En términos de simulación energética, escenario en el que el modelo sometido a simulación no cuenta con un sistema de climatización.
- **Transmitancia térmica.** *Flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera* (CTE, 2022). Se expresa en  $W/m^2K$ .
- **Porcentaje de huecos** o *Window-to-wall ratio* (en adelante, WWR). Parámetro geométrico que relaciona la superficie de todos los huecos de una misma fachada y la superficie total de la misma (ASEFAVE, 2018).
- **Sub-superficie.** En términos de modelado en software, es un objeto bidimensional subordinado a otro objeto también bidimensional de mayor entidad.

Además, también es preciso indicar que la presente investigación requiere el uso del *software para simulación energética de edificios EnergyPlus (versión 8.6.0) a través de la aplicación de modelado para simulación energética OpenStudio (versión 1.1.0.) para el programa de diseño gráfico y modelado tridimensional SketchUp (versión 2019)*. Se advierte que las versiones mencionadas de las tres herramientas son compatibles entre sí, condición necesaria para su correcto funcionamiento.

## 5.1. Primera fase: definición de los Modelos Tipo

### 5.1.1. Geometría de los Modelos Tipo

Los datos recogidos en el capítulo Objeto de Estudio sobre los cortijos levantinos almerienses constituyen las premisas para confeccionar tres Modelos Tipo representativos de cada uno de los grupos recogidos en la clasificación. A pesar de la dificultad para distinguir diferencias claras, dada la heterogeneidad de la muestra, la definición de estos tres modelos es necesaria para llevar a cabo la simulación energética descrita en la segunda fase. En primer lugar, el **Modelo Tipo 1** representa a un grupo de 11 cortijos, que supone el 41% de la muestra, cuyo volumen principal es compacto y único, con dimensiones reducidas. Los ejemplares tienen una planta sensiblemente cuadrada con superficie construida comprendida entre 50 y 526 m<sup>2</sup>. Por ello, se configura este modelo con planta cuadrada de 500 m<sup>2</sup> de superficie construida. Con respecto a su envolvente, presenta cerramientos de mampostería de piedra caliza y mortero de cal con un espesor de 45 cm. La tabiquería es de mampostería con los mismos materiales que el cerramiento y un espesor de 20 cm. La cubierta es plana. La planimetría de este Modelo Tipo se muestra en la Fig. 36.

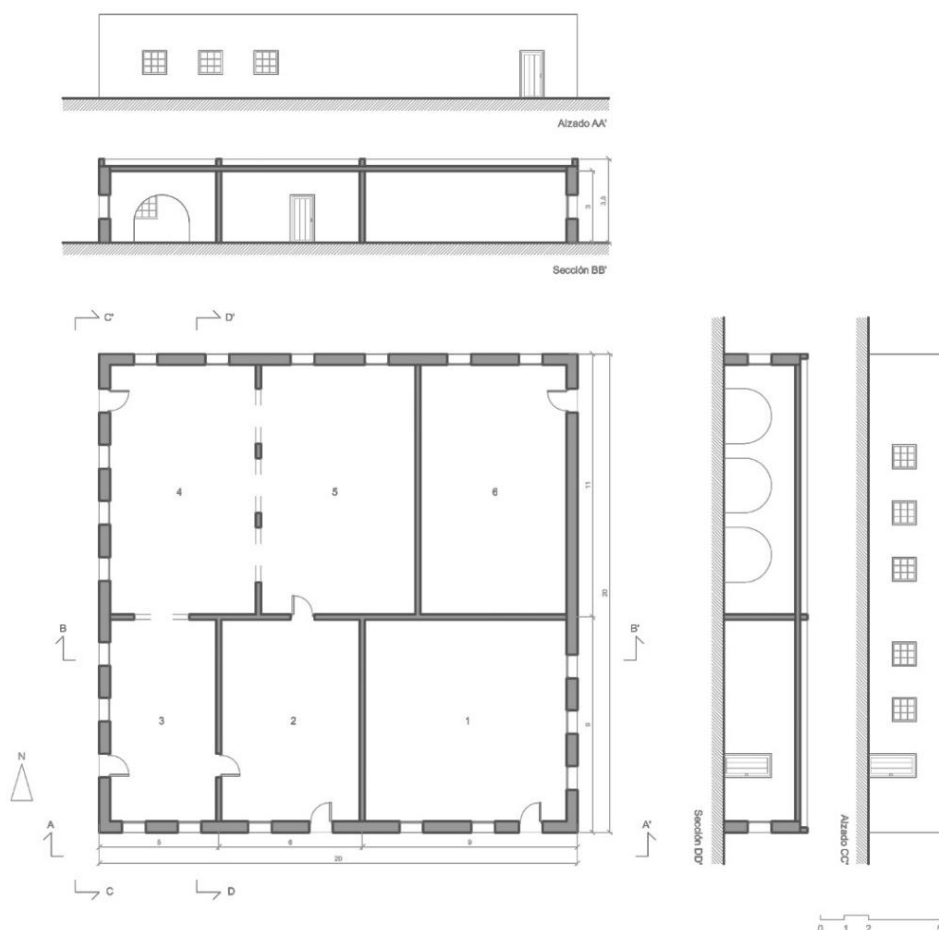


Fig. 36. Planimetría del Modelo Tipo 1 a escala 1:200. La numeración se corresponde con las siguientes estancias: (1) Vivienda principal. (2) Vivienda de aparceros. (3) Almacén. (4) Corral. (5) Cuadra. (6) Pajar.

En representación de los 9 ejemplares que conforman el 33% de la muestra, se define el **Modelo Tipo 2**, que consta de un volumen único formado por dos crujiás. Estos ejemplares tienen una superficie de planta comprendida entre 519 y 882 m<sup>2</sup>. Por ello, se diseña el modelo con superficie construida de 700 m<sup>2</sup>. En lo respectivo a sus cerramientos, son de mampostería de piedra caliza y mortero de cal con un espesor de 50 cm. La tabiquería es de mampostería con un espesor de 20 cm. La cubierta es inclinada de teja cerámica curva. La Fig. 37 muestra la planimetría del Modelo Tipo 2.

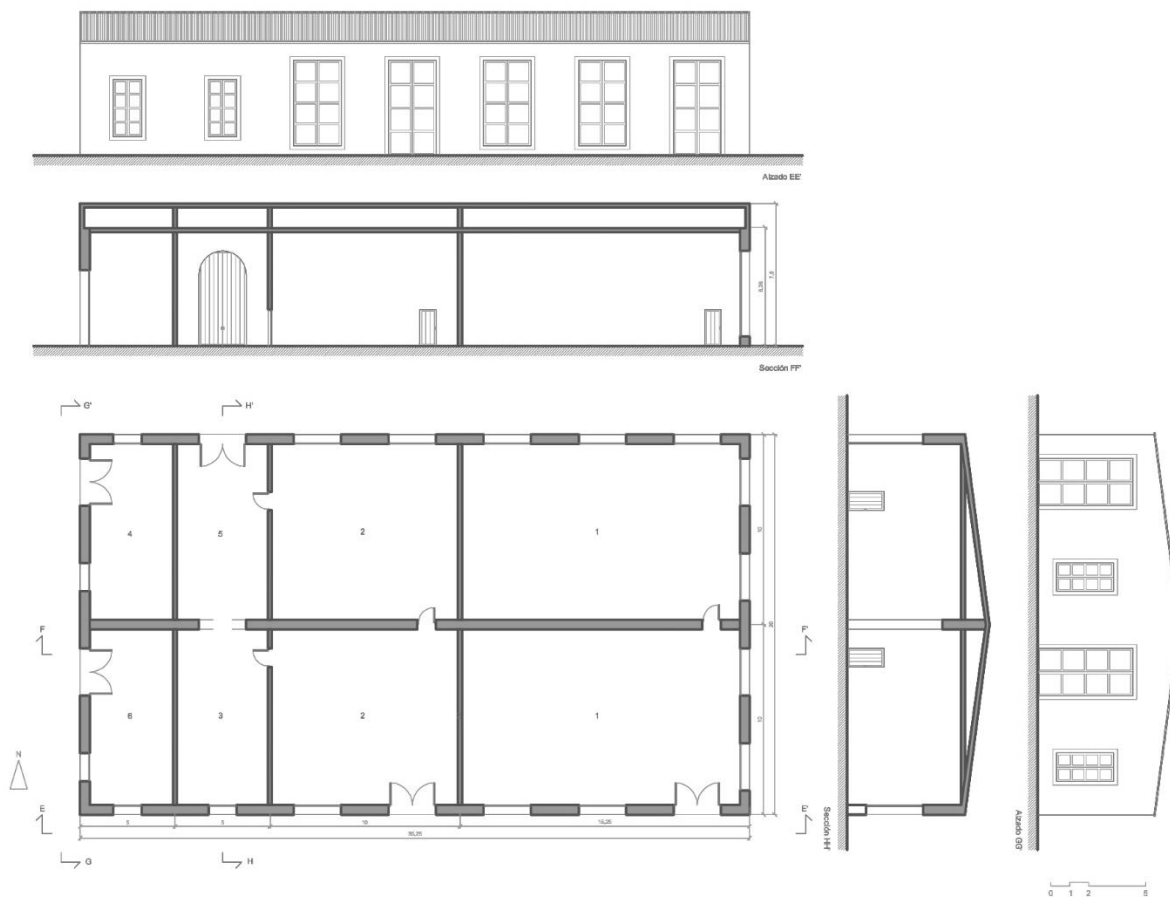


Fig. 37. Planimetría del Modelo Tipo 2 a escala 1:300. La numeración se corresponde con las siguientes estancias: (1) Vivienda principal. (2) Vivienda de aparceros. (3) Almacén. (4) Corral. (5) Cuadra. (6) Pajar.

El último es el **Modelo Tipo 3**, representativo del 26% restante de la muestra, que se corresponde con 7 ejemplares. Estos son los cortijos de mayor tamaño, ya que su morfología es el resultado de la adición sucesiva de volúmenes al núcleo principal construido en primera instancia. Los ejemplares presentan superficies de planta comprendidas entre 705 y 1076 m<sup>2</sup>, por lo que se diseña este modelo con una superficie de 1020 m<sup>2</sup>. Sus cerramientos presentan 65 cm de espesor y la cubierta es plana. La planimetría de este modelo se recoge en la Fig. 38.



Fig. 38. Planimetría del Modelo Tipo 3 a escala 1:500. La numeración se corresponde con las siguientes estancias: (1) Vivienda principal. (2) Vivienda de aparceros. (3) Almacén. (4) Corral. (5) Cuadra. (6) Pajar. (7) Patio.

La Tabla 5 recoge la caracterización de cada Modelo Tipo a partir de la clasificación de la muestra tomada. También se indica el número de ejemplares asignados a cada grupo.

Tabla 5. Clasificación de la muestra. Características identificativas de cada Modelo Tipo y número de ejemplares.

	Modelo Tipo 1	Modelo Tipo 2	Modelo Tipo 3
Características identificativas	1 altura Superficie < 500 m <sup>2</sup> Muros de 45 cm de espesor Cubierta plana	1 altura 500<superficie<1000 m <sup>2</sup> Muros de 50 cm de espesor Cubierta inclinada	2 alturas Superficie > 1000 m <sup>2</sup> Muros de 65 cm de espesor Cubierta plana
Ejemplares	11 ejemplares 41% de la muestra	9 ejemplares 33% de la muestra	7 ejemplares 26% de la muestra

### 5.1.2. Porcentaje de huecos de los Modelos Tipo (WWR)

Es importante comentar el WWR de cada Modelo Tipo, parámetro definido al inicio del presente capítulo, para la correcta comprensión de la siguiente fase de la Metodología. Se obtiene a partir de la Ecuación 1.

$$WWR = S_h/S_f \times 100 [\%] \quad (\text{Eq. 1})$$

Donde:









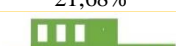
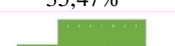

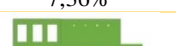
WWR es el porcentaje de hueco

S<sub>h</sub> es la superficie de huecos

S<sub>f</sub> es la superficie de fachada

Analizada esta característica de manera individualizada en cada modelo, cabe indicar que el **Modelo Tipo 1** presenta huecos poco numerosos y de tamaño reducido en toda su envolvente, lo cual se traduce en que su WWR es menor del 10% en sus cuatro fachadas, presentando su valor mínimo 4,29% en la fachada sur y su valor máximo 8,43% en la fachada oeste. En el caso del **Modelo Tipo 2**, posee las fachadas más permeables en las orientaciones este (representando la orientación más habitual del cortijo levantino) y norte (de los que también hay ejemplares en la muestra). Por ello, se observa que el WWR en la fachada oeste tiene un valor de 7,36%, en la fachada sur presenta un valor de 21,68%, en la fachada este posee un valor de 35,47% y en la fachada norte es de 30,65%. En el **Modelo Tipo 3**, el tamaño y orientación de los huecos es algo más arbitrario que en los dos tipos anteriores. Se observa que el WWR presenta el valor mínimo en la fachada oeste de 11,15% y el valor máximo en la fachada sur de 16,53%. En las restantes, presenta un 12,02% en la fachada este y un 22,12% en la fachada norte. La Tabla 6 muestra el porcentaje de huecos de las cuatro fachadas de los tres modelos tipo. El código de color empleado responde a los rangos de WWR establecidos en el Documento Básico de Ahorro de Energía en su versión 2013 (CTE, 2013) para establecer los límites de transmitancias térmicas en las fachadas en función de su zona climática y su orientación. Se emplea esta información, aunque no se corresponda con la versión más reciente del documento normativo, por su utilidad para el presente estudio.

