

Pilar Chías y Tomás Abad (dirs.)

# Habitar los hospitales: el bienestar más allá del confort

Nuevas tendencias en arquitectura sanitaria

Inhabiting Hospitals: Welfare Beyond Comfort

New Trends in Healthcare Design



*Habitar los hospitales: el bienestar más allá del confort. Nuevas tendencias en arquitectura sanitaria*  
*Inhabiting Hospitals: Welfare Beyond Comfort. New Trends in Healthcare Design*

Pilar Chías y Tomás Abad (dirs.)  
Universidad de Alcalá, Madrid, España  
ISBN: 978-84-18254-30-7

Palabras clave (español e inglés)

1. Arquitectura sanitaria. 2. Nuevas tendencias en el diseño hospitalario. 3. Diseño centrado en el usuario. 4. Humanización de los procesos sanitarios y bienestar. 5. Gestión hospitalaria y BIM. 6. Eficiencia energética. 7. Navegación y señalización. 8. Iluminación biodinámica. 9. Unidad de Cuidados Intensivos. 10. Unidad NRBQ-Infecciosas. 11. COVID19. 12. Hospital de contingencia.

1. Healthcare Architecture. 2. New trends in hospital design. 3. Users' centered design. 4. Humanisation and wellbeing in healthcare procedures. 5. Hospital management and BIM. 6. Energy efficiency. 7. Wayfinding and signalling. 8. Biodynamic lighting. 9. Intensive Care Unit. 10. CBRN-Infectious Unit. 11. COVID19. 12. Contingency hospital.

Este volumen reúne una parte de los resultados del Proyecto de investigación *Metodología para la evaluación del confort, condiciones ambientales y funcionalidad espacial de los centros hospitalarios y su entorno, y propuestas de adecuación a nuevos conceptos asistenciales*, del Plan Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad, Programa Estatal de I+D+i Orientado a los Retos de la Sociedad (BIA2016-78893-C3-1-R). Incluye aportaciones de investigadores comprometidos con la innovación en la arquitectura sanitaria, constituyendo una red científica internacional.

De esta manera contribuye, de forma esencial, a la transferencia del conocimiento a la sociedad.

El contenido de este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor.  
Todos los derechos reservados.

© Universidad de Alcalá, 2021  
Editorial Universidad de Alcalá  
Plaza de San Diego, s/n 28001, Alcalá de Henares  
www.uah.es

DIRECTORES: Pilar Chías y Tomás Abad

EDITOR: Tomás Abad

AUTORES: Tomás Abad, Ignacio Acosta, Pilar Cadenas, Laura Cambra-Rufino, Flavio Celis, Pilar Chías, Santiago Coca, Antonio Conde, Fernando da Casa, Anna Delcampo, Manuel de Miguel, Samuel Domínguez-Amarillo, Patricia Domínguez, Ernesto Echeverría, Lucas Fernández-Trapa Chías, Gonzalo García-Rosales, Aurora Galán, Alberto Jorge Camacho, Jorge Llopis, Paz Llorente, Jaime López, Mónica Martínez, Francisco Maza, Francisco Javier Membrillo, Ángela Müller, Fernando Noguerales, José León Paniagua-Caparrós, Marta Parra, Juan José Pérez Blanco, Diego Rodríguez Puyol, Juan José Sendra, Juan Serra, Ana Torres, Elisa Valero, Francisca Vaquero

IMAGEN DE CUBIERTA: Pilar Chías

DISEÑO Y MAQUETACIÓN DE CUBIERTA E INTERIOR: Pilar Chías

EDICIÓN: Editorial Universidad de Alcalá  
ISBN: 978-84-18254-30-7  
DEPOSITO LEGAL: M-3738-2021

© DE LOS TEXTOS: los autores

© DE LAS IMÁGENES: las instituciones, archivos, bibliotecas y centros de documentación que se citan

# Índice

# Table of contents

<b>PRÓLOGO</b>	XI
José Vicente Saz Pérez. Rector de la Universidad de Alcalá	
<b>PILAR CHÍAS y TOMÁS ABAD.</b> Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá	2
Retos actuales en el diseño de la arquitectura sanitaria <i>Current Challenges in Healthcare Architectural Design</i>	
<b>MANUEL DE MIGUEL SÁNCHEZ.</b> Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá. <b>M. PAZ LLORENTE ZURDO.</b> Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid	64
El poder curativo del arte: Una revisión de experiencias terapéuticas artísticas en hospitales <i>The Healing Power of Art: A Review of Art Therapy in Hospitals</i>	
<b>ANA TORRES BARCHINO y ANNA DELCAMPO CARDÁ.</b> Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia	80
El buen hospedaje. El color en los espacios para el bienestar <i>The Good Hostage. Colour in Spaces for Wellbeing</i>	
<b>LUCAS FERNÁNDEZ-TRAPA CHÍAS.</b> Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Fachbereich bauen-kunst-werkstoffe, Architektur, Hochschule Koblenz	96
Espacios para la salutogénesis. Atmósferas y percepciones <i>Spaces for Salutogenesis. Atmospheres and Perceptions</i>	
<b>JUAN JOSÉ SENDRA, IGNACIO ACOSTA y SAMUEL DOMÍNGUEZ-AMARILLO.</b> Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla	112
Luz, salud y bienestar en la arquitectura hospitalaria: la iluminación biodinámica para fomentar la regulación del ritmo circadiano <i>Light, Health and Wellbeing in Healthcare Architecture: Biodynamic Lighting to Increase Circadian Rhythm Regulation</i>	

GONZALO <b>GARCÍA-ROSALES</b> . Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá	128
La señalética en los centros hospitalarios. Sistemas tradicionales y nuevas tecnologías	
<i>Wayfinding in healthcare facilities. Traditional systems and new technologies</i>	
AURORA <b>GALÁN HERGUETA</b> . Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid	140
Resiliencia y bienestar en el diseño de hospitales	
<i>Resilience and Wellbeing in Hospital Design</i>	
DIEGO <b>RODRÍGUEZ PUYOL</b> . Universidad de Alcalá. Hospital Universitario Príncipe de Asturias	
FRANCISCA <b>VAQUERO SANCHO</b> . Hospital Universitario Príncipe de Asturias	150
La interacción de los arquitectos con los profesionales de la medicina: el ejemplo de la construcción de una unidad de diálisis	
<i>Architects and Medical Professional interaction: About the Construction of a Dialysis Unit</i>	
FERNANDO <b>NOGUERALES FRAGUAS</b> . Universidad de Alcalá. Hospital Universitario Príncipe de Asturias	158
El Bloque Quirúrgico (BQ): su importancia en el diseño de un hospital	
<i>The Surgical Block: Its Importance in Hospital Design</i>	
LAURA <b>CAMBRA-RUFINO</b> . Universidad Politécnica de Madrid	
JOSÉ LEÓN <b>PANIAGUA-CAPARRÓS</b> . Instituto de Salud Carlos III, Madrid	174
Evaluación de la arquitectura hospitalaria: Unidad de Cuidados Intensivos	
<i>Hospital Architecture Evaluation: Intensive Care Unit</i>	
MARTA <b>PARRA</b> y ÁNGELA <b>MÜLLER</b> . Parra-Müller Arquitectura de Maternidades	188
Espacios de maternidad: dignidad y salud	
<i>Dignity and Healthcare in Maternity Areas Design</i>	
ELISA <b>VALERO RAMOS</b> . Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Granada	208
El hospital pediátrico, un reto singular	
<i>The Pediatric Hospital, A Singular Challenge</i>	

JORGE <b>LLOPIS VERDÚ</b> y JUAN <b>SERRA LLUCH</b> . Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia	220
Las arquitecturas del aislamiento. Lazaretos y leprosarios <i>Architectures of Isolation: Lazarettos and Leprosaria</i>	
SANTIAGO <b>COCA MENCHERO</b> . Universidad de Alcalá FRANCISCO JAVIER <b>MEMBRILLO</b> y PILAR <b>CADENAS</b> . Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla» ANTONIO <b>CONDE ORTIZ</b> . Inspector General de Sanidad de la Defensa	240
Unidad de Aislamiento de Alto Nivel (UAAN) del Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla» (HCDGU) <i>High Level Isolation Unit (UAAN) in the Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla» (HCDGU)</i>	
ALBERTO <b>JORGE CAMACHO</b> y JAIME <b>LÓPEZ VALDÉS</b> . Chile 15 arquitectos JUAN JOSÉ <b>PÉREZ BLANCO</b> . Coordinador del Hospital Covid-19 IFEMA	250
El Hospital COVID-19 de IFEMA <i>COVID-19 Hospital in IFEMA</i>	
FLAVIO <b>CELIS D'AMICO</b> , ERNESTO <b>ECHVERRÍA VALIENTE</b> , FERNANDO <b>DA CASA MARTÍN</b> y PATRICIA <b>DOMÍNGUEZ GÓMEZ</b> . Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá	266
Arquitectura y eficiencia energética en la rehabilitación de hospitales. Cuatro ejemplos prácticos <i>Architecture and Energy Efficiency in Hospital Rehabilitation. Four Practical Examples</i>	
FERNANDO <b>DA CASA MARTÍN</b> , ERNESTO <b>ECHVERRÍA VALIENTE</b> , FLAVIO <b>CELIS D'AMICO</b> y MÓNICA <b>MARTÍNEZ MARTÍNEZ</b> . Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá	288
BIM como herramienta de gestión integral en la explotación hospitalaria. Posibilidades y limitaciones <i>BIM as a Tool for Integral Management in Hospital Operation. Possibilities and Limitations</i>	
FRANCISCO <b>MAZA VÁZQUEZ</b> . Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá	304
Levantamiento con Láser Escáner 3D. Procesos de documentación y análisis <i>Survey with a 3D Laser Scanner. Documentation and Analysis Processes</i>	