Tabla 6. WWR de las cuatro fachadas de los tres modelos tipo clasificadas según CTE DB HE (2013).

Modelo	Sur	Este	Norte	Oeste
Tipo 1	 4,29%	 7,14%	 7,14%	 8,43%
Tipo 2	 21,68%	 35,47%	 30,65%	 7,36%
Tipo 3	 16,53%	 12,02%	 22,12%	 11,15%
Rangos de WWR establecidos en CTE DB HE (2013) para los valores de transmitancias límite WWR: <span style="color: blue;">■</span> 0 – 10% <span style="color: green;">■</span> 11 – 20% <span style="color: orange;">■</span> 21 – 30% <span style="color: yellow;">■</span> 31 – 40%				

## 5.2. Simulación energética de los Modelos Tipo

El procedimiento seguido en la simulación energética realizada distingue dos fases:

- **Primera fase.** Estudio numérico mediante simulación energética de los modelos tipo.
- **Segunda fase.** Análisis del confort térmico adaptativo según ASHRAE 55 (2020).

### 5.2.1. Primera fase: el estudio numérico

Descritos los tres modelos tipo, se realizan tres modelos tridimensionales energéticos de los mismos para llevar a cabo un análisis energético y análisis de confort térmico adaptativo de su envolvente. Con el fin de obtener los datos plasmados en el capítulo Resultados, se ejecuta una simulación energética para la resolución del estudio numérico. La simulación energética es un procedimiento de representación de uno o varios sistemas de energía, en este caso, tres edificios, mediante un modelo informático para analizar su comportamiento presente y futuro. Cada sistema o modelo tipo está sometido a unas condiciones específicas. Como se ha indicado previamente, la resolución de esta simulación se resuelve mediante el software para simulación energética de edificios *EnergyPlus* (versión 8.6.0) a través de la aplicación de modelado para simulación energética *OpenStudio* (versión 1.1.0.) para el programa de diseño gráfico y modelado tridimensional *SketchUp* (versión 2019). Los modelos quedan definidos mediante la caracterización geométrica, física y térmica de sus elementos constructivos.

#### 5.2.1.1. Caracterización geométrica

Se realiza un levantamiento tridimensional de las **envolventes** de los tres modelos tipo empleando el programa *SketchUp* (versión 2019) a partir de la planimetría mostrada en las Figs. 36, 37 y 38. Se representan los suelos, los forjados, los cerramientos y las cubiertas. En el caso del Modelo Tipo 3, también se representan los tabiques y forjados techo de planta baja, al ser un modelo de dos plantas, pues serán necesarios posteriormente a la hora de definir las características térmicas. Además, se realiza el modelado teniendo en cuenta la **orientación** para cada cortijo, indicadas en las anteriores Figs. 36, 37 y 38, para que las sombras arrojadas por la propia construcción sean fiables en la obtención de los resultados. También se modelan los **puentes térmicos**, localizados en los encuentros del muro de cerramiento con los huecos de fachada, alojando sub-superficies a la superficie del modelo que representa dicho muro. A estas sub-superficies se les asigna el valor de una transmitancia térmica superficial equivalente ( $U_p$ ) a la transmitancia térmica lineal característica de cada puente térmico. Dicha equivalencia se obtiene a partir de la Ecuación 2:

$$U_p = \Psi / h \quad (\text{Eq. 2})$$

Donde:

$U_p$  es la transmitancia térmica superficial equivalente ( $W/m^2K$ ) del puente térmico.

$\Psi$  es la transmitancia térmica lineal ( $W/mK$ ) del puente térmico. Para cada puente térmico, se toman los valores tabulados en CTE (2022).

$h$  es la longitud equivalente (m) a la dimensión del puente térmico existente.

### 5.2.1.2. Caracterización física

Definida la geometría de los elementos constructivos de los modelos, se determinan los parámetros físicos de los materiales que componen cada elemento en la aplicación *OpenStudio* (versión 1.1.0.). La Tabla 6 muestra los valores de los materiales de cada elemento constructivo no disponible en la misma, ordenados desde la capa exterior hasta la capa interior. Para definir los elementos constructivos correspondientes a ventanas de vidrio simple con carpintería de madera y puertas de madera, se utilizan los configurados en la aplicación.

Tabla 6. Parámetros físicos de los materiales de cada elemento constructivo de los tres modelos tipo. Elaboración propia a partir de CTE SE-DB AE (2009) e Instituto de Construcción de Castilla y León (2007).

Sistema Constructivo	Elemento Constructivo	Rugosidad	Espesor (m)	Densidad ( $kg/m^3$ )
Cerramiento: muro de carga	Revocado de cal	Liso	0,03	1620,00
	Mampostería de piedra caliza con mortero de cal	Muy rugoso	MT 1 = 0,45 MT 2 = 0,50 MT 3 = 0,65	1530,60
	Guarnecido de yeso	Liso	0,03	1250,00
Suelo	Tierra compactada	Liso	0,10	2050,00
Cubierta plana (Modelos Tipo 1 y 3) y Forjado para los tres modelos	Capa de compresión de mortero de cal	Liso	0,05	1620,00
	Tablero de madera	Medio-liso	0,03	500,00
	Alfarjías (cada 30 cm)	Medio-liso	0,04	500,00
Cubierta inclinada (Modelo Tipo 2)	Teja cerámica curva	Muy liso	0,01	2000,00
	Mortero de cal	Liso	0,03	1620,00
	Cañizo	Medio-liso	0,01	500,00
	Alfarjías (cada 30 cm)	Medio-liso	0,04	500,00
Tabique	Revocado de cal	Liso	0,03	1620,00
	Mampostería de piedra caliza con mortero de cal	Muy rugoso	0,20	1530,60
	Revocado de cal	Liso	0,03	1620,00



### 5.2.1.3. Caracterización térmica

Los datos térmicos de los materiales que componen las ventanas de vidrio simple, carpinterías de madera y puertas de madera utilizados en el estudio están disponibles en *OpenStudio* (versión 1.1.0.). Para el resto de materiales, se emplean los datos recogidos en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de los materiales de cada elemento constructivo de los tres modelos tipo. Elaboración propia a partir de Instituto de Construcción de Castilla y León (2007).

Sistema Constructivo	Elemento Constructivo	Conductividad (W/mK)	Calor específico (J/kgK)	Coefficiente Absorción Térmica
Cerramiento: muro de carga	Revocado de cal	1,00	1000	0,92
	Mampostería de piedra caliza con mortero de cal	1,06	1000	0,50
	Guarnecido de yeso	0,80	1000	0,40
Suelo	Tierra compactada	0,52	1840	0,50
Cubierta plana (Modelos Tipo 1 y 3) y Forjado para los tres modelos	Capa de compresión de mortero de cal	1,00	1000	0,92
	Tablero de madera	0,15	1600	0,50
	Alfarjías (cada 30 cm)	0,15	1600	0,50
Cubierta inclinada (Modelo Tipo 2)	Teja cerámica curva	1,00	800	0,50
	Mortero de cal	1,00	1000	0,92
	Cañizo	0,15	1600	0,50
	Alfarjías (cada 30 cm)	0,15	1600	0,50
Tabique	Revocado de cal	1,00	1000	0,92
	Mampostería de piedra caliza con mortero de cal	1,06	1000	0,50
	Revocado de cal	1,00	1000	0,92

Además, se requiere definir los **contornos de las zonas térmicas**. Consiste en indicar si el elemento constructivo es interior, exterior o está en contacto con el terreno. Además, el Modelo Tipo 3 cuenta con 12 zonas térmicas debido a su geometría compuesta por la adición de volúmenes, al contrario de lo que sucede en los Modelos Tipo 1 y 2, que conforman un recinto único y, por tanto, una única zona térmica. Esta situación requiere que el Modelo Tipo 3 sea estudiado desde dos enfoques distintos. Primeramente, se trabaja con valores medios de un Modelo Tipo 3 Simplificado (MT3D) para poder establecer una comparativa entre el Modelo Tipo 1 (MT1) y el Modelo Tipo 2 (MT2). En segundo lugar, se considera un modelo independiente para comparar los datos de las distintas estancias que lo componen, este es el Modelo Tipo 3 Detallado (MT3D). Para estudiar el comportamiento térmico debido exclusivamente la construcción, se configura en *OpenStudio* (versión 1.1.0.) como un modelo en flotación libre. Además, se considera que los tres modelos están desocupados, criterio que se adopta en estudios como Diz-Mellado et al. (2021). Gracias a ello, los resultados obtenidos no quedan alterados por posible ventilación o manipulación de cortinas, en su caso, que podrían originar unos ocupantes hipotéticos. De esta forma, se configura un escenario fiel a la realidad, pues gran parte de la muestra estudiada la componen construcciones no habitadas actualmente.

### 5.2.1.4. Ejecución de la simulación energética

Se solicita a la aplicación *OpenStudio* (versión 1.1.0) los **valores numéricos de los parámetros** que debe calcular el programa *EnergyPlus* (versión 8.6.0) para cumplir con lo propuesto en el capítulo Objetivos. Son la transmitancia térmica, la temperatura interior y la temperatura operativa interior:

- **Transmitancia térmica.** El Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE DB HE, 2022) es el documento normativo de aplicación en el ámbito geográfico en el que se sitúan los inmuebles. En él se establecen valores de transmitancia térmica límite para cada elemento constructivo, con el fin de garantizar la calidad térmica en el interior de los edificios. A pesar de que el objeto de estudio de la presente investigación son construcciones pertenecientes a la arquitectura vernácula,

edificados entre los siglos XVIII y XIX en su mayoría, se emplean estos valores recogidos en la normativa actual porque se persigue adaptarlos a usos actuales. Se calcula según la Ecuación 3.

$$U = 1/R_t \quad (\text{Eq. 3})$$

Donde  $R_t$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ) es la suma de las resistencias térmicas de todas las capas del elemento constructivo y de las capas del aire interior y exterior, como se muestra en la Ecuación 4.

$$R_t = R_{si} + \sum R_{ti} + R_{se} \quad (\text{Eq. 4})$$

Donde  $R_{si}$  y  $R_{se}$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ) son las resistencias térmicas superficiales del aire interior y del aire exterior, respectivamente, para cerramientos verticales sometidos a un flujo de aire horizontal. Según CTE (2022) sus valores son los siguientes:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Para calcular la resistencia térmica de cada capa ( $R_{ti}$ ), se emplea la Ecuación 5.

$$R_t = e / \lambda \quad (\text{Eq. 5})$$

Donde  $e$  (m) es el espesor de la capa y  $\lambda$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) es la conductividad térmica del material.

- **Temperatura interior.** Se solicita el valor de las temperaturas diarias medias, mínimas y máximas en el interior de los tres modelos tipo.
- **Temperatura operativa** en el interior de los tres modelos tipo, necesaria para analizar el Análisis de Confort Térmico Adaptativo según ASHRAE 55 (2020). Este procedimiento se detalla en el siguiente epígrafe.

Para la obtención del valor de estos parámetros es necesario introducir en *OpenStudio* (versión 1.1.0.) los datos de la **temperatura exterior**. Se trabaja con un archivo climático disponible en AEMET (2022), cuyos datos han sido tomados desde la Estación Meteorológica de Huércal-Overa (Almería), por ser la más cercana a la ubicación de la muestra a 7,4 km de la misma. Además, es el único municipio donde existen ejemplares de la muestra con una estación meteorológica. Se encuentra a 300 m de altitud, suponiendo una diferencia de 56m con respecto a la altitud media de la muestra. En la Fig. 39 se muestra el conjunto de datos disponible en AEMET (2022) en comparación con la temperatura máxima diaria exterior monitoreada *in situ*. Se observa que no se superan los 3°C en ningún caso.

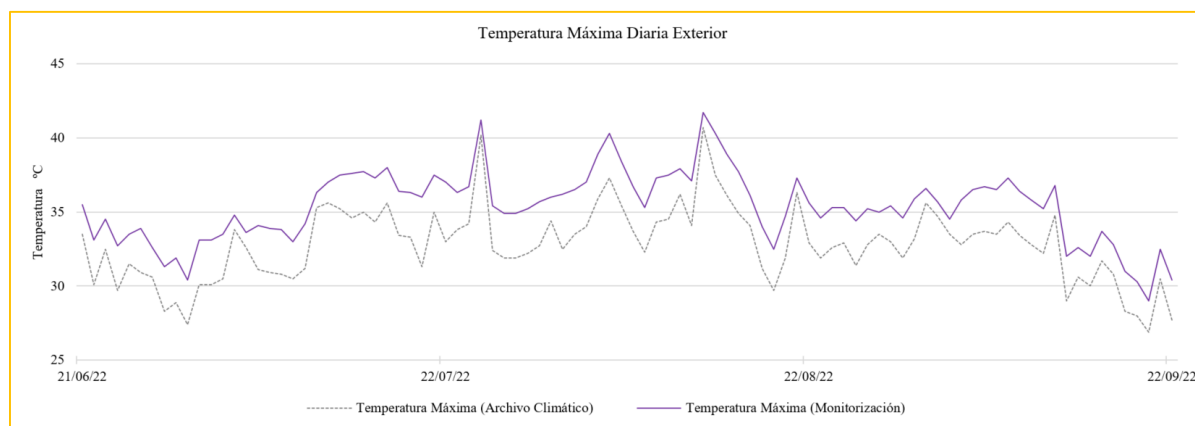


Fig. 39. Comparativa entre la temperatura máxima diaria exterior registrada en el archivo climático recuperado de AEMET (2022), representada en línea gris discontinua y la temperatura máxima diaria exterior obtenida en la campaña de monitorización, representada en línea violeta continua.

### 5.2.1.5. Calibrado y validación

Para validar el conjunto de datos obtenido, se han monitoreado *in situ* tres cortijos de los 27 ejemplares de la muestra. Cada uno de ellos se clasifica dentro del grupo que representa el modelo correspondiente. Son el Cortijo Los Torres para validar el Modelo Tipo 1, el Cortijo Requena para validar el Modelo Tipo 2 y el Cortijo Montano para validar el Modelo Tipo 3, los tres ubicados en Níjar (Almería). La Fig. 40 muestra estos tres cortijos mencionados.



Fig. 40. Cortijos de Níjar monitorizados para validar la simulación. (a) Cortijo Los Torres para validar la simulación del Modelo Tipo 1. (b) Cortijo Requena para validar la simulación del Modelo Tipo 2. (c) Cortijo Montano para validar la simulación del Modelo Tipo 3.

Los tres modelos fueron monitorizados desde el 21 de junio de 2022 hasta el 22 de septiembre de 2022 con el dispositivo *Elitech RC-5+ Temperature Monitor*. Para el calibrado y validación de los modelos, se registra el aire interior de cuatro estancias de los tres cortijos indicados, una orientada hacia cada punto cardinal, para obtener un valor promedio. Se sigue el procedimiento de calibrado y validación descrito en Lizana et al. (2022), porque se persigue el mismo propósito de estudiar la temperatura en el interior de las construcciones. Para ello, se trabaja con los **Índices de Incertidumbre** recogidos en las directrices de ASHRAE 14 (2014). Son los siguientes:

- *Mean Bias Error* (NMBE), que se traduce como el Error de Sesgo Medio y se define mediante la Ecuación 6:

$$NMBE = \frac{1}{m} * \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n} * 100 \text{ [%]} \quad (Eq. 6)$$

- *Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error* (CVRMSE) o el Coeficiente de Variación del Error Cuadrático Medio, que se obtiene aplicando la Ecuación 7:

$$CVRMSE = \frac{1}{m} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n}} * 100 \text{ [%]} \quad (Eq. 7)$$

- *Coefficient of Determination* ( $R^2$ ), que significa Coeficiente de Determinación, definido con la Ecuación 8:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2} \text{ [adimensional]} \quad (Eq. 8)$$

Para las Ecuaciones 6, 7 y 8:

$m$  es el valor de temperatura monitorizada (°C)

$s$  es el valor de temperatura obtenida en la simulación (°C)

$n$  es el número de datos de temperatura con los que se trabaja

La Tabla 8 muestra los valores promedio de los índices de incertidumbre obtenidos en cada Modelo Tipo seguidos de los límites establecidos por ASHRAE 14 (2014). Se observa que, en todos los casos, los valores de los modelos cumplen con dichos límites.

Tabla 8. Índices de Incertidumbre calculados para la validación de los tres modelos tipo comparados con su correspondiente límite establecido por ASHRAE 14 (2014).

	NMBE (%)		CVRMSE (%)		R <sup>2</sup> (adimensional)	
	Valor del Modelo	Límite de ASHRAE	Valor del Modelo	Límite de ASHRAE	Valor del Modelo	Límite de ASHRAE
Modelo Tipo 1	-7,40	±10.00	15,30	< 30	0,79	>0.75
Modelo Tipo 2	-6,10	±10.00	10,20	< 30	0,88	>0.75
Modelo Tipo 3	-4,20	±10.00	8,40	< 30	0,93	>0.75

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que los resultados obtenidos a partir de la presente Metodología no consideran la humedad ambiental alojada ni transferida a través de los elementos constructivos, por no disponer de medios para su medición.

### 5.2.2. Segunda fase: análisis del confort térmico adaptativo según ASHRAE 55 (2020)

La segunda fase de la simulación energética sigue las directrices Estándar ASHRAE 55 (2020). Incluye un método para evaluar y estimar las condiciones de confort de manera pasiva, es decir, en edificios que no cuentan con ningún sistema de climatización. El punto de partida de este método es el modelo estadístico de confort térmico adaptativo de Brager y De Dear (1998), que establece la temperatura ideal de confort a partir de la relación entre la temperatura exterior y la sensación térmica de los ocupantes del edificio, según la Ecuación 9:

$$T_c = 17,8 + (T_{\text{pext}} * 0,31) \quad \text{Eq (9)}$$

Donde:

$T_c$  es la Temperatura ideal de Confort

$T_{\text{pext}}$  es la Temperatura Promedio Exterior de bulbo seco o temperatura del aire

Por tanto, esta temperatura de confort está directamente relacionada con la localización del edificio, en el caso de la presente investigación, la provincia de Almería (España). A partir de dicha temperatura ideal de confort, el Estándar 55 (ASHRAE, 2020) establece dos rangos de confort. Uno de los rangos indica un porcentaje de aceptabilidad del 80% de confort, que se obtiene añadiendo  $\pm 3,5^\circ\text{C}$  a la temperatura de confort de la Ecuación 9. El otro rango señala un porcentaje de aceptabilidad de un 90%, resultante de añadir  $\pm 2,5^\circ\text{C}$  a la previamente mencionada Ecuación 9. Estos rangos evalúan la temperatura operativa de confort para temperaturas diarias exteriores medias comprendidas entre 10 y 33,5 °C. Esta temperatura operativa interior ha sido uno de los parámetros solicitados a *EnergyPlus* (versión 8.6.0.). Se obtiene según la Ecuación 10:

$$T_o = (T_{\text{MT}} + T_{\text{med}}) / 2 \quad \text{Eq (10)}$$

Donde:

$T_o$  es la Temperatura operativa de confort

$T_{\text{MT}}$  es la Temperatura del Modelo Tipo

$T_{\text{med}}$  es la Temperatura media interior del Modelo Tipo

Se persigue analizar las condiciones más desfavorables durante todo el período de estudio. Por ello, en este caso se toma como Temperatura del Modelo Tipo ( $T_{\text{MT}}$ ) la temperatura diaria **máxima** del modelo tipo. Por su parte, la temperatura operativa ( $T_o$ ), se evalúa según su posición en el gráfico de la Fig. 41 con respecto a los rangos de aceptabilidad del 80 y del 90%, tanto máximos como mínimos,

calculados en función de la temperatura media exterior de la provincia de Almería. Esta será la base para el análisis de confort térmico adaptativo según ASHRAE (2022) en la presente tesis.

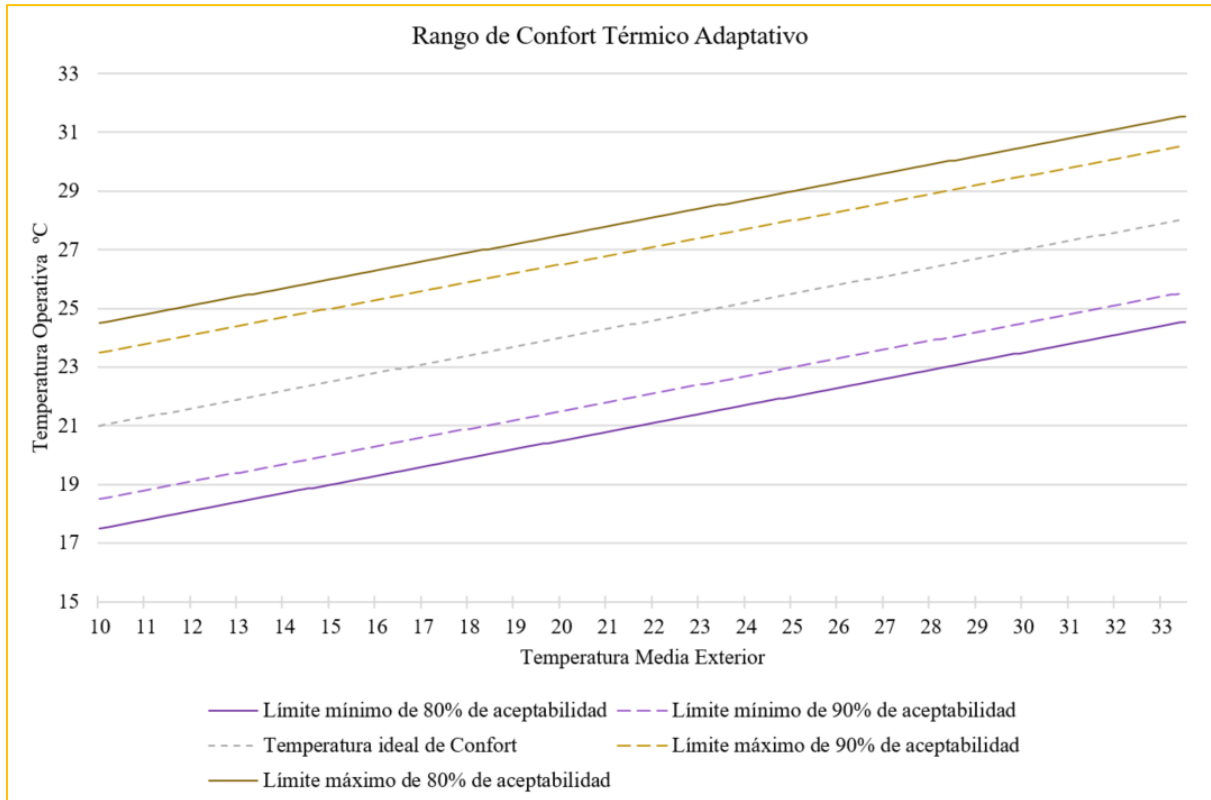


Fig. 41. Rangos de aceptabilidad del 80% y del 90% tanto máximos como mínimos para el análisis de confort térmico adaptativo en Almería durante el período estival objeto de la tesis. Elaboración propia a partir de ASHRAE 55 (2020).

# 6

## RESULTADOS

## 6. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en la investigación tras la ejecución de la Metodología descrita previamente. Se divide en tres epígrafes, el primero de ellos se dedica a la transmitancia térmica y a la influencia que ejerce sobre ella la orientación de los modelos. En segundo lugar, se habla sobre la temperatura interior de los modelos tipo obtenida a partir de la simulación y finalmente, se analiza su confort térmico adaptativo mediante la aplicación de las directrices de ASHRAE 55 (2020).

### 6.1. La transmitancia térmica y la influencia de la orientación de los modelos

Se recogen los valores de transmitancia térmica de los elementos constructivos que componen la envolvente de los tres modelos, obtenidos a partir del cálculo recogido en CTE DB HE (2022). Este mismo documento normativo establece valores límite para cada elemento constructivo, los cuales se incluyen en el presente epígrafe con el fin de verificar si los valores obtenidos cumplen con los límites de confort requeridos. La Tabla 9 muestra los valores de transmitancia térmica de los elementos constructivos opacos de los Modelos Tipo 1, 2 y 3 junto con su valor límite correspondiente, establecido en el CTE DB HE (2022) para la zona climática B3, donde se localizan los cortijos de la muestra.

Tabla 9. Valores de transmitancia térmica para los elementos constructivos de los tres modelos tipo junto con los valores límite establecidos en CTE DB HE (2022) para la zona climática donde se ubica el caso de estudio.