**Hospital Principe Asturias**  
 Año de construcción 1986  
 nº Camas 507  
 Superficie 92.066 m<sup>2</sup>  
 V/A COMPACTAD 3,78



# ARQUITECTURA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA REHABILITACIÓN DE HOSPITALES. Cuatro ejemplos prácticos

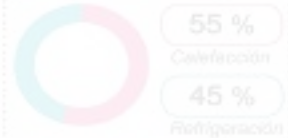
## Architecture and Energy Efficiency in Hospital Rehabilitation. Four Practical Examples

CASO 4 - MIVIC

U<sub>v</sub> 0,39 W/m<sup>2</sup>-K  
 U<sub>c</sub> 0,35 W/m<sup>2</sup>-K  
 U<sub>v</sub> 1,80 W/m<sup>2</sup>-K  
 K 0,51 W/m<sup>2</sup>-K

68,53 Kwh/m<sup>2</sup>

55 % Calefacción  
 45 % Refrigeración



-5,85 Kwh/m<sup>2</sup> p. ventanas  
 14,70 Kwh/m<sup>2</sup> g. ventanas  
 -18,25 Kwh/m<sup>2</sup> p. muros / cubierta

12.445,03 Kwh/cama

10%

Gran parte del parque hospitalario español está constituido por edificios construidos en épocas donde las cuestiones relativas a la eficiencia energética y la sostenibilidad no eran tenidas en cuenta. En los últimos años, a la necesidad de rehabilitar dichos conjuntos desde el punto de vista funcional, se añade la necesidad de mejora de sus prestaciones energéticas. La complejidad del problema implica múltiples variables, desde cuestiones de organización funcional hasta la eficiencia de los equipos industriales. En este contexto, la componente arquitectónica en relación a las envolventes y a los sistemas constructivos resulta determinante en dicha mejora. Para identificar su relevancia, se ha procedido a analizar morfológica y constructivamente cuatro hospitales como objeto de estudio, realizando simulaciones energéticas con software específico y obteniendo, a partir de sus resultados, algunas conclusiones relativas a la implementación de medidas arquitectónicas eficaces en la mejora de su eficiencia energética.

A large part of the Spanish hospital stock consists of buildings constructed in times when the energy efficiency and sustainability were not considered. In recent years, the need to rehabilitate these complexes from a functional point of view is coupled with the need to improve their energy saving. The complexity of the problem implies multiple variables, from questions of functional organization to the efficiency of the industrial equipment. In this context, the architectural component in relation to the enclosures and construction systems is a determining factor in this improvement. To identify their relevance, four hospitals have been analysed morphologically and constructively as objects of study, carrying out energy simulations with specific software and obtaining, from their results, some conclusions regarding the implementation of effective architectural measures to improve their energy efficiency.

Palabras clave: hospitales, arquitectura, rehabilitación, eficiencia energética.

Keywords: Hospitals, architecture, rehabilitation, energy efficiency.

TRANSPARENCIA W/WPK

CONSUMO TOTAL

CONSUMO TÉRMICO C-HR

CALEFACCIÓN

REFRIGERACIÓN

PÉRDIDAS / GANANCIAS

30

20  
10

MÁX  
MEDIA  
NACIONAL  
MÍN

## Hospital de Guadalajara

Año de construcción 1982  
n° Camas 432  
Superficie 58.852 m<sup>2</sup>  
VIA COMPACTAD 3,93



# Flavio Celis D'amico, Ernesto Echeverría Valiente, Fernando Da Casa Martín y Patricia Domínguez Gómez

Escuela de Arquitectura, Universidad de Alcalá

## INTRODUCCIÓN: ARQUITECTURA HOSPITALARIA Y MEDIO AMBIENTE

La arquitectura hospitalaria se ha desarrollado en paralelo a las innovaciones de carácter científico destinadas al control de las pandemias y enfermedades, a la optimización de su funcionamiento y, desde luego, a la propia evolución de las teorías arquitectónicas. Puede decirse que la tipología arquitectónica hospitalaria es el resultado de una combinación de factores funcionales (muy determinantes), pero también del propio desarrollo arquitectónico como disciplina, entendida como mejora constante del habitar humano.

Existen muchas tipologías arquitectónicas de hospitales, pero existe un cierto consenso en reducirlas a cuatro modelos básicos, con sus múltiples variantes y combinaciones: la claustral, la pabellonal, el hospital vertical y el hospital horizontal (López, 2011).

Las estructuras hospitalarias anteriores a la modernidad estaban constituidas básicamente por estructuras claustrales o pabellones aislados. En la primera mitad de siglo xx, la tendencia se decantó hacia el hospital vertical, que agrupaba las circulaciones y permitía desplazamientos más cortos. En los años 60 y 70, este modelo entra en discusión, fundamentalmente por la rigidez de su estructura de funcionamiento. A partir de este momento, se empiezan a ensayar distintas variantes tipológicas, apareciendo hospitales modulares, lineales, o combinaciones de varias tipologías, que buscan el equilibrio entre flexibilización de espacios, compartimentación de usos (clínicos, ambulatorios,

internamiento hospitalario propiamente dicho, instalaciones y servicios) y optimización de recursos y recorridos (Santos, 2003).

La relación entre la tipología hospitalaria y el medio ambiente también ha ido cambiando en la misma medida en la que cambiaban las tipologías arquitectónicas y evolucionaba la tecnología y la construcción. La propia funcionalidad de los edificios hospitalarios hace que la importancia de las cuestiones higiénicas (confort, ventilación, aislamiento) sean parte determinante de su diseño. Un ejemplo característico en el siglo xx fueron los hospitales antituberculosos, donde la configuración arquitectónica buscaba la mejor orientación posible para facilitar el soleamiento en las denominadas «zonas de cura». En el hospital de antituberculoso de Paimio (Alvar Aalto, 1929), se combinaba la tipología del hospital moderno con el aprovechamiento de las condiciones climáticas. Por una parte, la sectorización de usos en bloques interconectados por elementos verticales de comunicación, por otra, la combinación de recorridos verticales y horizontales como sistema de distribución y, por último, la disposición de las fachadas y su diseño para permitir un aprovechamiento del soleamiento tanto en las habitaciones como en los espacios comunes (Ruiloba, 2012). Si bien el estudio de la orientación para permitir una adecuada captación solar o una adecuada ventilación estuvieran motivadas más por razones de carácter terapéutico que energético, es evidente también el efecto de mejora en el confort térmico del edificio, en una sinergia de intenciones que era ya propia de los postulados arquitectónicos del Movimiento Moderno (López, 2011).

La combinación entre un diseño arquitectónico adecuado al medio y una construcción eficiente no será, sin embargo, una opción generalizada hasta la crisis del petróleo de los años 70. Durante mucho tiempo, no existirán ni se exigirán reglamentaciones mínimas sobre aislamiento o transmitancia térmica en los sistemas constructivos, y sólo a partir de los años '80 (en España), se establecerá la necesidad de contener el consumo energético mediante normativas específicas aplicables al sector de la construcción.

La arquitectura hospitalaria en España ha seguido, en términos generales, el mismo camino que en el resto de los países occidentales. Los primeros hospitales modernos datan de principios del siglo xx, como el Hospital Clínico de Madrid (Sánchez Arcas, 1928), pero no es hasta los años '60 cuando se desarrollan las grandes infraestructuras hospitalarias siguiendo el modelo de ciudad hospitalaria que centraliza todos los servicios sanitarios. Poniendo como ejemplo la ciudad de Madrid, en el año 1964 se construyen los hospitales de La Paz y Puerta de Hierro, en el año 1978 el hospital 12 de Octubre y en el año 1977 el Hospital Ramón y Cajal (Pieltaín, 2003).

La tipología arquitectónica de estos hospitales es variada, pero suele tratarse de un sistema de bloques interconectados en donde se ubican múltiples usos, desde los ambulatorios hasta los propiamente hospitalarios. Se trata en su mayor parte de edificios que asumen el concepto de modernidad desde su acepción más funcionalista, y que se resuelven mediante cajas o pastillas que, a partir de los núcleos centrales de comunicación vertical, solventan los problemas de distribución mediante un pasillo central que da acceso a las distintas dependencias. Los espacios más especializados (consultas, diagnosis, quirófanos) se sitúan en las plantas bajas, resolviendo la hospitalización mediante una repetición tipológica de plantas en altura, según el esquema torre-basamento. Se trata de hospitales con una dotación muy elevada de camas, de entre 800 y 1.200, y con superficies (sumando todos los servicios del centro) entorno a las 200.000 m<sup>2</sup>.

Con respecto a la eficiencia energética, estos conjuntos hospitalarios, hasta la entrada en vigor de la norma CT-79, no responden constructivamente a criterios de eficiencia energética. Tampoco se diseñan con una

atención específica al clima, a las orientaciones o al medio ambiente. Sólo existirán algunos pocos ejemplos singulares, como el dispensario antituberculoso de Sert en Barcelona (1935), que trabaja el edificio desde la importancia de la orientación para la captación de la luz y la radiación solar (Díaz, 2017).

A partir de los años 70 y 80, los avances tecnológicos que permiten tiempos menores de hospitalización y la importancia que adquiere la medicina preventiva y ambulatoria, unida a la descentralización administrativa, hacen que paulatinamente se abandonen los grandes proyectos hospitalarios metropolitanos en favor de una red con mayor cobertura geográfica, proporcionada por unidades ambulatorias, centros de salud primaria y hospitales de menor volumen. Aunque se continúa con la construcción de dotaciones hospitalarias en áreas infradotadas, especialmente en la periferia de las grandes urbes (véase como ejemplo el Hospital Universitario Príncipe de Asturias (1986), en Alcalá de Henares), estos nuevos hospitales ya cuentan con una dotación inferior de camas y menor superficie (en el caso del Príncipe de Asturias, 507 camas y 92.066 m<sup>2</sup>).