Elemento Constructivo	Modelo Tipo 1 (W/m <sup>2</sup> K)	Modelo Tipo 2 (W/m <sup>2</sup> K)	Modelo Tipo 3 (W/m <sup>2</sup> K)	Límite CTE DB HE (2022) (W/m <sup>2</sup> K)
Muros en contacto con el aire exterior	1,54	1,43	1,19	0,56
Cubiertas en contacto con el aire exterior	1,94	2,00	1,94	0,44
Suelos en contacto con el terreno	5,20	5,20	5,20	0,75

Se observa que el Modelo Tipo 1 tiene la mayor transmitancia térmica en sus **muros** en contacto con el aire exterior, es decir, en su cerramiento, con un valor de 1,54 W/m<sup>2</sup>K. Por el contrario, la menor transmitancia de cerramiento se encuentra en el Modelo Tipo 3 con 1,19 W/m<sup>2</sup>K. Esto se debe a que los modelos tienen distintos espesores, siendo mayor en el Modelo Tipo 3 de 65 cm y menor en el Modelo Tipo 1 de 45 cm. Con respecto a la transmitancia de las **cubiertas** en contacto con el aire exterior, el valor es mayor en el Modelo Tipo 2, con 2,00 W/m<sup>2</sup>K. La transmitancia de la cubierta del Modelo Tipo 1 coincide con la del Modelo Tipo 3 de 1,94 W/m<sup>2</sup>K. Estos valores se deben a que el



Modelo Tipo 2 tiene cubierta inclinada y los otros dos tienen cubierta plana. En el caso de los **suelos** en contacto con el terreno, los tres modelos tipo presentan el mismo valor porque las características físicas de sus suelos son idénticas. Comparados todos estos resultados con los límites establecidos en CTE DB HE (2022), se advierte que no los cumplen en ningún caso. En el caso de los muros en contacto con el aire exterior o cerramientos, se detecta que la mejora de la respuesta térmica coincide con el incremento del espesor de sus muros. Con respecto a las cubiertas, se observa un comportamiento ligeramente mejor en las cubiertas planas de los Modelos Tipo 1 y 3 en comparación con la cubierta plana del Modelo Tipo 2. Por último, debido a que el suelo es idéntico en los tres modelos, ofrecen el mismo comportamiento en todos los casos.

La Tabla 10 muestra los resultados de transmitancia térmica de los huecos de **ventanas y puertas** en los Modelos Tipo 1, 2 y 3, junto con los valores límite establecidos en CTE DB HE (2013) para la zona climática B3, la cual afecta al caso de estudio.

Tabla 10. Valores de transmitancia térmica de los huecos de ventana y puerta de los tres modelos tipo junto con los valores límite establecidos en CTE DB HE (2012) para la zona climática donde se ubica el caso de estudio.

Modelo	Sur	Este	Norte	Oeste
Tipo 1 $U = 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tipo 2 $U = 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tipo 3 $U = 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
Rangos de WWR establecidos en CTE DB HE (2022) para los valores de transmitancias límite WWR: <span style="color:blue">■</span> 0 – 10% <span style="color:green">■</span> 11 – 20% <span style="color:orange">■</span> 21 – 30% <span style="color:yellow">■</span> 31 – 40%				

En la tabla anterior, se observa que, en los tres casos, los huecos arrojan una transmitancia térmica de  $5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ , debido a que las características físicas y térmicas son idénticas. Estableciendo una comparación de los mismos con los distintos límites establecidos por CTE DB HE (2013), según su orientación y WWR, se observa que los valores obtenidos exceden dichos límites en todos los casos. En términos generales, se aprecia que los valores de transmitancia térmica sobrepasan el límite entre un 30 y un 40%, con las excepciones de las fachadas este y norte del Modelo Tipo 2, que superan sus límites un 75 y un 93%, respectivamente. Por otro lado, es conveniente indicar que el CTE (2013) ofrece valores límite individualizados para la transmitancia térmica de elementos constructivos macizos y de los huecos según su orientación y WWR. Sin embargo, no facilita límites totales de fachada, resultado de combinar la transmitancia térmica de cerramiento con la del hueco, cada una en su proporción. La Tabla 11 muestra la transmitancia térmica de las cuatro fachadas en cada modelo, obtenida a partir de la transmitancia térmica de los elementos macizos (Tabla 9), la transmitancia térmica de los huecos de fachada (Tabla 10) y el WWR.

Tabla 11. Transmitancia térmica de las cuatro fachadas de los tres modelos tipo.

Modelo	Sur	Este	Norte	Oeste
Tipo 1	 $U_{lim} = 1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tipo 2	 $U_{lim} = 2,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 2,79 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tipo 3	 $U_{lim} = 1,96 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 2,04 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 2,22 \text{ W/m}^2\text{K}$	 $U_{lim} = 1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$
Rangos de WWR establecidos en CTE DB HE (2022) para los valores de transmitancias límite WWR: <span style="color:blue">■</span> 0 – 10% <span style="color:green">■</span> 11 – 20% <span style="color:orange">■</span> 21 – 30% <span style="color:yellow">■</span> 31 – 40%				



Estos datos permiten establecer una comparativa entre los valores de la transmitancia térmica en las cuatro fachadas de los tres modelos tipo. Como cabe esperar, la transmitancia térmica de la fachada es mayor que la transmitancia térmica del elemento macizo, porque transmite más calor al contar con un porcentaje de superficie transparente y, en consecuencia, puentes térmicos. Por otro lado, es menor que la transmitancia térmica de los huecos, ya que estos elementos son transparentes (ventanas) o son opacos con un espesor considerablemente menor que los cerramientos (puertas). Con respecto a la comparativa entre fachadas, se observa que la menor transmitancia se encuentra en la fachada sur del Modelo Tipo 1 con un valor de  $1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que posee el WWR menor. En contraposición, el valor mayor de transmitancia la arroja la fachada este del Modelo Tipo 2 con un valor de  $3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que coincide con el mayor WWR. Los valores previamente comparados permiten afirmar que las fachadas de menor superficie cuentan con un WWR más bajo, como sucede con el Modelo Tipo 1, con valores comprendidos entre  $1,71$  y  $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ , y la fachada oeste del Modelo Tipo 2, que presenta  $1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dado que el Modelo Tipo 1 posee un WWR inferior al 10% en todas sus fachadas, es posible establecer una comparativa de transmitancias para un mismo WWR. En este caso, la transmitancia térmica mayor se obtiene en la fachada oeste, de  $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ , y la menor en la fachada sur, con  $1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ , convirtiéndose esta en la fachada con mejor comportamiento térmico. En definitiva, los valores de transmitancia aumentan conforme lo hace WWR. Por ello, en las fachadas este y norte del Modelo Tipo 2 ( $3,00$  y  $2,79 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y del Modelo Tipo 3 ( $2,04$  y  $2,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), las transmitancias son ligeramente mayores, especialmente la fachada este del Modelo Tipo 2, que posee el mayor WWR y, en consecuencia, la mayor transmitancia térmica. En contraposición, las fachadas orientadas a oeste de los tres modelos tipo, que poseen un WWR menor, ofrecen una menor transmitancia térmica, lo que empeora su comportamiento térmico.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las fachadas orientadas a sur y este funcionan mejor térmicamente, en línea con lo que concluyen varios estudios. Por un lado, Mangkuto et al. (2024) afirma que las orientaciones este y sur precisan menor demanda energética y, además, la orientación sur es la que ofrece el mejor rendimiento de luz natural anual. Los datos hallados en este capítulo también concuerdan con Almumar (2019), que afirma que las orientaciones este, sur, sureste y suroeste ofrecen el mejor comportamiento térmico durante todo el año, pues bloquean el sol en verano y quedan expuestas al sol en invierno. Además, para el mismo WWR, Chi et al. (2020) registra valores más confortables de temperatura interior en la fachada sur en comparación con la fachada norte. En contraposición, un estudio desarrollado por Taleghani et al. (2021), muestra que la fachada este es una de las que recibe más asoleo y, por tanto, cuando el objetivo es reducir el incremento de temperatura en el interior, es la primera que debe ser sometida a intervención. Esta última afirmación entra en conflicto con los resultados de la presente tesis, que demuestran que la fachada este es la segunda de cuatro en lo referente a mejor comportamiento térmico, por lo que gestiona el asoleo recibido de manera más satisfactoria que otras fachadas, como la norte y la oeste.

## 6.2. La temperatura interior de los Modelos Tipo

Se determinan los valores de temperatura térmica interior en los Modelos Tipo 1, 2 y 3 Simplificado (promedio de todas sus estancias o zonas térmicas) mediante la ejecución de una simulación energética en la temperatura exterior es la acontecida durante el verano de 2022. Como se detalla en la Metodología expuesta anteriormente, se suponen tres edificaciones desocupadas sometidas a un escenario de flotación libre. La Fig. 42 muestra la temperatura diaria máxima interior obtenida para cada uno de los tres modelos tipo, junto con los datos de la temperatura diaria máxima exterior, facilitados al software de simulación *EnergyPlus*, durante el período analizado.

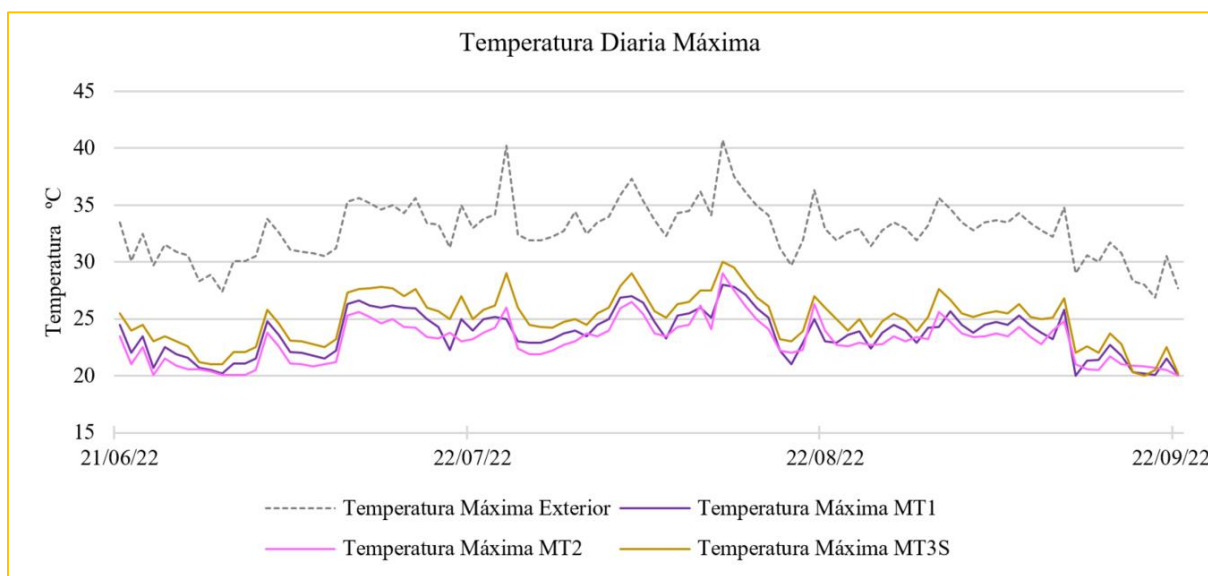


Fig. 42. Temperatura diaria máxima interior de los Modelos Tipo 1, 2 y 3 Simplificado y Temperatura diaria máxima exterior durante el período estival de 2022.

La información recogida en esta Fig. 42 permite apreciar la diferencia de temperatura entre la temperatura máxima exterior y la temperatura máxima interior de cada modelo. En primer lugar, el Modelo Tipo 1 alcanza una temperatura interior máxima diaria de 25,8°C y una temperatura interior máxima media diaria durante el período de verano de 23,6°C ( $\pm 1,97$ ). En segundo lugar, el Modelo Tipo 2 tiene una temperatura interior máxima diaria de 29°C y una temperatura interior máxima diaria promedio durante el período de verano de 23,0°C ( $\pm 1,89$ ). Por último, el Modelo Tipo 3 Simplificado tiene una temperatura interior máxima diaria de 30°C, con una temperatura interior máxima diaria promedio durante el período de verano de 24,8°C ( $\pm 2,20$ ). Si se considera que la temperatura exterior máxima diaria es de 40,7°C con una temperatura máxima diaria promedio de 32,7°C ( $\pm 2,52$ ), la temperatura máxima para el Modelo Tipo 1 es 15,2°C menor que la temperatura exterior, la temperatura máxima para el Modelo Tipo 2 es 14,2°C inferior a la temperatura exterior y la temperatura máxima para el Modelo Tipo 3 es 11,2°C menor que la temperatura exterior. Como se puede apreciar, el Modelo Tipo 1 y el Modelo Tipo 2 obtienen valores más similares respecto al Modelo Tipo 3 Simplificado, que son más extremos, como se puede observar en los picos máximos y mínimos del gráfico mostrado en la Fig. 42. Además, puede observarse que el Modelo Tipo 2, el único que posee cubierta inclinada, muestra la temperatura más baja durante gran parte de este período de 20,1°C. A raíz de lo anterior, se deduce que el Modelo Tipo 2 muestra el mejor comportamiento en esta situación, reduciendo la temperatura exterior máxima hasta 10,1°C, lo que lo convierte en el caso más favorable cuando la temperatura exterior aumenta. Por su parte, el Modelo Tipo 1 muestra la menor capacidad de mitigación, reduciendo esta temperatura en 9,2°C. Por su parte, el Modelo Tipo 3 Simplificado consigue resultados similares al Modelo Tipo 1, con una reducción máxima de temperatura de 8,3°C respecto a la temperatura máxima exterior. En líneas generales, estos resultados destacan el buen comportamiento de los tres modelos ante las temperaturas extremas a las que quedan expuestos durante los meses de verano, pues todos ellos demuestran su capacidad para mitigar una determinada cantidad de calor cuando en el exterior se alcanzan temperaturas máximas.

En línea con lo expuesto en el capítulo *previo destinado a Metodología*, para obtener una visión completa del Modelo Tipo 3, se deben comparar los resultados de la versión simplificada con los de la versión detallada. Por ello, la Fig. 43. representa la totalidad de los datos térmicos del Modelo Tipo 3 Detallado, correspondiente a las temperaturas diarias máximas de las estancias o zonas térmicas que lo componen. A partir de ella, se puede establecer una comparativa entre las temperaturas de las distintas estancias, la cual muestra que los valores obtenidos son significativos, pues son los más elevados y desfavorables en comparación con la anterior Fig. 42. En concreto, las estancias con valores más desfavorables son la planta alta de la vivienda principal, la planta alta del pajar y la vivienda de aparceros. Por su parte, las estancias con valores más favorables son el anexo noroeste de la vivienda principal, la planta baja del pajar y la planta baja de la vivienda principal. Se observa que el techo de planta baja y toda la planta alta tiene una capacidad térmica tal que proporciona aislamiento térmico a la planta baja.

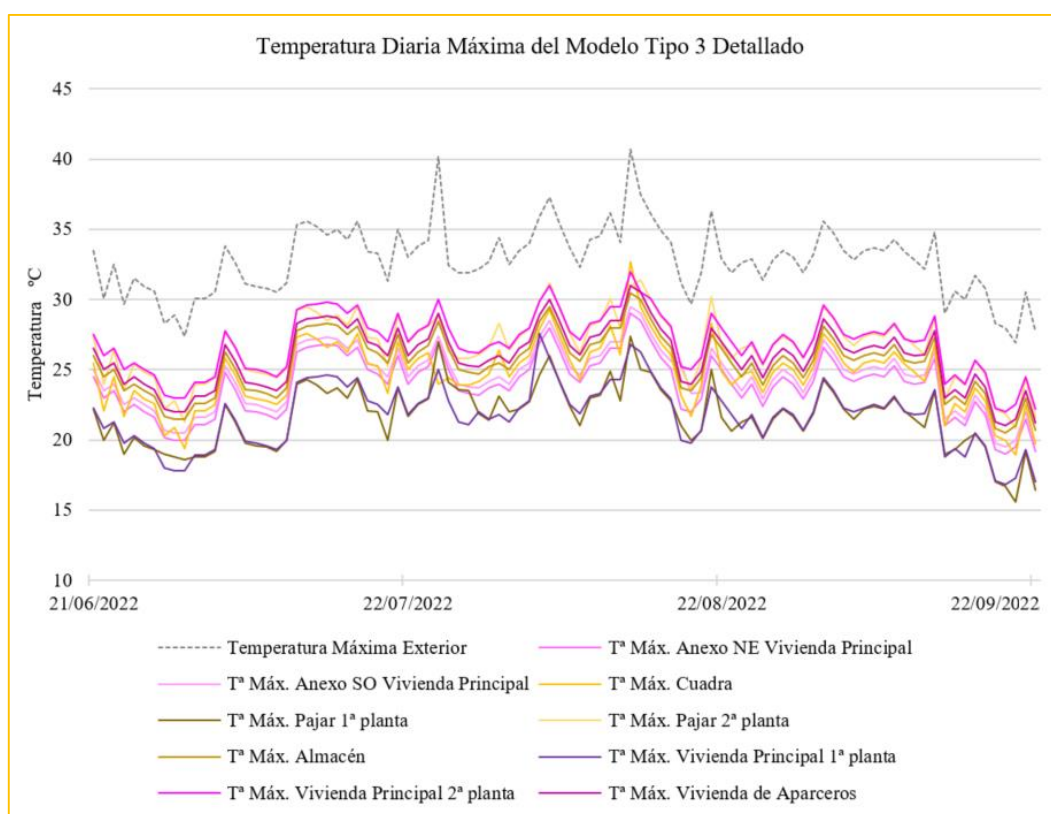


Fig. 43. Temperatura diaria máxima interior de las estancias del Modelo Tipo 3 Detallado y Temperatura diaria máxima exterior durante el período estival de 2022.

Además, se observa que la mayoría de las estancias con valores **desfavorables** se ubican en planta alta. Por un lado, la planta alta de la vivienda principal, con fachadas orientadas al norte, este y sur, tiene una temperatura máxima de 32°C y una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 26,8°C ( $\pm 2,16$ ). La planta superior del pajar, que presenta fachadas por sus cuatro lados, tiene una temperatura máxima de 31,4°C y una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 26,4°C ( $\pm 2,30$ ). Con respecto a la estancia de planta única con valores desfavorables, La vivienda de aparceros, con fachadas orientadas al norte y al este, tiene una temperatura máxima de 30,5°C y una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 25,8°C ( $\pm 2,18$ ). Por otro lado, la totalidad de las estancias con valores **favorables** se ubican en planta baja. Como se aprecia en la Fig. 43, el anexo noreste de la vivienda principal tiene una temperatura máxima de 28,5°C con una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 23,8°C ( $\pm 2,26$ ). La planta baja de la vivienda principal, orientada al norte, tiene una temperatura máxima de 27,6°C y una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 21,6°C ( $\pm 2,24$ ). Por último, la planta baja del pajar, con fachadas orientadas al norte y suroeste, tiene una temperatura máxima de 27,4°C y una temperatura máxima diaria media durante el periodo estival de 21,5°C ( $\pm 2,23$ ).

Los resultados muestran que el espacio que peor se comporta ante las temperaturas exteriores extremas es la planta alta de la vivienda principal, incapaz de mitigar el calor. Por el contrario, en la planta baja, el espacio con mejor comportamiento térmico es el pajar, que consigue reducir las temperaturas más altas hasta en 9,6°C. Por otra parte, el Modelo Tipo 3 Detallado ofrece un rango de temperaturas más amplio que el Modelo Simplificado Tipo 3, con diferencias de hasta 16,4°C. Esto da como resultado la presencia de un mayor número de días que cuentan con temperaturas máximas extremas. En definitiva, el Modelo Tipo 3 Detallado tiene peores resultados que su versión simplificada porque su planta superior tiene una mayor superficie expuesta a la intemperie. Por el contrario, la planta baja queda bastante bien protegida de ello por la planta alta. Esto es debido a que esta última actúa como una cámara de aire entre el exterior y la planta baja, ofreciéndole aislamiento térmico.

### 6.3. Confort térmico adaptativo de los modelos tipo según ASHRAE 55 (2020)

Para evaluar el impacto de la temperatura exterior sobre el rendimiento térmico de los tres modelos tipo desde el punto de vista del confort térmico, se realiza el análisis de confort térmico adaptativo descrito por ASHRAE 55 (2020). Para ello, las Figs. 44 y 45 muestran los valores de temperatura operativa en el interior en función de la temperatura media exterior. Concretamente, la Fig. 44 muestra los rangos de confort térmico adaptativo establecidos a partir de la temperatura media exterior y las temperaturas operativas interiores durante el período de verano para los Modelos Tipo 1 y 2. La Fig. 44a muestra los datos relativos al Modelo Tipo 1, en la que se observa que el 15% de los días en el periodo de verano quedan fuera del rango de confort, el 10% se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad del 80%, el 70% se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad del 90% y el 5% coinciden con la temperatura de confort. La Fig. 44b recoge lo propio para el Modelo Tipo 2, en el que el 5% de los días en el período de verano están fuera del rango de confort, el 30% están dentro de los límites de aceptabilidad del 80%, el 60% están dentro de los límites de aceptabilidad del 90% y el 5% de los días coinciden con la temperatura de confort. Estos datos demuestran que un alto porcentaje de temperaturas operativas quedan dentro de los límites de aceptabilidad del 90%, tanto en el Modelo Tipo 1 como en el Modelo Tipo 2. Esto concuerda con lo estudiado en Forcada et al. (2021), que confirma que el límite del 90% es válido para asegurar el confort de los ocupantes en edificios localizados en áreas de clima mediterráneo. Por el contrario, Wang et al. (2023) realiza un estudio que afirma que los ocupantes perciben una temperatura confortable en unos rangos menos estrictos que los descritos en ASHRAE 55 (2020).

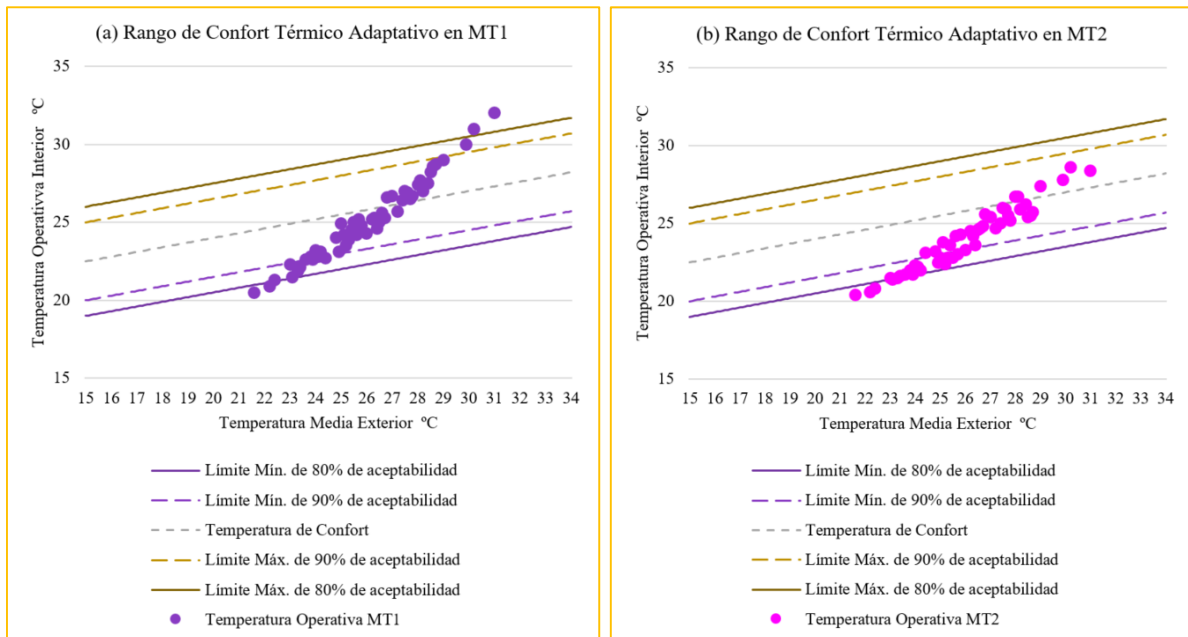


Fig. 44. Confort Térmico Adaptativo según ASHRAE 55 (2020). (a) Modelo Tipo 1. (b) Modelo Tipo 2.

Tras el análisis de los datos resultantes, se determinan los rangos de confort térmico adaptativo para el Modelo Tipo 3 Simplificado y para la situación más desfavorable del Modelo Tipo 3 Detallado. Al igual que los Modelos Tipo 1 y 2, se establecen a partir de la temperatura media exterior y la temperatura operativa interior durante el período estival. La Fig. 45a muestra que, en el Modelo Tipo 3 Simplificado, el 5% de los días en el período de verano están fuera del rango de comodidad, el 5% están dentro de los límites de aceptabilidad del 80%, el 80% están dentro de los límites de aceptabilidad del 90% y el 10% de los días coinciden con la temperatura de confort. La Fig. 45b muestra los datos de la situación desfavorable en el Modelo Tipo 3 Detallado. En este caso, el 20% de los días están fuera del rango de confort, el 20% están dentro de los límites de aceptabilidad del 80%, el 50% están dentro de los límites de aceptabilidad del 90%, y el 10% de los días coinciden con la temperatura de confort. En este punto, es importante señalar que, en ambos casos, los porcentajes de aceptabilidad sólo se refieren a los límites máximos porque no existen valores inferiores a la temperatura ideal de confort. Si se comparan los datos de la Fig. 45a con los datos de la Fig. 45b, se comprueba que el Modelo Tipo 3 Simplificado tiene un 30% más de días con temperaturas operativas dentro de los límites de confort respecto al Modelo Tipo 3 Detallado. Por otro lado, si se establece una comparativa con otras investigaciones del mismo ámbito, el estudio desarrollado por Kajjoba et al. (2022) confirma que el límite del 80% de aceptabilidad es un indicativo de condiciones térmicas aceptables, situación a la que se ajusta más el Modelo Tipo 3 Simplificado, que tiene un 30% más de días dentro de los rangos de confort en comparación con la situación desfavorable del Modelo Tipo 3 Detallado. Dicha versión detallada coincide con Passi et al. (2022), que no cumple con el límite del 80% de aceptabilidad en el estudio realizada.