Los últimos conjuntos hospitalarios, a partir de la década de los '90, van incorporando todas las normativas sobre construcción eficiente. En los últimos años se convierte incluso a la sostenibilidad en el factor fundamental en el diseño de hospitales (Otto, 2017). En otros casos, son las propias administraciones las que han dado pautas para el desarrollo de criterios de diseño eficiente en el desarrollo de proyectos (FENERCOM, 2010).

En paralelo a la construcción de nuevos hospitales, en los últimos años se ha desarrollado de modo muy notable una política de reestructuración de los grandes conjuntos hospitalarios del siglo xx, ya muy obsoletos, que implican reformas integrales con reducción del número de camas, o incluso la demolición total o parcial de alguno de ellos y su práctica sustitución (Hospital Puerta de Hierro en Madrid, Valdecilla en Santander).

De entre los múltiples problemas que presentan estas arquitecturas obsoletas (instalaciones ineficientes, falta de adecuación a las normativas técnicas y constructivas actuales, falta de adecuación a las normativas de seguridad, evacuación o incendios, mala señalización, habitabilidad deficiente..) uno de los problemas de mayor trascendencia es precisamente el elevado consu-



mo energético, a causa de una fuerte demanda térmica, producida por una doble combinación de factores: una arquitectura proyectada sin una correcta adecuación al clima local y una ejecución constructiva deficiente en relación a la conservación de la energía.

## ARQUITECTURA HOSPITALARIA Y CONSUMO ENERGÉTICO

El problema que usualmente se plantea en las relaciones entre arquitectura hospitalaria y eficiencia energética deriva de la complejidad y heterogeneidad de los elementos y sistemas involucrados. En la mayor parte de edificios, los gastos energéticos considerados se suelen dividir en gastos térmicos, generados por la demanda de energía necesaria para alcanzar los niveles de confort exigibles, y las demandas internas de energía, que cubren todas aquellas actividades funcionales que se realizan en los propios edificios (iluminación, gasto de equipos eléctricos, ACS, etc.).

En los edificios residenciales esta división es conceptualmente muy clara, pero en edificios más complejos, como los hospitales, existen muchas más variables a ser tenidas en cuenta. Por ejemplo, la climatización no es sólo un problema de confort térmico, en algunas áreas como los bloques quirúrgicos o las UCI, se necesitan temperaturas y controles de humedad muy exigentes y estables, además de un control, tratamiento y renovación de aire específico. Por otra parte, las condiciones de uso son también muy variadas, dado que dentro de un mismo edificio se combinan usos de 24 horas/7 días semana, como las áreas de hospitalización y urgencias, compatibles con otros usos en jornadas de 8 horas/5 días semana, como las zonas de consulta ambulatoria u oficina.

Hay que tener además en cuenta la obsolescencia y heterogeneidad del parque hospitalario edificado, con edificios de muy distintas épocas y por tanto con sistemas constructivos e instalaciones muy dispares, con volúmenes y tamaños distintos y con conceptos tipológicos diferentes que afectan a cada uno de los parámetros que miden su eficiencia energética, algunos tan determinantes como su compactidad (Sartorio, 1999).

Esto hace que, en realidad, sea necesario estudiar de forma pormenorizada cada centro para poder llegar a

cuantificar de una forma adecuada los balances energéticos de ganancias y pérdidas. En todo caso, esto no deja de ser un principio fundamental de las intervenciones en eficiencia energética en edificios a rehabilitar (Luxan, 2010).

Cuantificar, aunque sea de modo generalista, la dimensión del problema resulta fundamental para poder acotar un marco de referencia de demanda energética sobre el que poder abordar los estudios más específicos sobre cada conjunto edificado en relación a los datos globales.

Numerosos estudios han analizado el consumo energético en la arquitectura sanitaria. El IDAE estima que el parque hospitalario español supone un 2% del gasto en luz, agua y gas que se produce en España. En total, en el año 2016, el consumo energético de los hospitales ascendía al 1,30% del consumo total nacional (IDAE, 2018).

La evolución del gasto ha coincidido con el desarrollo del ciclo económico. Durante los peores años de la última crisis, del 2007 al 2013, el gasto prácticamente se ha estancado, pero a partir de 2013, con la puesta en marcha de nuevas infraestructuras y la recuperación de algunas prestaciones perdidas, ha habido un significativo aumento del gasto energético en el sector hospitalario en términos absolutos.

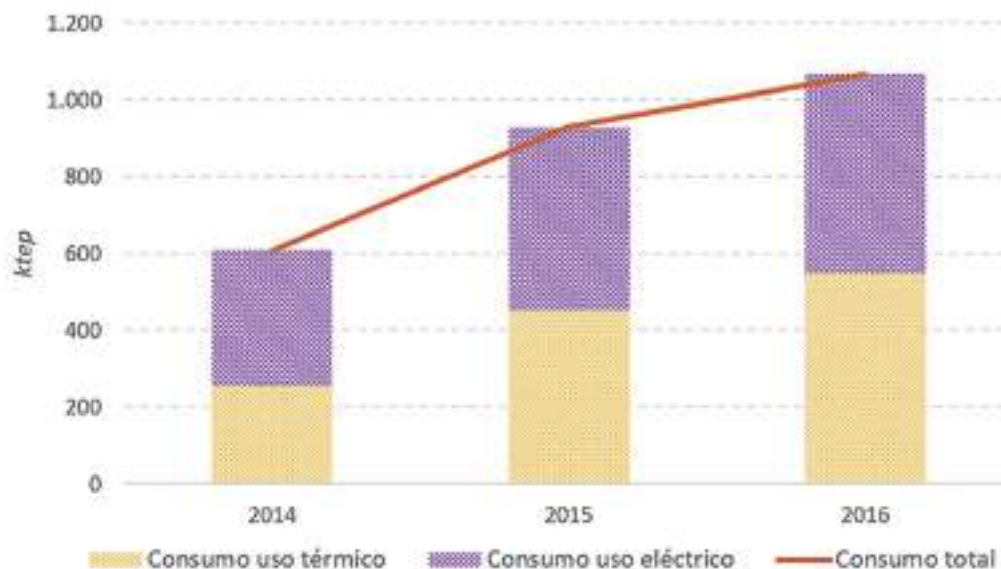
Estos consumos se dividen en consumos para uso térmico y para uso eléctrico. En ambos casos, se puede observar un aumento sostenido de los mismos (Figura 1).

España tiene un total de 788 hospitales, que suman 157.665 camas. Los hospitales de titularidad pública son 323 y dan un servicio de 105.239 camas.

El tamaño de los hospitales se mide en función del número de camas. Así, se observa que el 72% de los hospitales tienen menos de 200 camas, mientras que los grandes complejos hospitalarios (de más de 1000 camas) suponen tan sólo un 2% del total. Los tamaños intermedios se corresponden con un 7% de hospitales de 200 a 500 camas y un 19% de hospitales de 500 a 1000 camas.

El número de camas es clave en el estudio energético de los edificios hospitalarios. El valor de referencia se expresa en kWh/cama. Según datos del IDAE de 2011

Figura 1. Consumo de energía final en hospitales españoles (Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDAE).



(INE, 2018), los consumos energéticos medios se situarían en los 22.000 Kwh/cama para el consumo eléctrico, y entre los 15.000 y los 21.000 Kwh./cama para los consumos térmicos, dependiendo de las zonas climáticas, más altos en la zona continental y más bajos en las zonas de clima mediterráneo. Se observa también un ligero decrecimiento en dichos consumos a partir del año 2009, debido seguramente a la implementación de medidas de eficiencia energética o al aumento del peso específico sobre el total de edificios de nueva planta, más eficientes.

Algunos otros estudios corroboran estas cifras, con pequeñas variaciones. En un estudio de campo realizado en 2009 sobre 18 hospitales de distinto tamaño construidos en España entre 1980 y 2005 (Gómez, 2017), se cuantificó el gasto energético medio en 34.609 Kwh/cama y un ratio de consumo por unidad de superficie de 271,69 kWh/m<sup>2</sup>. Este estudio también demostró que el gasto energético por cama hospitalaria es bastante lineal, por lo que no existen grandes diferencias entre hospitales con mayor o menor número de camas. También es cierto que el rango temporal de hospitales elegidos en la muestra ya contaba con algún tipo de normativa térmica en la edificación en el momento de su construcción.

Considerando que el consumo térmico es aproximadamente un 45% del total del gasto energético de un

hospital, los consumos medios se situarían en 15.574 Kwh/cama y los consumos por unidad de superficie en los 122,26 Kwh/m<sup>2</sup>, estando en el rango inferior de los datos del IDAE. En el rango superior de demanda (21.000 Kwh/cama), el consumo medio por unidad de superficie se situaría en 164,85 Kwh/m<sup>2</sup>.

Es muy posible que los consumos térmicos sean algo más elevados en los hospitales grandes, condicionados por su antigüedad, y que los hospitales medianos mejoren su rendimiento por ser más recientes y por tanto más eficientes. Lo mismo puede decirse con respecto a aquellos edificios que hayan sido rehabilitados con medidas de ahorro energético (García *et al.*, 2009).

## METODOLOGÍA Y PROBLEMÁTICA

Los estudios de gasto energético en hospitales se han desarrollado básicamente mediante dos procedimientos.