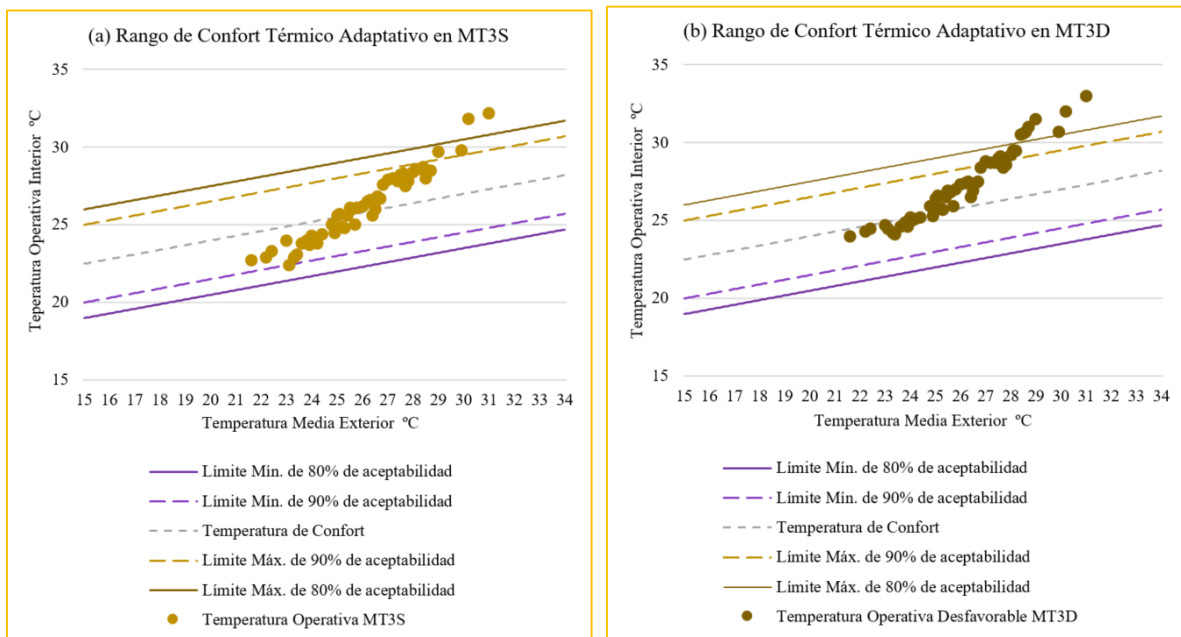


Fig. 45. Confort Térmico Adaptativo según ASHRAE 55 (2020). (a) Modelo Tipo 3 Simplificado. (b) Situación Desfavorable del Modelo Tipo 3 Detallado.

Analizados los cuatro casos representados, se puede afirmar que el funcionamiento de los tres modelos, incluida la estancia más desfavorable del Modelo Tipo 3 Detallado, es altamente satisfactorio desde el punto de vista térmico, según las directrices recogidas en ASHRAE 55 (2020). Este hecho demuestra la gran capacidad térmica de la tipología arquitectónica que aquí se estudia.

# 7

## CONCLUSIONES



## 7. CONCLUSIONES

El contenido de la presente tesis doctoral pone de manifiesto el valor del diseño bioclimático que posee la arquitectura vernácula levantina almeriense en clima mediterráneo dentro del contexto actual, que queda fuertemente condicionado por el cambio climático. En este capítulo, se procede a desarrollar las conclusiones deducidas, para confirmar el **cumplimiento de cada uno de los objetivos** propuestos en la investigación realizada. El contenido expuesto aborda las siguientes cuestiones: la importancia de los estudios sobre edificios patrimoniales, la escasez de este tipo de estudios, la utilidad de la realización de simulaciones energéticas, el papel fundamental del modelado en esas simulaciones, el impacto de la orientación de los cortijos en sus condiciones térmicas, la transmitancia térmica de los elementos constructivos y su relación con el diseño del edificio, incluido el WWR, la temperatura interior de los cortijos y el análisis de confort térmico adaptativo según el documento normativo ASHRAE 55 (2020).

- Las investigaciones relacionadas con **edificios patrimoniales** de cualquier naturaleza cobran gran importancia debido a múltiples factores. Concretamente, la tipología de arquitectura levantina almeriense, comúnmente llamada *cortijo*, es la base de la presente tesis doctoral por ser un tipo de construcción de gran valor etnológico y medioambiental, entre otros. Dicho valor queda constatado por el reconocimiento que le confiere la sociedad, que la relaciona con la identidad del territorio sobre el que se asienta, la memoria y sus antiguos moradores. A través de ellas, es posible conocer estilos de vida pertenecientes a comunidades antecesoras, así como el papel que jugaban las construcciones en las actividades de producción que desempeñaban para su subsistencia. A pesar de todas estas grandes aportaciones, un gran número de sus ejemplares sufren hoy en día las consecuencias de su desocupación, abandono y, finalmente, su estado ruinoso. Para resaltar dichas bondades de los cortijos en el ámbito del diseño bioclimático y la eficiencia energética, la presente investigación permite deducir el impacto del clima mediterráneo en la arquitectura vernácula del Levante almeriense.
- A pesar del reconocimiento social con el que cuenta la arquitectura levantina almeriense, el número de **este tipo de estudios es escaso**, y los disponibles no abordan temas térmicos ni energéticos, lo que denota desinterés en lo relativo a su previamente mencionado diseño bioclimático. Esta situación difiere con la investigación realizada, cuyo fin es detectar las estrategias energéticamente eficientes para identificar los criterios de ese tipo de diseño. Esta acción se lleva a cabo porque el conocimiento de estas cuestiones posibilita su aplicación en construcciones de obra nueva y facilita intervenciones de rehabilitación térmicamente coherentes para adaptar el patrimonio construido al cambio climático actual. Además, de esta manera, se responde a la necesidad de incrementar el

número de estudios basados en simulaciones energéticas sobre edificios existentes ubicados en la provincia de Almería y evaluar su eficiencia energética dentro de las directrices determinadas por el marco normativo actual.

- El proceso de **modelado** es un factor clave para el funcionamiento correcto y óptima ejecución de una simulación energética. La fiabilidad de los resultados queda fuertemente condicionada por el equilibrio entre la simplificación geométrica suficiente para un esfuerzo computacional óptimamente asumible por el hardware disponible y la precisión física y térmica necesaria. En la presente investigación, se estudia una muestra de la tipología compuesta de veintisiete cortijos. Dicha muestra se clasifica en función de sus características geométricas y físicas representativas para, posteriormente, confeccionar un modelo representativo de cada grupo, tres en total. Estos modelos tipo se modelan siguiendo los criterios descritos y se someten a las condiciones climáticas de su localización.
- Las zonas más conflictivas del proceso de modelado son aquellas que, con su comportamiento, pueden diferir demasiado entre la realidad y el modelo considerado en la simulación. En este caso, se trata de los **puentes térmicos**, como consecuencia del encuentro entre dos elementos constructivos de distinta naturaleza. En la realidad, estos puentes térmicos permiten el flujo de calor mientras que, en un modelo demasiado simplificado, puede suponerse un área completamente estanca. Para evitar la falta de precisión en los resultados por dicho motivo, se incluyen los puentes térmicos en el modelado estimando su área de influencia y su transmitancia térmica, empleando valores tabulados en el documento normativo CTE (2022).
- La realización de la **simulación energética** es determinante para la obtención de los resultados en la presente investigación. Se realiza un estudio que permite conocer el comportamiento térmico de los cortijos levantinos sin la influencia de ocupantes o un sistema de climatización. La imposición de dicho condicionante es clave para poder atribuir los datos hallados exclusivamente a las edificaciones analizadas. Para llevarlo a cabo, es necesario determinar las características geométricas, físicas y térmicas de las construcciones sometidas a la simulación, las cuales cuentan con elementos y materiales de construcción tradicionales no disponibles en las librerías de materiales de los softwares actuales, razón por la que precisan su definición de manera manual e individualizada. Relativo a la precisión de los resultados obtenidos, es necesario indicar que las simulaciones ejecutadas se han calibrado y validado mediante los índices de incertidumbre recogidos en el documento normativo ASHRAE 14 (2014), lo que respalda la fiabilidad de los resultados.
- Para evaluar las ventajas y desventajas que ofrece cada una de las **orientaciones** sobre el cortijo, se observa el comportamiento térmico de las fachadas que presentan un WWR similar, con objeto de realizar un análisis comparativo. Se detecta que, para el período estival en la provincia de Almería analizado, la fachada que mitiga con mayor eficacia las temperaturas extremas exteriores está orientada a este. En segundo lugar, con un comportamiento muy similar a la primera, queda la orientación sur. Además, de los resultados obtenidos se deduce que la orientación norte queda en tercer lugar en términos de capacidad térmica. A pesar de quedar la tercera de cuatro fachadas, es necesario indicar que también ofrece valores aceptables, aunque no alcance a las dos orientaciones anteriores. En contraposición, la orientación con el comportamiento más desfavorable es la oeste, pues es la que ofrece menor capacidad de impedir el flujo de calor a través de su fachada.
- **Relación entre el diseño de los cortijos, el porcentaje de huecos y la transmitancia térmica.** A raíz del estudio realizado, queda demostrado que las estrategias de diseño de la arquitectura levantina almeriense en general, el WWR de las fachadas de los cortijos analizados en particular y la transmitancia térmica de sus elementos constructivos están íntimamente ligados. A partir de la muestra analizada compuesta por 27 cortijos levantinos almerienses y su posterior clasificación atendiendo a características geométricas, físicas y térmicas para la definición de tres modelos tipo, se advierte que existe una tendencia hacia un WWR menor conforme la fachada cuenta con menor

superficie. Irremediablemente, esto afecta al valor de la transmitancia térmica, que también ve disminuido su valor en consecuencia. Con respecto a la transmitancia térmica de los elementos constructivos, también es preciso indicar que, en los edificios analizados, los valores resultantes no cumplen los límites establecidos por CTE DB HE (2022).

- A partir de las simulaciones energéticas realizadas se ha determinado la **temperatura interior** de los modelos tipo definidos en fases anteriores de la investigación. Si se realiza una comparativa de los datos de temperatura de los tres modelos tipo, se deduce que el Modelo Tipo 2 cuenta con los valores más suaves y el menor rango de temperatura en el interior, mientras que el Modelo Tipo 3 Detallado es el que cuenta con las temperaturas interiores más elevadas durante el período estival analizado. Al extrapolar esto a la muestra analizada, representativa de todas las variantes que presenta el cortijo levantino, se puede afirmar que los cortijos de planta única y compacta, compuesta de varias crujías y cubierta inclinada poseen mayor capacidad para mitigar las temperaturas extremas exteriores durante una ola de calor. Por el contrario, los cortijos cuya morfología es disgregada o resultado de la adición de varios volúmenes, siempre cuentan con estancias con muy poca capacidad de mitigar el calor extremo del exterior. Sin embargo, este tipo de cortijos suele presentar dos plantas de altura. En estos casos, la capacidad térmica de sus cerramientos, sus cubiertas, que suelen ser planas, y los forjados techo de planta primera crean una cámara de aire entre la planta baja y el exterior, la cual incrementa la diferencia de temperatura entre ambos. Sin embargo, la diferencia entre la temperatura exterior y la temperatura de la planta alta no es tan notoria, pues es en estas estancias donde se obtienen los valores desfavorables de la simulación. Con respecto al Modelo Tipo 1, representativo de los cortijos de planta única con una sola crujía y cubierta plana, alcanza temperaturas de valor similar al Modelo Tipo 2, pero con la diferencia de que es térmicamente menos estable, es decir, con una variación de temperatura interior mayor.
- Para analizar los datos de temperatura interior de los modelos obtenidos a partir de la simulación energética, se lleva a cabo un **análisis de confort térmico adaptativo** siguiendo las directrices de ASHRAE 55 (2020). En este análisis, el Modelo Tipo 2 es el que obtiene mejores resultados, frente al Modelo Tipo 1, que es el que peor se posiciona. Esto se traduce en que, para los cortijos levantinos de planta única y compacta, los que se componen de varias crujías y cubierta inclinada mantienen su temperatura interior dentro de los límites de aceptabilidad establecidos durante un período de tiempo más prolongado, frente a los cortijos de crujía única y cubierta plana, que ofrecen una peor respuesta. A pesar de ello, la respuesta es buena en los casos del Modelo Tipo 1, del Modelo Tipo 2 y del Modelo Tipo 3, es decir, que tanto los cortijos compactos como la mayoría de las estancias de los cortijos disgregados cumplen con las directrices que dicta la norma durante más de la mitad del período estival analizado. Sin embargo, esta situación no ocurre en el caso más desfavorable del Modelo Tipo 3 Detallado, correspondiente con estancias en planta alta del cortijo disgregado.

Como conclusión final, se afirma que la tipología arquitectónica de cortijo levantino almeriense tiene la capacidad térmica necesaria para responder a las condiciones que queda sometida debido al clima mediterráneo que le afecta, situación que le confiere un valor añadido además de su interés patrimonial. Por ello, queda demostrada la alta **eficiencia energética** de los materiales de sus elementos constructivos, el espesor de sus envolventes y la orientación de sus fachadas. Todo ello se corresponde con el **diseño bioclimático** que la caracteriza.

# B

BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

- Adarve, G. (2019). *Granada, conjunto histórico: de la declaración a la intervención*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Adly, B., & El-Khouly, T. (2022). Combining retrofitting techniques, renewable energy resources and regulations for residential buildings to achieve energy efficiency in gated communities. *Ain Shams Engineering Journal* 13 (6), 101772, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101772>.
- Agyekum, K., Kissi, E., & Danku, J. (2020). Professionals' views of vernacular building materials and techniques for green building delivery in Ghana. *Scientific African*, e00424, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00424>.
- Ajuntament d'Alcoi. (2016). *El Betlem de Tirisiti*. Obtenido de Ajuntament d'Alcoi: <https://www.alcoi.org/es/areas/cultura/betlemdetirisiti/elbetlem.html>
- Ajuntament d'Algemesí. (2006). *La fiesta de la Mare de Déu de la Salut*. Obtenido de Ajuntament d'Algemesí: <https://www.algemesi.es/es/pagina/fiesta-mare-deu-salut>
- Almumar, M. (2019). Understanding the environmental performance of the Iraqi traditional courtyard house, Is there an order of façades orientation in randomly oriented land plots? *Journal of Building Engineering* 22, 140-146, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.12.004>.
- Alongi, A., Scoccia, R., Motta, M., & Mazzarella, L. (2015). Numerical investigation of the Castle of Zena energy needs and a feasibility study for the implementation of electric and gas driven heat pump. *Energy and Buildings* 95, 32-38, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.012>.
- Amigos del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. (2021). *Flora del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar*. Obtenido de <https://cabodegata.net/flora-del-parque-natural-cabo-de-gata-nijar/>
- Andalucía. (2012). *Relieve de Almería. Campo de Dalías*. Obtenido de <https://andalucia.com/andalucia/provincias-capitales-comarcas-y-municipios/provincias/provincia-de-almeria/relieve-almeriense/campo-de-dalias/>
- Anèl·lides Serveis Ambientals Marins. (2022). *Anèl·lides*. Obtenido de <https://anellides.com/es/>

- ANSI/ASHRAE. (2014). *Guideline 14-2014. Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*. Atlanta: ASHRAE.
- ANSI/ASHRAE. (2020). *Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.
- Aquae Fundación. (2013). *Acueducto de Segovia: historia, descripción y construcción*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/ciudad-vieja-y-acueducto-de-segovia/>
- Ascione, F., De Masi, R., De Rossi, F., Ruggiero, F., & Vanoli, G. (2016). Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. *Applied Energy* 183, 938-957, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.027>.
- Asociación Española de Calidad (AEC). (2013). *Asociación Española de Calidad (AEC)*. Obtenido de <https://www.aec.es/>
- Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas (ASEFAVE). (2018). Obtenido de <https://www.asefave.org/>
- Asociación Turística Empresarial Valle de Benasque. (2018). *Valle de Benasque*. Obtenido de <https://www.benasque.com/es>
- Atmaca, A., & Gedik, G. (2020). Determination of thermal comfort of religious buildings by measurement and survey methods: Examples of mosques in a temperate-humid climate. *Journal of Building Engineering* 30, 101246, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101246>.
- Bodach, S., Lang, W., & Hamhaber, J. (2014). Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. *Energy and Buildings* 81, 227-242, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.022>.
- Bougiatioti, F., & Oikonomou, A. (2020). Architectural characteristics and environmental performance of byzantine houses and streets. *Building and Environment* 170, 106605, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106605>.
- Brager, G., & De Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings* 27 (1), 83-96, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
- Bui, D., Nguyen, T., Ghazlan, A., & Ngo, T. (2021). Biomimetic adaptive electrochromic windows for enhancing building energy efficiency. *Applied Energy* 300, 117341, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117341>.
- Calama-González, C., Escandón, R., Alonso, A., Suárez, R., León-Rodríguez, A., Gutiérrez, A.S.O.; Arriazu-Ramos, A. & Monge-Barrio, A. (2023). Thermal insulation impact on overheating vulnerability reduction in Mediterranean dwellings. *Heliyon* 9 (5), 16102, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16102>.
- Cano, M., Garzón, E., & Sánchez-Soto, P. (2013). Historic preservation, GIS, & rural development: The case of Almería province, Spain. *Applied Geography* 42, 34-47, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.014>.
- Cara, L., Muñoz, A., Pérez, M., Torres, M., Sevillano, A., Verdegay, F., Viciano, A. & Zapata, A. (2008). *Guías de Almería. Territorio, cultura y arte. La ciudad de Almería* (1ª ed.). (I. d. Almerienses, Ed.) Almería, España.
- Caro, R., & Sendra, J. (2021). Are the dwellings of historic Mediterranean cities cold in winter? A field assessment on their indoor environment and energy performance. *Energy and Buildings* 230, 110567, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110567>.

- Carretón, A. (2017). *¿Qué es un conjunto histórico?* Obtenido de Patrimonio Inteligente: <https://patrimoniointeligente.com/conjunto-historico/>
- Catedral de Santiago de Compostela. (2017). *Catedral de Santiago*. Obtenido de <http://catedraldesantiago.es/>
- Ceetydes. (2020). *Diseño Bioclimático*. Obtenido de <https://ceetydes.org/diseño-bioclimatico/#:~:text=Entendemos%20como%20arquitectura%20bioclim%C3%A1tica%20aquella,entorno%20y%20del%20clima%20local>.
- Centro de Estudios Paisaje y Territorio (CEPT). (2019). *Los paisajes fluviales en la planificación y gestión del agua. Río Guadiana Menor*. Obtenido de <http://www.paisajeyterritorio.es/assets/guadiana-menor.pdf>
- Centro de Visitantes Los Yesares. (2021). *Los Molinos del Río Aguas*.
- Chi, F., Wang, Y., Wang, R., Li, G., & Peng, C. (2020). An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings. *Solar Energy* 195, 64-81, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.033>.
- Cholewa, T., Siuta-Olcha, A., Smolarz, A., Muryjas, P., Wolszczak, P., Guz, L., Bocian, M.; Sadowska, G.; Lokczewska, W. & Balaras, C. (2023). On the forecast control of heating system as an easily applicable measure to increase energy efficiency in existing buildings: Long term field evaluation. *Energy and Buildings* 292, 113174, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113174>.
- Ciancio, V., Salata, F., Falasca, S., Curci, G., Golasi, I., & De Wilde, P. (2020). Energy demands of buildings in the framework of climate change: An investigation across Europe. *Sustainable Cities and Society* 60, 102-213, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102213>.
- Ciancio, V., Salata, F., Falasca, S., Curci, G., Golasi, I., & De Wilde, P. (2020). Energy demands of buildings in the framework of climate change: An investigation across Europe. *Sustainable Cities and Society* 6, 102213, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102213>.
- Consejería de Educación, Cultura y Deportes. Gobierno de Castilla-La Mancha. (2020). *Molinos de Campo de Criptana*. Obtenido de Cultura Castilla-La Mancha: [https://web.archive.org/web/20030315000000\\*/https://cultura.castillalamancha.es/patrimonio/yacimientos-visitables/molinos-de-campo-de-criptana](https://web.archive.org/web/20030315000000*/https://cultura.castillalamancha.es/patrimonio/yacimientos-visitables/molinos-de-campo-de-criptana)
- Convertino, F., Di Turi, S., & Stefanizzi, P. (2017). The color in the vernacular bioclimatic architecture in Mediterranean region. *Energy Procedia* 126, 211-218, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.142>.
- Costa de Almería Grupo de Desarrollo Pesquero. (2022). *La desembocadura del Río Antas*. Obtenido de <https://www.desarrollopesqueroalmeria.es/desembocadura-rio-antas/>
- Costasur.com. (2022). *El Clima en Almería*. Obtenido de <https://almeria.costasur.com/es/clima.html>
- D'Agostino, D., Parker, D., Epifani, I., Crawley, D., & Lawrie, L. (2022). How will future climate impact the design and performance of nearly zero energy buildings (NZEBs)? *Energy* 240, 122479, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122479>.
- Delegación de Urbanismo del Excmo. Ayuntamiento de Arahal. (2014). *Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de Arahal (Sevilla)*. Obtenido de Ayuntamiento de Arahal: [https://transparencia.arahal.es/export/sites/arahal/es/transparencia/.galleries/IND-53-/PLAN-ESPECIAL-DE-PROTECCION/O\\_CATALOGO\\_ABC.pdf](https://transparencia.arahal.es/export/sites/arahal/es/transparencia/.galleries/IND-53-/PLAN-ESPECIAL-DE-PROTECCION/O_CATALOGO_ABC.pdf)



- Desogus, G., & Cannas, L. (2016). Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: The Sardinian case study. *Energy and Buildings* 129, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.051>.
- Diesendorf, M. (2007). Soluciones de invernadero con energía sostenible. UNSW Press.
- Diputación de Almería. (2022). *Agenda 21 Provincial de Almería 2009*. Obtenido de Diputación de Almería: [https://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/Anexos.nsf/58C0DDAA24FEE3E3C1257650003A80FC/\\$file/Documento%20de%20diagnostico%20volumen%20I.pdf](https://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/Anexos.nsf/58C0DDAA24FEE3E3C1257650003A80FC/$file/Documento%20de%20diagnostico%20volumen%20I.pdf)
- Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., Rojas-Fernández, J., & Nikolopoulou, M. (2021). Extending the adaptive thermal comfort models for courtyards. *Building and Environment* 203, 108094, <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108094>.
- Esteban, M. (2019). La bioinspiración. *Academia de Ciencias de la Región de Murcia*.
- European Environment Agency. (2009). *Estado y presiones del medio ambiente marino y del litoral mediterráneo*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/en>
- Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza. (2023). *La Cartuja de la Concepción. Historia y Arquitectura*. Obtenido de La Cartuja Baja: <https://zaragoza.es/sede/portal/cartuja-baja/cartuja-concepcion3>
- Fernandes, J., Mateus, R., Bragança, L., & da Silva, J. (2015). Portuguese vernacular architecture: the contribution of vernacular materials and design approaches for sustainable construction. *Architectural Science Review* 4, 324-336, <https://doi.org/10.1080/00038628.2014.974019>.
- Fernández, V., & Fernández, S. (2010). *Paisajes y patrimonio cultural en Andalucía : tiempo, usos e imágenes*. Sevilla: Consejería de Cultura, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- Ferre, E. (2006). Unidades de paisaje del Valle del Andarax (Provincia de Almería). *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia* 28, 303-332, ISSN: 0212-5099.
- Forcada, N., Gangoellés, M., Casals, M., Tejedor, B., Macarulla, M., & Gaspar, K. (2021). Field study on adaptive thermal comfort models for nursing homes in the Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 252, 111475, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111475>.
- García, A. (2009). *Atlas Geográfico de la provincia de Almería. El Medio, la Sociedad y las Actividades*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería.
- García-Ruiz, A., García-Ruiz, L., & Sáez-Pérez, M. (2022). Industrial heritage in the province of Almería. Analysis and reuse for a sustainable tourism. *REHABEND 2022; 9th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management.*, <http://hdl.handle.net/20.500.12251/2921>.
- García-Ruiz, L., & Sáez-Pérez, M. (2018). Viabilidad en patrimonio vs necesidad de intervención. Propuesta viable en el Cortijo del Fraile en Níjar (Almería). *Heritage 2018. International Conference of Heritage and Sustainable Development. Green Lines Institute y Universidad de Granada*. Granada.
- García-Ruiz, L., García-Ruiz, A., & Sáez-Pérez, M. (2022). Bioclimatic study of architecture in eastern Almería (Spain). *REHABEND 2022; 9th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*, <http://hdl.handle.net/20.500.12251/2917>.
- García-Ruiz, L., Sáez-Pérez, M., & Verdú-Vázquez, A. (2019). Viability in heritage vs necessity of intervention. Viable project in The Cortijo del Fraile in Níjar (Almería). *Anales de Edificación* 5(3), 66-75, <https://doi.org/10.20868/ade.2019.4372>.