El primer procedimiento se basa en el control del gasto de energía consumida, intentando diferenciar entre energía eléctrica consumida para equipos (iluminación, ofimática, etc.), energía para ACS y energía para consumo térmico (eléctrica o de otras fuentes). Del cruce de estos datos de consumo en distintos estudios resulta una distribución media de gasto de energía de un 45%

para consumo térmico, un 35% para iluminación y equipos, y un 20% para generación de ACS.

El procedimiento tiene la ventaja de ser bastante objetivo si se dispone de una buena información de la distribución del gasto por sectores, pero tiene el inconveniente de ser un dato estático, esto es, no relaciona el gasto con ningún parámetro que influye en dicho consumo.

El otro procedimiento tiene que ver con sistemas de simulación energética mediante software específico. Tiene la ventaja de ser un procedimiento dinámico, puesto que hace depender la demanda de múltiples parámetros, y es por tanto un método muy eficaz a la hora de apreciar las variaciones en los datos de consumo y demanda al introducir distintas variables. Se trata de un sistema muy eficaz a la hora de implementar medidas correctoras para mejorar la eficiencia energética y poder obtener resultados comparables (Prieto, 2017).

Tiene además la gran ventaja de ser un procedimiento personalizado, esto es, singulariza cada edificio, su problemática constructiva y su relación con el clima en el que se encuentra, uno de los primeros requisitos de trabajo en arquitectura sostenible.

Sin embargo, es un procedimiento que no está exento de problemas. Por una parte, la recopilación de datos a introducir en el sistema, lo que implica un conocimiento profundo del edificio y de sus instalaciones. La recopilación de estos datos no es a menudo fácil ni sencilla, dado que tiene que ver con la propia geometría del centro, con sus elementos constructivos y con el diseño de sus instalaciones. Dicha información no está a veces disponible y puede ser contradictoria y variable, dependiendo de las intervenciones que se hayan realizado sobre el edificio original. La constatación empírica de algunos datos puede necesitar intervenciones mediante catas o sistemas de testeo invasivos, a veces incompatibles con la actividad clínica.

Por otra parte, los propios sistemas de software empleados, con distintos sistemas de cálculo y dependientes del número y de la calidad de los parámetros introducidos, pueden producir resultados divergentes. Algunos programas pueden resultar extremadamente simples, con muchas limitaciones a la hora de introducir datos,

y otros extremadamente complejos, precisamente por todo lo contrario, al requerir mucha información manejada en un entorno poco amigable. Algunos programas trabajan sólo con las condiciones constructivas, y otros incluyen las instalaciones (equipos de iluminación, climatización, flujos de aire). Algunos otros combinan ambas cuestiones, pero complejizan mucho la toma de datos y la interpretación de los resultados.

Un último problema detectado tiene que ver con la propia definición de los parámetros seleccionados para la simulación. Por ejemplo, cuando se introduce un sistema constructivo en un programa de simulación, éste calcula la transmitancia del elemento de modo automático en sus condiciones óptimas. Sin embargo, ésta no es muchas veces la situación real de uso de dicho elemento. Experiencias empíricas han demostrado que los valores reales de transmitancia, por ejemplo, en muros de envolvente, están influidos por el modo de ejecución (disminución de espesores, mala aplicación de morteros de revestimiento, pérdida de cualidades por deterioros o por el grado de humedad), que restan propiedades a los mismos y que varían su comportamiento térmico (Gavilán, 2015).

Para simplificar el problema, es importante saber cuáles son los parámetros relevantes a tener en cuenta. Algunos estudios han detectado la incidencia en el ahorro energético de parámetros muy específicos. Por ejemplo, en edificios de más de 20 años, exclusivamente la mejora de la envolvente puede suponer un ahorro de un 50% en la demanda térmica (Echeverría *et al.*, 2017).

Obviamente, la mejora de los sistemas eléctricos, de iluminación, el uso de energías renovables o la mejora de la gestión energética y el mantenimiento pueden ayudar también a mitigar los consumos, pero centrar el esfuerzo en aquellos aspectos más fácilmente modificables y verificables parece una estrategia sensata.

De todas formas, incluso restringiendo la simulación a la envolvente del edificio (incorporando también los elementos constructivos interiores para calcular la incidencia de la inercia térmica), hay parámetros significativamente importantes que no se pueden obviar, como la geometría, la compactidad, el rango de uso temporal del edificio, la ocupación y las ganancias internas, así como los ratios de ventilación y las condiciones de temperatura.

Una vez fijados los parámetros determinantes, la interpretación de datos pasa por ir acotando errores, estableciendo un marco de datos plausible, utilizando como referencia los datos globales de los estudios de gasto. Conviene comprobar si los valores resultantes en las simulaciones se sitúan en el rango de los valores esperados, y si las desviaciones son compatibles con los datos obtenidos, por ejemplo, en edificios similares. En algunos estudios se han comparado incluso los resultados obtenidos mediante el uso de distinto software, lo que acota también el rango de resultados (García *et al.*, 2018).

En la aplicación a los casos de estudio desarrollados en la presente investigación, la metodología utilizada puede resumirse en los siguientes puntos:

- Definición del objeto de estudio. Obtención de los datos históricos, planimétricos y constructivos.
- Análisis funcional del edificio, para el establecimiento de unos parámetros de uso (función, ocupación, horarios) relacionados con los tiempos de utilización y los rangos de confort climático exigibles.
- Análisis constructivo del edificio, centrado fundamentalmente en la definición de la envolvente (muros exteriores, cubiertas y ventanas) y de los elementos interiores (forjados y particiones). Obtención de los datos de transmitancia térmica (envolvente) a partir de su composición y del estado de la edificación.
- Estudio del clima local y de las condiciones de microclima.
- Simulaciones del edificio mediante software específico (Ecotec, Revit, Openspace). Para ello, será necesario realizar previamente modelos simplificados de volumetría en 3D.
- Comparación entre los datos de la simulación y los datos de consumo existentes. Cuantificación de las pérdidas y ganancias a través de los elementos constructivos de la envolvente.

Los resultados obtenidos de la demanda energética del edificio tienen como objetivo plantear propuestas de mejora. Dichas mejoras pueden implementarse de modo escalonado o parcial. Esto permite que la gestión de las intervenciones de mejora sea más flexible en lo relativo a los sistemas constructivos, distinguiendo entre

cerramientos masivos, huecos, fachadas o cubiertas.

Cada sistema constructivo implementado implica su evaluación mediante una nueva simulación, tanto de modo autónomo (cada elemento es evaluado singularmente) como acumulativo (cada nuevo elemento se suma al anterior y se simula de modo combinado).

De modo sintético, puede describirse este proceso mediante los siguientes apartados:

- Elaboración de una estrategia de mejora térmica de la edificación. Dicha estrategia orienta la definición de los sistemas constructivos a introducir, como la mejora o introducción del aislamiento, las protecciones solares, la captación solar o la ventilación.
- Elaboración de propuestas de mejora en relación con los datos obtenidos y con las estrategias planteadas, en función de la viabilidad constructiva y económica.
- Nuevas simulaciones, introduciendo las mejoras definidas anteriormente.
- Elección de la estrategia de mejora a partir de los datos obtenidos y elección de una estrategia de gestión de la misma (por fases, por sectores, por tiempos) evaluada en función de la respuesta más eficiente, de la viabilidad constructiva y de las posibilidades económicas.

## CASOS DE ESTUDIO: DATOS GENERALES

Para desarrollar la metodología propuesta se ha procedido al análisis de 4 casos de estudio, 3 hospitales situados en la Comunidad de Madrid (Hospital Ramón y Cajal y Gómez Ulla en Madrid, hospital Príncipe de Asturias en Alcalá de Henares) y uno en Castilla la Mancha (Hospital Universitario de Guadalajara). Se ha evaluado su situación actual en relación a la demanda energética de climatización, y se ha procedido a proponer estrategias de mejora para cada uno de ellos. Además, el estudio permitirá establecer un análisis comparativo entre los distintos edificios, y las distintas posibilidades de actuación.

Se ha utilizado como herramienta de software Open Studio (software de simulación energética en código abierto), con motor de cálculo Energy+. Dada la



	año construcción	nº camas [ud]	Superficie construida (catastro) [m <sup>2</sup> ]	Compacidad (V/A)
H.U. Príncipe de Asturias	1986	507	92.066,0	3,78
H.U. Guadalajara	1982	432	58.852,0	3,93
H. Central de la Defensa Gómez Ulla	1970	475	153.840,0	5,84
H. U. Ramón y Cajal	1978	901	198.306,0	6,90

Tabla 1. Tabla resumen de datos de los casos de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Catastro, del Catálogo de Hospitales de la CAM (2018) y del Catálogo de Hospitales de Castilla-La Mancha (2018).

complejidad de los edificios, las simulaciones se han realizado de modo detallado en las zonas de hospitalización, con características comunes y uso intensivo de 24 horas. Los datos obtenidos por unidad de superficie y unidad de cama, pueden ser comparados entre los distintos edificios, y puestos en relación a los datos relativos generales expuestos anteriormente.

Los datos introducidos se refieren al estado actual de dichos hospitales. Es interesante considerar que muchos de los hospitales han sufrido sustanciales cambios a lo largo de su historia, tanto en sus especificaciones funcionales (especialmente en lo relativo al número de camas actualmente en servicio), como en su materialidad constructiva. El presente estudio se ha realizado con los datos obtenidos entre los años 2017/2019, y se han incorporado los datos de compacidad (Tabla 1).

## Objetivos

Se establecen dos objetivos de estudio:

Objetivo 1: un análisis comparativo del consumo energético en el estado actual entre las zonas de hospitalización de los cuatro hospitales (casos de estudio), siempre en relación a sus envolventes. Las unidades de comparación serán Kwh/m<sup>2</sup> y Kwh/cama.