- Goytisolo, J. (1960). *Campos de Níjar*. Barcelona: Seix Barral.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2023). Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. En G. I. (IPCC), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647). Ginebra (Suiza): Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.).
- Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH). (2015). *Demarcación Paisajística del Campo de Níjar*. Obtenido de [file:///C:/Users/Luisa%20Mar%C3%ADa/Downloads/Demarcaci%C3%B3n\\_paisaj%C3%ADstica\\_Campo\\_N%C3%ADjar\\_ficha\\_t%C3%A9cnica.pdf](file:///C:/Users/Luisa%20Mar%C3%ADa/Downloads/Demarcaci%C3%B3n_paisaj%C3%ADstica_Campo_N%C3%ADjar_ficha_t%C3%A9cnica.pdf)
- Instituto de la Construcción de Castilla y León. (2007). *Instituto de la Construcción de Castilla y León (ICCL)*. Obtenido de <http://www.iccl.es/>
- Instituto Geográfico Nacional. (1 de enero de 2023). *Patrimonio Natural y Cultural*. Obtenido de [https://www.ign.es/espmap/mapas\\_patri\\_bach/pdf/Patri\\_Mapas\\_01\\_texto.pdf](https://www.ign.es/espmap/mapas_patri_bach/pdf/Patri_Mapas_01_texto.pdf)
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Atlas Nacional de España*. Obtenido de Clima: <https://atlasnacional.ign.es/wane/Clima>
- Instituto Nacional de Estadística. (2023). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de [ine.es](http://ine.es)
- Junta de Andalucía. (2020). *Paisajes de Andalucía*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.
- Junta de Andalucía. (2022). *Santuario Nuestra Señora del Rocío*. Obtenido de Web Oficial de Turismo de Andalucía: <https://www.andalucia.org/es/el-rocio-turismo-cultural-santuario-nuestra-senora-del-rocio>
- Junta de Andalucía. Consejería de Turismo, Cultura y Deporte. (2022). *Flamenco, Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad*. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/turismoculturaydeporte/areas/cultura/flamenco/patrimonio-cultural-inmaterial.html#:~:text=La%20UNESCO%20incluy%C3%B3al%20Flamenco,16%20de%20noviembre%20de%202010.>
- Kajjoba, D., Kasedde, H., Olupot, P., & Lwanyaga, J. (2022). Evaluation of thermal comfort and air quality of low-income housing in Kampala City, Uganda. *Energy and Built Environment* 3 (4), 508-524, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.05.007>.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3), 259-263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130
- La Voz de Almería. (2023). *Cuevas del Almanzora*. Obtenido de <https://www.lavozdealmeria.com/noticia/3/provincia/263833/cuando-el-nivel-del-rio-almanzora-fue-7-veces-mayor-que-el-caudal-medio-del-ebro>
- Laib, I., Hamidat, A., Haddadi, M., Ramzan, N., & Olabi, A. (2018). Study and simulation of the energy performances of a grid-connected PV system supplying a residential house in north of Algeria. *Energy* 152, 445-454, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.157>.
- Lizana, J., López-Cabeza, V., Renaldi, R., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C., & Galán-Marín, C. (2022). Integrating courtyard microclimate in building performance simulation to mitigate

- extreme urban heat impacts. *Sustainable Cities and Society* 78, 103590, <http://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103590>.
- Mallea, M., Igiñiz, L., & Diego, M. (2018). Passive hygrothermal behaviour and indoor comfort concerning the construction evolution of the traditional Basque architectural model. Lea valley case study. *Building and Environment* 143, 496-512, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.041>.
- Mangkut, R., Tresna, D., Hermawan, I., Pradipta, J., Jamala, N., Paramita, B., & Atthailah. (2024). Experiment and simulation to determine the optimum orientation of building-integrated photovoltaic on tropical building façades considering annual daylight performance and energy yield. *Energy and Built Environment* 5 (3), 414-425, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.01.002>.
- Manzano-Agugliario, F., Montoya, F., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable* , 736-755, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.
- Marín, J., & Molina, M. (2009). *Guía Oficial del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar*. Almuzara, SL.
- Mauri, L. (2016). Feasibility Analysis of Retrofit Strategies for the Achievement of NZEB Target on a Historic Building for Tertiary Use. *Energy Procedia* 101, 1127-1134, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.153>.
- Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. Gobierno de España. (28 de diciembre de 2022). *BOE 155/1989, de 30 de junio*. Obtenido de Instrumento de Ratificación del Convenio para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa: <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1989-15166>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (16 de diciembre de 2022). *Río Almanzora*. Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/caminos-naturales/detalle\\_punto\\_interes.aspx?tcm=tcm:30-549648&id\\_camino=051000&topologia=Hidrograf%C3%ADa&origen=Destacados](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/caminos-naturales/detalle_punto_interes.aspx?tcm=tcm:30-549648&id_camino=051000&topologia=Hidrograf%C3%ADa&origen=Destacados)
- Ministerio de Cultura y Deporte. (31 de diciembre de 2023). *Anuario de Estadísticas Culturales*. Obtenido de <https://www.cultura.gob.es/dam/jcr:064b0e90-877b-4fb3-a2c2-ab17f126632d/patrimonio-2022.pdf>
- Ministerio de Cultura. Gobierno de España. (28 de diciembre de 2022). *Patrimonio Mundial*. Obtenido de <https://www.cultura.gob.es/cultura/areas/patrimonio/mc/patrimoniomundial/presentacion.html> Presentación:
- Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. Gobierno de España. (2002). *Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2009). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2013). *CTE DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Ahorro de Energía*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *CTE DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Ahorro de Energía*.
- Oneclick Granada. (2022). *Entradas para la Alhambra*. Obtenido de <https://www.alhambra-entradas.org>

- Ordóñez, A. (2019). *Modelos de Confort*. Obtenido de Seiscubos: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/modelos-de-confort>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago (Chile): (LC/G. 2681-P/Rev. 3).
- Ortega, J., Graça, V., & Rodrigues, H. (2019). A vulnerability index formulation for the seismic vulnerability assessment of vernacular architecture. *Engineering Structures*, 109381, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109381>.
- Ozarisoy, B., & Altan, H. (2021). Bridging the energy performance gap of social housing stock in south-eastern Mediterranean Europe: Climate change and mitigation. *Energy and Buildings* 258, 111687.
- Ozarisoy, B., & Altan, H. (2021). Systematic literature review of bioclimatic design elements: Theories, methodologies and cases in the South-eastern Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 250, 111281, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111281>.
- Passi, A., Nagendra, S., & Maiya, M. (2022). Evaluation of comfort perception of passengers in urban underground metro stations. *Energy for Sustainable Development* 68, 273-288, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.04.003>.
- Patronato de Turismo de Almería. (2004). *Patronato de Turismo de Almería*. Obtenido de Diputación de Almería: <https://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/Anexos.nsf/folletosturismo?ReadForm>
- Philokyprou, M. (2023). Environmental Features of Vernacular Architecture: The Case of Cyprus. *Athens Journal of Architecture* 9 (2), 201-226, <https://doi.org/10.30958/aja.9-2-4>.
- Philokyprou, M., Michael, A., & Malaktou, E. (2021). A typological, environmental and socio-cultural study of semi-open spaces in the Eastern Mediterranean vernacular architecture: The case of Cyprus. *Frontiers of Architectural Research* 10 (3), 483 - 501, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.03.001>.
- Philokyprou, M., Michael, A., Malaktou, E., & Savvides, A. (2017). Environmentally responsive design in Eastern Mediterranean. The case of vernacular architecture in the coastal, lowland and mountainous regions of Cyprus. *Building and Environment* 111, 91-109, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.010>.
- Pisello, A., Petrozzi, A., Castaldo, V., & Cotana, F. (2014). Energy refurbishment of historical buildings with public. *Energy Procedia* 61, 660-663, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.937>.
- Pisello, A., Petrozzi, A., Castaldo, V., & Cotana, F. (2016). On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: Thermal-energy, economic and environmental analysis of a case study. *Applied Energy* 162, 1313-1322, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.061>.
- Portal Ambiental de Andalucía. (2021). *Portal Ambiental de Andalucía*. Obtenido de [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset\\_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/parque-natural-sierra-nevada-5/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/parque-natural-sierra-nevada-5/20151)
- Posani, M., Veiga, R., & Freitas, V. (2023). Post-Insulating traditional massive walls in Southern Europe: A moderate thermal resistance can be more effective than you think. *Energy and Buildings* 295, 113299, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113299>.

- Qian, W., & Li, X. (2023). A cold island connectivity and network perspective to mitigate the urban heat island effect. *Sustainable Cities and Society* 94, 104525, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104525>.
- Real Academia Española (RAE). (2003). *Diccionario Panhispánico del español jurídico*. Obtenido de <https://dpej.rae.es/>
- Revista Viajeros (2017). *ViajeroS*. Obtenido de <https://www.revistaviajeros.es/viajes/rutas/almeria-sierra-de-los-filabres>
- Rodrigo, R. (2010). *Sequeros Conjunto Histórico*.
- Ruiz, A. (2008). *Guías de Almería nº6. Serie Municipios. La ciudad de Almería*. Almería: Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería.
- Sáez-Pérez, M., & García-Ruiz, L. (2020). Structural characterisation and numerical assessment of seismic damage of the Cortijo del Fraile Farmhouse in Níjar (Almería). *Dyna Ingeniería e Industria* 95, 252-260, <http://dx.doi.org/10.6036/9582>.
- Sáez-Pérez, M., García-Ruiz, L., Durán-Suárez, J., Castro-Gomes, J., Martínez-Ramírez, A., & Villegas-Broncano, M. (2023). Comparative Analysis of Thermal Behavior in Different Seasons in Building Heritage: Case Study of the Royal Hospital of Granada. *Buildings* 13 (2), 13123048, <https://doi.org/10.3390/buildings13123048>.
- Salameh, A., Amin, S., Danish, M., Asghar, N., Naveed, R., & Munir, M. (2022). Socio-economic determinants of subjective wellbeing toward Sustainable Development Goals: An insight from a developing country. *Frontiers y Psychology* 13, 961400, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.961400>.
- 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>.
- Taleghani, M., Swan, W., Johansson, E., & Ji, Y. (2021). Urban cooling: Which façade orientation has the most impact on a microclimate? *Sustainable Cities and Society* 64, 102547, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102547>.
- Thravalou, S., & Philokyrou, M. (2021). Urban design considerations in the environmental assessment of vernacular buildings with timber projections (sachnisi): The case of Nicosia's historic center. *Frontiers of Architectural Research* 10, 176-189, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.001>.
- Timur, B., Basaran, T., & Ipekoglu, B. (2022). Thermal retrofitting for sustainable use of traditional dwellings in Mediterranean climate of southwestern Anatolia. *Energy and Buildings* 256, 111712, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111712>.
- Tour por la Mezquita de Córdoba. (28 de diciembre de 2022). *Entradas Mezquita de Córdoba*. Obtenido de <https://www.mezquita-cordoba.com/>
- Turismo de Mérida. (2017). *Teatro Romano*. Obtenido de <https://turismomerida.org/que-ver/teatro-romano/>
- UNESCO. (1968). *Recomendación sobre la Conservación de los Bienes Culturales que la Ejecución de Obras Públicas o Privadas pueda poner en Peligro*. París, Francia: UNESCO. Obtenido de <https://www.unesco.org/es/legal-affairs/recommendation-concerning-preservation-cultural-property-endangered-public-or-private-works>
- UNESCO. (2009). *UNESCO World Heritage Convention*. Obtenido de <https://whc.unesco.org/>

- Unión Europea. (2010). *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo*. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- Vicepresidencia Tercera del Gobierno y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*. Obtenido de <https://www.aemet.es/>
- Villalobos, M. (2003). *Geología del entorno árido almeriense*. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Wang, C., Li, C., Xie, L., Wang, X., Chang, L., Wang, X., Li, H.X. & Liu, Y. (2023). Thermal environment and thermal comfort in metro systems: A case study in severe cold region of China. *Building and Environment* 227, 109758, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109758>.
- Xiong, J., Guo, S., Wu, Y., Yan, D., Xiao, C., & Lu, X. (2023). Predicting the response of heating and cooling demands of residential buildings with various thermal performances in China to climate change. *Energy* 269, 126789, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126789>.
- Zhai, Z., & Helman, J. (2019). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society* 44, 511-519, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.043>.