Objetivo 2: un análisis comparativo entre distintas hipótesis constructivas del mismo hospital. Se comparará su funcionamiento térmico, desde el estado actual (Caso 0), pasando por los distintos estados intermedios de reforma (Caso 1: reforma de los muros de fachada; Caso 2: sustitución de carpinterías; Caso 3: mejora de la cubierta), hasta los resultados obtenidos con la refor-

ma integral de toda la envolvente (Caso 4), basados en criterios de la normativa CTE DB HE. De nuevo, el objetivo es obtener unos valores comparables de Kwh/m<sup>2</sup> y Kwh/cama.

## Definición del volumen de estudio

El análisis se focaliza en los bloques de hospitalización de cada uno de los casos de estudio. Son las zonas con mayor demanda de refrigeración y calefacción, al estar en funcionamiento los 365 días del año, 24h/día.

Una vez determinado el volumen tipo a analizar, en la fase de modelado se tendrán en cuenta las superficies de intersección con otros volúmenes (que se determinarán como superficies adiabáticas) y la superficie equivalente de huecos, obteniendo así un volumen simplificado y manejable.

Para los casos del Hospital Príncipe de Asturias y del Hospital Ramón y Cajal se introducirán también los bloques adyacentes como elementos de sombra (*Surface Shading Groups*), ya que afectan directamente a la captación de energía solar a través de los cerramientos. En el caso de estos hospitales, al estar compuestas las zonas de hospitalización por módulos arquitectónicos repetitivos, se ha procedido a la modelización de un módulo tipo.

## Archivo de datos climáticos EPW

El archivo de datos climáticos es fundamental a la hora de determinar la demanda de calefacción y de refrigeración. Los últimos archivos del CTE (en formato. MET)

son útiles para realizar certificaciones del cumplimiento normativo, pero su esfuerzo en sintetizar los datos hace que se alejen de la realidad de cada zona, además de complicar el proceso por requerir una conversión de MET a EPW.

Por ello, se han aplicado los datos de la base de Energy Plus, donde se encuentran dos variantes dentro del formato EPW:

- Formato IWEW (International Weather for Energy Calculations).
- Formato SWEW (Spanish Weather for Energy Calculations). Se elige esta opción para los análisis.

También podrían ser válidos los datos extraídos de las estaciones de medición nacionales.

En todo caso, existe cierta variabilidad entre los datos climáticos dependiendo de la base de datos utilizada,

por lo que los resultados obtenidos también dependerán de dicha variable. Una de las opciones posibles es realizar simulaciones con datos de distintas bases, y establecer unos rangos de respuesta, en lugar de datos singularizados (Figura 2). En el presente caso, la simulación se ha realizado con la base de datos SWEW.

## Definición constructiva y adecuación normativa

En el software Open Studio se introducen los elementos constructivos mediante la definición de sus capas. En cada capa (material) se especifican los valores que determinarán su comportamiento térmico: conductividad, espesor, densidad, calor específico, etc., Los valores de transmitancia U se obtienen una vez determinado el sistema constructivo de cada elemento (muros, cerramientos, forjados, cubiertas, huecos...).

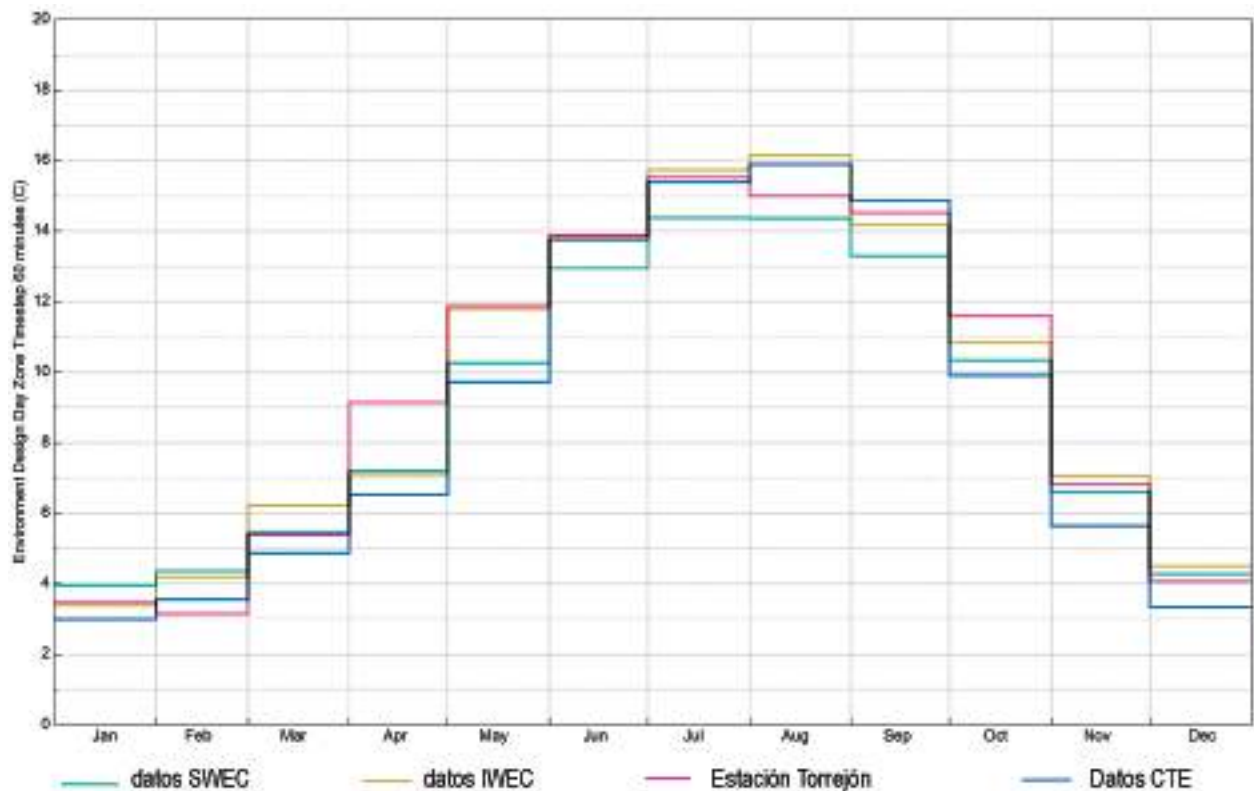


Figura 2. Comparativa de temperaturas medias mensuales según los datos de cuatro archivos diferentes para el clima de Madrid: datos SWEW de la base de datos Energy Plus, datos IWEW de la base de datos Energy Plus, datos meteorológicos de la estación de Torrejón de Ardoz y datos según CTE (Fuente: elaboración propia).

Se establecen cuatro definiciones constructivas para cada hospital, obteniendo así cuatro casos de estudio (caso 0: estado actual; caso 1: mejora de muros de fachada; caso 2: sustitución de carpinterías; caso 3: mejora de cubierta; caso 4: reforma integral de toda la envolvente mediante la colaboración simultánea de todos los casos de mejora).

Las mejoras constructivas de cada elemento (muro de fachada / huecos / cubierta) se regirá por los valores máximos de U establecidos en el CTE DB HE, en su última versión de diciembre de 2019.

Se incorpora además el valor límite K denominado *coeficiente global de transmisión de calor*, que es una media ponderada de las transmitancias térmicas de la envolvente, dependiendo de la compacidad del edificio, que según CTE-DB-HE, es «la relación entre el volumen encerrado por la envolvente térmica (V) del edificio (o parte del edificio) y la suma de las superficies de intercambio térmico de dicha envolvente ( $A = \sum A_i$ )». Se expresa en  $m^3/m^2$ .

La normativa señala que, aunque no se sobrepasen los valores límites U marcados en la tabla 3.1.1.a del DB HE, existe la posibilidad de que no se cumpla con la restricción del valor K, por lo que se debe hacer una doble comprobación de cumplimiento de ambos parámetros (Tabla 2).

La limitación normativa por consumo no se ha tenido en cuenta, dado que se entiende que el nuevo sistema del CTE-HE 2019, implicando energía primaria y factores de conversión, además de la exigencia de combinar los valores de la demanda térmica a otros datos de consumo de energía de otros sectores, está fundamentalmente dirigido a edificios de nueva planta. Pero sobre todo se ha considerado que la operatividad del estudio reside en la rehabilitación arquitectónica y en la mejora

de los sistemas constructivos en relación a la demanda térmica, dejando a parte el estudio de las instalaciones, que por su complejidad y estado, requerirían de un estudio independiente y específico.

## Definición de perfiles de trabajo y cargas internas

Se especifican los horarios y las temperaturas de trabajo de la instalación. Se personaliza un perfil de funcionamiento 24 horas / 365 días al año siguiendo los criterios de confort que marca el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, 2007). Así, para el perfil de calefacción se establece una temperatura media de 22 °C, y en el perfil de refrigeración, 24 °C.

El resto de datos utilizados son:

- Tasa metabólica: 58 W/m<sup>2</sup>.
- Ocupación: 10 m<sup>2</sup>/persona, con ocupación constante al 100%.
- Iluminación y equipos. Energía térmica instalada por metro cuadrado: 12 W/m<sup>2</sup>.
- Horarios de uso: se establecen tres franjas horarias (mañana-tarde-noche) asignando un funcionamiento al 70%-100%-25 %, respectivamente.

## CASOS DE ESTUDIO

### Análisis singulares por centro hospitalario

#### *Hospital Príncipe de Asturias, Alcalá de Henares*

Se trata de un hospital de tamaño medio (507 camas) construido en 1986. El edificio consta de siete plantas con una superficie total construida de 92.066 m<sup>2</sup> (Figura 3).

	Compacidad (VA)	Valor límite K [W/M <sup>2</sup> K]	U MUROS [W/M <sup>2</sup> K]	U CUBIERTA [W/M <sup>2</sup> K]	U VENTANAS [W/M <sup>2</sup> K]
Hospital Universitario Príncipe de Asturias	3,78	0,69	0,41	0,35	1,80
Hospital Universitario Ramón y Cajal	6,90	0,70			
Hospital Universitario de Guadalajara	3,93	0,69			
Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla	5,84	0,70			

Tabla 2. Parámetros de cumplimiento de los valores límite del CTE DB HE 2019.



**Hospital Príncipe de Asturias**  
 Año de construcción 1986  
 nº Camas 507  
 Superficie 92.066 m<sup>2</sup>  
 V/A COMPACTIDAD 3,78

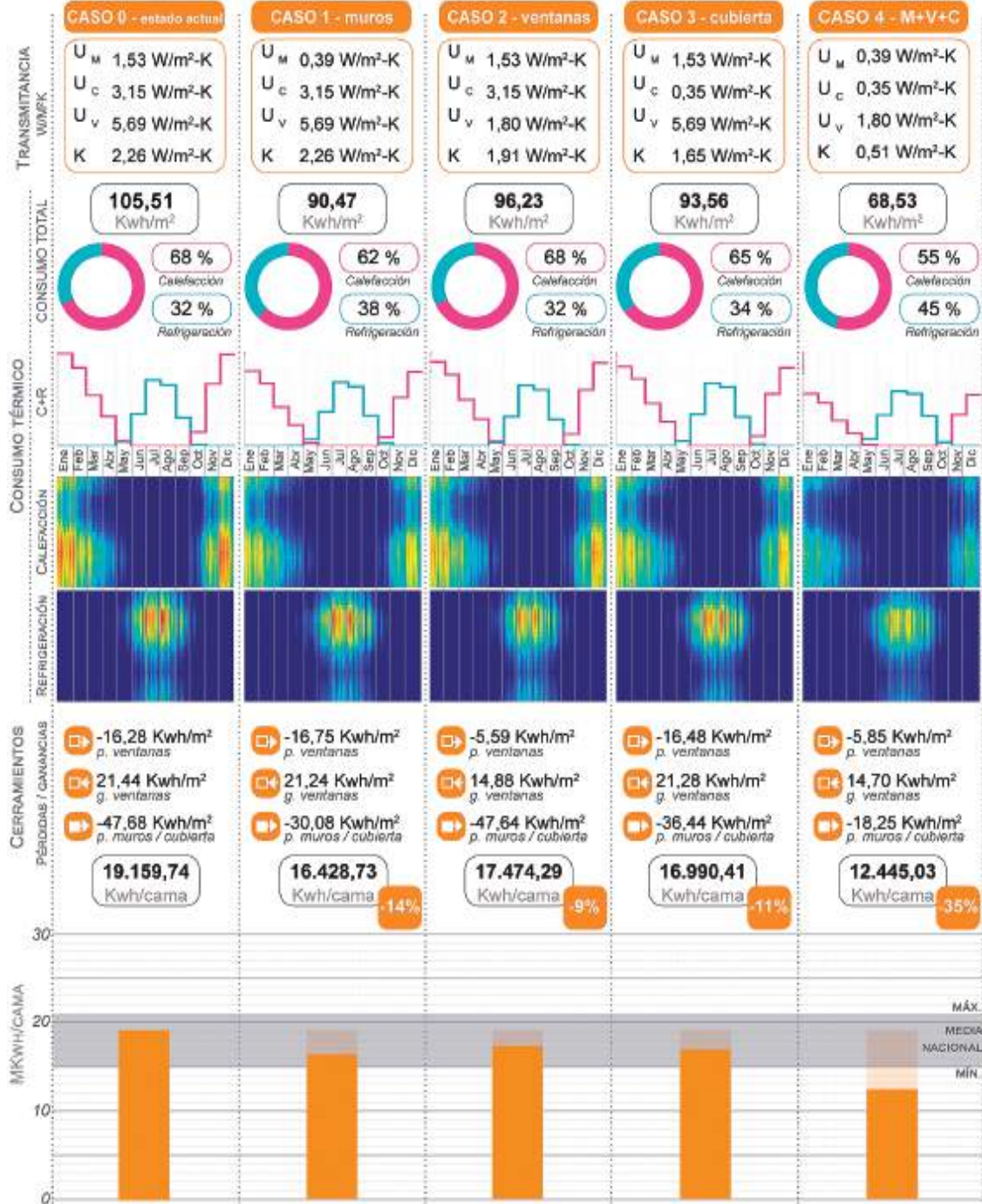
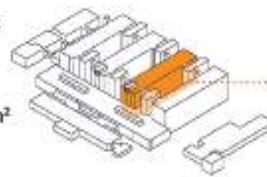


Figura 3. Datos comparativos de demanda energética del H. Príncipe de Asturias para climatización según casos de estudio (Fuente: elaboración propia).



Se trata de un edificio con basamento común que agrupa consultas, diagnóstico, quirófanos y oficinas, y cuatro bloques de hospitalización paralelos entre patios con orientación norte sur, y fachadas longitudinales a Este y Oeste. Esto permite cierta adecuación al medio, ya que las fachadas más extensas tiene soleamiento de mañana y tarde.

Cada bloque de hospitalización es una unidad rectangular bastante compacta, aunque dicha compacidad se pierde en el conjunto al ser un centro compuesto por muchos elementos.

No ha sufrido prácticamente modificaciones constructivas desde su puesta en servicio.

Tiene unos consumos altos por unidad de superficie (105,51 Kwh/m<sup>2</sup>), pero se sitúa en la media en consumo por unidad de cama (19.159,74 Kwh/cama). La mejora de los muros de fachada implicarían un ahorro de un 14 %, la mejora de las carpinterías un 9 % y la mejora de cubiertas un 11 %, con un ahorro global de la demanda de un 35 %. Es uno de los centros más envejecidos, por lo que el potencial de ahorro en rehabilitación es también más alto.

### ***Hospital Universitario de Guadalajara***

Se trata de un hospital de tamaño medio (432 camas) construido en 1982. El edificio consta de once plantas con una superficie total construida de 58.852 m<sup>2</sup> (Figura 4).

Se trata de un edificio en bloque-torre con basamento común rectangular en planta baja, sobre el que se ubican en sentido perpendicular 5 bloques paralelos conectados entre sí, de entre dos y cuatro alturas, con orientación Noroeste-Sureste. En el basamento y en los bloques se alojan las consultas, diagnóstico, quirófanos y oficinas. Uno de los bloques se eleva en torre rectangular sobre el basamento otras nueve plantas, las últimas siete de hospitalización.

La orientación del elemento de la torre de hospitalización, que tiene en conjunto una buena orientación longitudinal, pierde funcionalmente esta ventaja al ubicar las habitaciones de modo simétrico.

Al ser el bloque de hospitalización un elemento unitario, tiene un buen coeficiente de compacidad.

Ha sufrido algunas variaciones constructivas, mejorando, por ejemplo, las carpinterías.

Tiene unos consumos altos por unidad de superficie (103,5 Kwh/m<sup>2</sup>), pero se sitúa actualmente por debajo de la media en consumo por unidad de cama (14.100Kwh/cama), al tener un buen ratio en este concepto.

La mejora de los muros de fachada implicarían un ahorro de un 15 %, la mejora de las carpinterías un 6 % (un ahorro bajo, pero hay que tener en cuenta que dichas carpinterías ya han sido mejoradas) y la mejora de cubiertas un 9 %, con un ahorro global de un 31 %.

### ***Hospital Ramón y Cajal, Madrid***

Se trata de un hospital grande (901 camas) construido en 1978, con numerosas intervenciones posteriores, con una superficie total construida de 198.306 m<sup>2</sup> (Figura 5).

El bloque principal está compuesto de tres torres en T de 15 plantas, unidas por los lados menores y con dos patios interiores. La orientación es Norte-Sur en el sentido longitudinal de cada torre, con lo que las fachadas de mayor longitud tiene una orientación Este-Oeste. Los tres bloques se unen en la parte inferior por un basamento de 5 plantas. La hospitalización se ubica en las plantas superiores de las torres, mientras consultas, diagnósticos y oficinas se encuentran en las plantas de basamento.

La orientación en la mayoría de las plantas de hospitalización es Este u Oeste, con algunas habitaciones con orientación Norte y otras con orientación Sur.

Su forma fraccionada le perjudica en relación a la compacidad del conjunto.

Ha sufrido algunas variaciones en su definición constructiva, tanto en la envolvente como en los huecos de fachada.

Se trata de un edificio que se sitúa actualmente dentro de la media de consumo, con unos ratios de 90,95 Kwh/m<sup>2</sup> y 20.017Kwh/cama.

La mejora de los muros de fachada implicarían un ahorro de un 13 %, la mejora de las carpinterías un 4 % (un ahorro bajo, pero hay que tener en cuenta que







**Hospital Ramón y Cajal**  
 Año de construcción 1978  
 nº Camas 901  
 Superficie 198.306 m<sup>2</sup>  
 V/A <sub>CONSUMO</sub> 6,90



Figura 5. Datos comparativos de demanda energética del H. Ramón y Cajal de Madrid para climatización según casos de estudio (Fuente: elaboración propia).



**Hospital Gómez Ulla**  
 Año de construcción 1970  
 nº Camas 475  
 Superficie 153.840 m<sup>2</sup>  
 VIA COMARCIAL 5,84

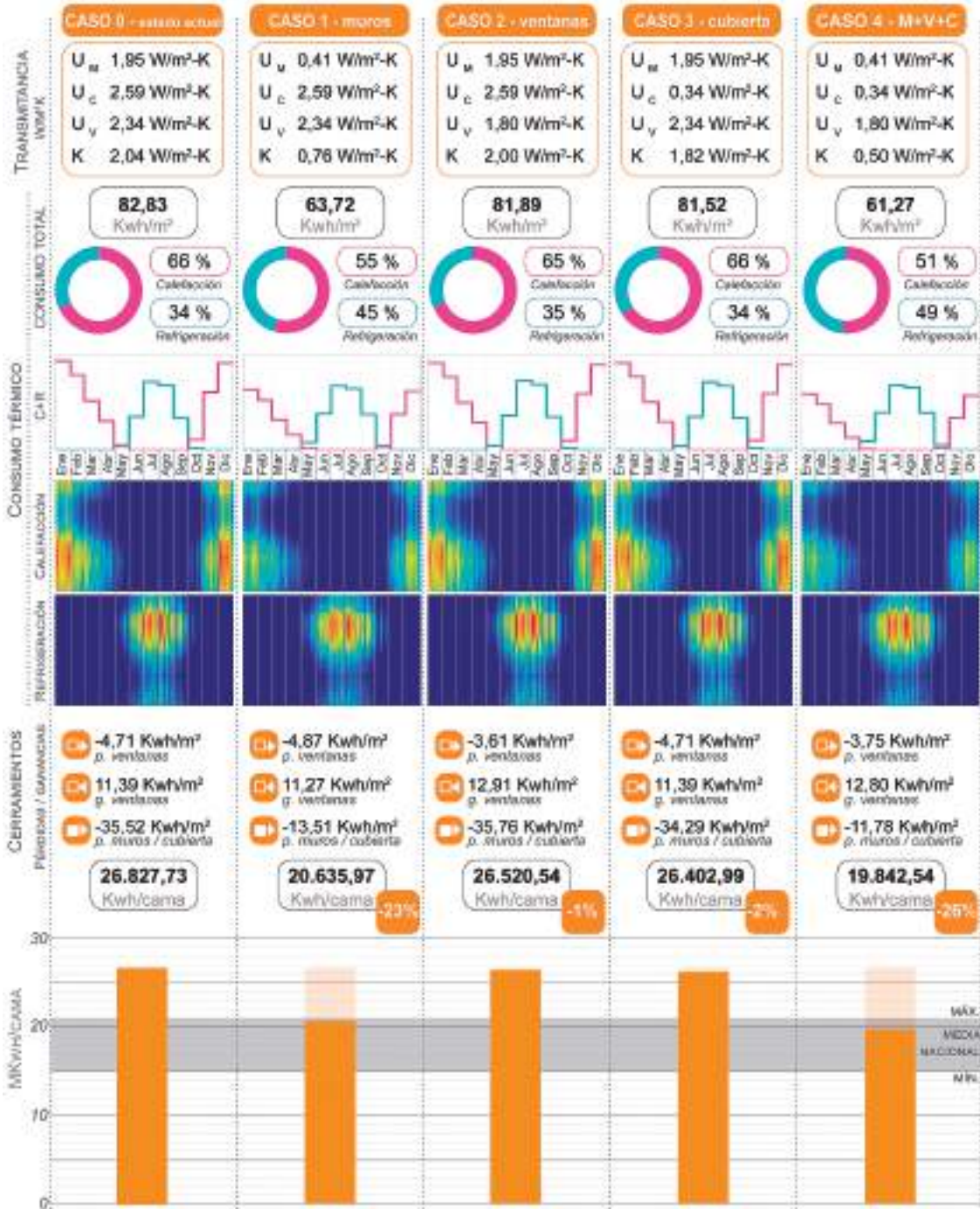
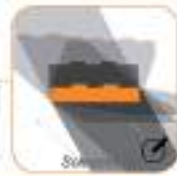


Figura 6. Datos comparativos de demanda energética del H. Gomez Ulla de Madrid para climatización según casos de estudio (Fuente: elaboración propia).



dichas carpinterías ya han sido mejoradas) y la mejora de cubiertas un 8%, lo que implicaría un ahorro global de un 26%, de 14.861,29 Kwh/cama, lo que implicaría situarlo por debajo de la media. La falta de una mayor compacidad seguramente penaliza el conjunto e impide mejoras más sustanciales.

### *Hospital Gómez Ulla, Madrid*

Se trata de un hospital medio (475 camas) construido en 1970, con una superficie total construida de 153.840 m<sup>2</sup> (Figura 6).

Responde a la tipología de placa-torre, con un basamento de dos plantas para consultas, diagnósticos y oficina, y tres bloques sobre el basamento, uno de quirófanos, otro de urgencias y una torre de 20 plantas de hospitalización.

El basamento es de planta cuadrada, y la torre de hospitalización tiene orientación Sureste-Noroeste en su lado más largo.

La esbeltez de la torre de hospitalización y la gran superficie de cubierta del basamento perjudican la compacidad del conjunto.

Ha sufrido algunas modificaciones importantes, como una reducción significativa del número de camas en relación a su superficie total, y algunas modificaciones en la envolvente, como la mejora de los huecos de fachada.

Se trata de un edificio que se sitúa actualmente por encima de la media de consumo, con unos ratios de 82,83 Kwh/m<sup>2</sup> y 26.827Kwh/cama. Aunque el dato por unidad de superficie no es exageradamente alto, la relación entre camas por unidad de superficie dispara el gasto en este concepto.

En este caso es significativa la mejora en muros de fachada (un ahorro de un 23%), no tanto en carpinterías (un 1%, pero hay que tener en cuenta que dichas carpinterías ya han sido mejoradas) y la mejora de cubiertas implica tan solo un 2%, al tratarse de un edificio en altura donde influyen muy poco dichas pérdidas. En total, implicaría un ahorro global de un 26%, situándolo en 19.842 Kwh/cama, un consumo mejorado pero aún alto.

## **Análisis comparativo de los cuatro casos de estudio en su estado actual**

La situación actual de los cuatro hospitales coloca a dos de ellos dentro de la media de consumo por unidad de cama (Hospital Príncipe de Asturias y Hospital Ramón y Cajal), uno de ellos bastante por encima (Hospital Gómez Ulla) y otro algo por debajo (Hospital Universitario de Guadalajara). Entre el dato de consumo máximo y mínimo existe una variación de un 40%. Sin embargo, los datos de demanda por unidad de superficie no tienen una variación tan significativa, situándose entre un máximo de 105,51 kwh/m<sup>2</sup> y un mínimo de 82,83 kwh/m<sup>2</sup>, con una variación de un 20%. Además, tampoco son coincidentes los datos, ya que el hospital más eficiente térmicamente (Hospital Gómez Ulla) es el de peor ratio de consumo por unidad de cama (Figura 7).

Esto lleva a plantear la necesidad de estudios que separen la eficiencia térmica del aprovechamiento energético del edificio, dependiendo del ratio superficie/unidad de cama, o bien tener en cuenta las singularidades de cada centro (por ejemplo, el ratio tan alto del H. Gómez Ulla tiene que ver con su especialización en infecciosos, que ha hecho descender mucho el número inicial de camas planteadas, lo que ha ido en detrimento de su eficiencia energética).

En todo caso, todos los centros tienen una envolvente con un valor de transmitancia global alto (valor K), que se sitúa entre 2,26 (H. Príncipe de Asturias) y 1,88 (H. Ramón y Cajal), siendo este factor dependiente tanto de la compacidad como de las reformas realizadas a lo largo de su vida útil.

## **Análisis comparativo de los cuatro casos de estudio en la propuesta de mejora integral**

La propuesta de mejora integral de la envolvente de cada hospital (Caso 4 de cada uno de los casos estudiados por hospital) se ha realizado estableciendo como parámetro límite el valor K de envolvente del CTE DB HE, que se ha situado entre el 0,55 y el 0,5, dependiendo de cada intervención (Figura 8).



**Hospital de Guadalajara**  
 Año de construcción 1982  
 nº Camas 432  
 Superficie 58.852 m<sup>2</sup>  
 VIA COMPACIDAD 3,93

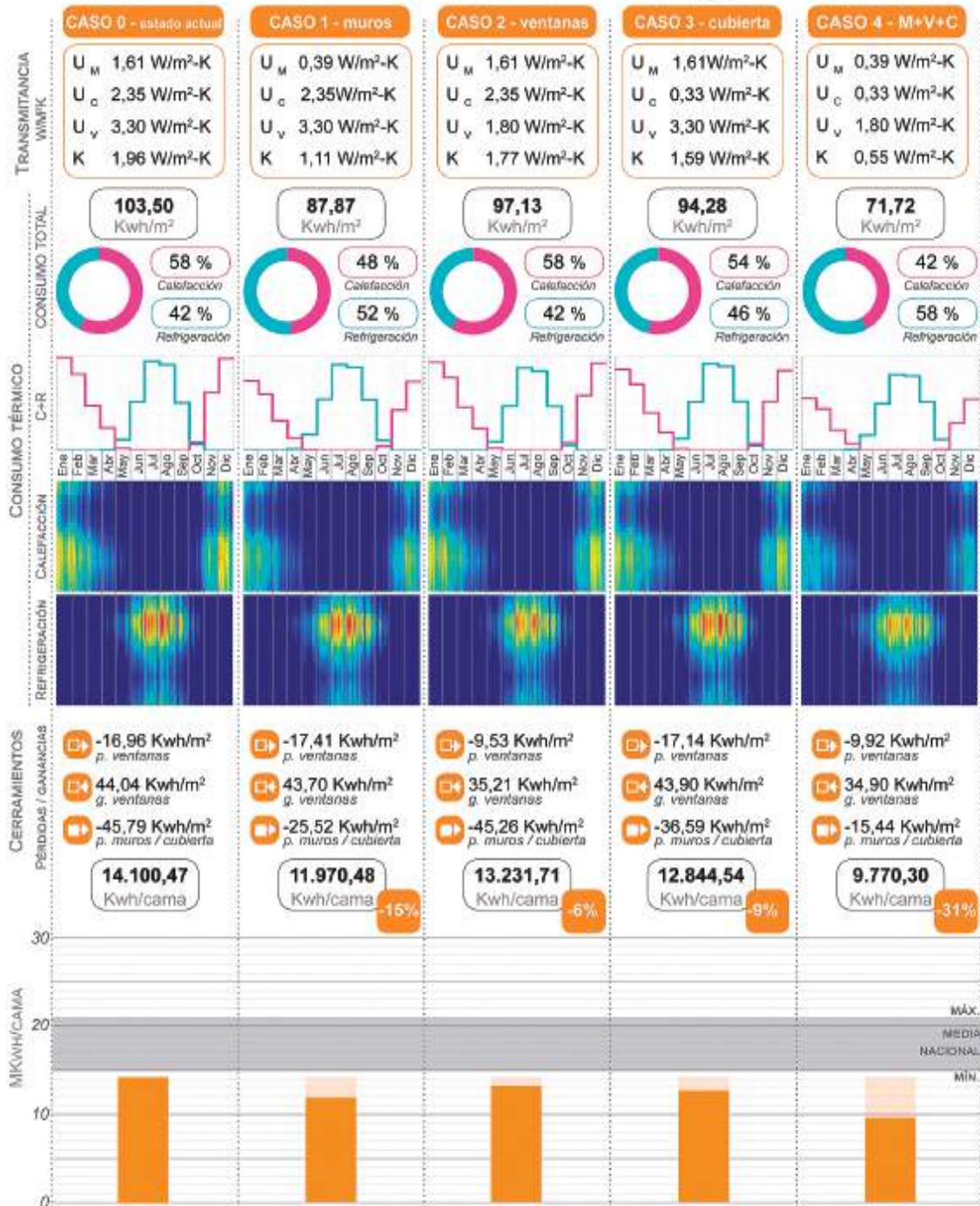
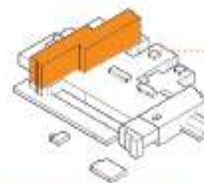


Figura 7. Análisis comparativo de la demanda energética para climatización para los cuatro casos de estudio en el estado actual.





**Hospital Gómez Ulla**  
 Año de construcción 1970  
 nº Camas 475  
 Superficie 153.840 m<sup>2</sup>  
 VIA COMPACTAD 5,84

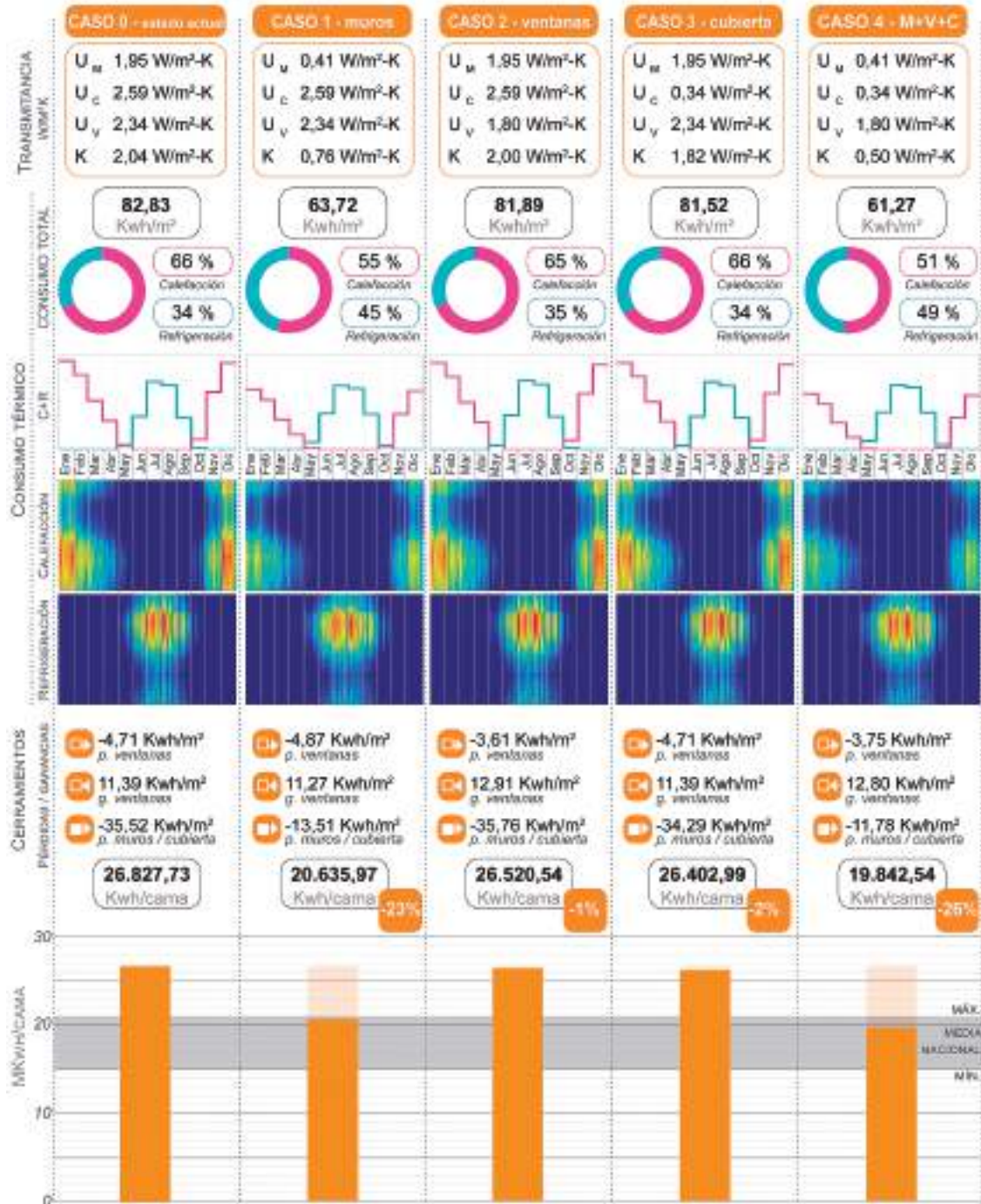
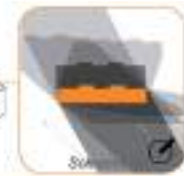


Figura 8. Análisis comparativo de la demanda energética para climatización para los cuatro casos de estudio en la propuesta de mejora integral.

		Muros de fachada		Cubierta		Huecos	
		Composición	U [W/m <sup>2</sup> /K]	Composición	U [W/m <sup>2</sup> /K]	Composición	U [W/m <sup>2</sup> /K]
PRINCIPE DE ASTURIAS	Estado actual	Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Enfoscado mortero 1900 kg/m <sup>3</sup> Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	1,53	Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 25 cm Yeso	3,15	Vidrio simple 4 mm con carpintería de aluminio	5,69
	Estado reformado	Sistema SATE con lana de roca y revoco de terminación e = 6 cm Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Enfoscado mortero 1900 kg/m <sup>3</sup> Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	0,39	Losa filtrante con aislamiento inferior de EPX e = 10 cm Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 25 cm Yeso	0,35	Vidrio aislante 4-20-(3+3) baja emisividad con carpintería PVC	1,80
RAMON Y CAJAL	Estado actual	Aluminio panel sandwich Aislamiento rígido (equivalente polure) Aluminio panel sandwich Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	1,57	Plaqueta cerámica Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 25 cm Placa de yeso	2,40	Vidrio aislante 4-9-4 con carpintería de aluminio	3,00
	Estado reformado	Sistema SATE con lana de roca y revoco de terminación e = 6 cm Aluminio panel sandwich Aislamiento rígido (equivalente polure) Aluminio panel sandwich Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	0,39	Losa filtrante con aislamiento inferior de EPX e = 8 cm Plaqueta cerámica Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 25 cm Placa de yeso	0,33	Vidrio aislante 4-20-(3+3) baja emisividad con carpintería PVC	1,80
GUADALAJARA	Estado actual	Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	1,61	Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 30 cm Yeso	2,35	Vidrio aislante 4-6-4 con carpintería de aluminio	3,30
	Estado reformado	Sistema SATE con lana de roca y revoco de terminación e = 6 cm Fábrica ladrillo cerámico CV 1 pie Enfoscado mortero 1900 kg/m <sup>3</sup> Cámara de aire sin ventilar e=5 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	0,39	Losa filtrante con aislamiento inferior de EPX e = 8 cm Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 30 cm Yeso	0,33	Vidrio aislante 4-20-(3+3) baja emisividad con carpintería PVC	1,80
GOMEZ ULLA	Estado actual	Prefabricado de hormigón Cámara de aire e=10 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	1,95	Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 25 cm Placa de yeso	2,59	Vidrio simple 4 mm con carpintería de aluminio Cámara de aire e = 10 cm Vidrio simple 4 mm con carpintería de aluminio	2,34
	Estado reformado	Sistema SATE con lana de roca y revoco de terminación e = 6 cm Prefabricado de hormigón Cámara de aire e=10 cm Fábrica de LHD e=9 cm Enlucido de yeso d<1000 kg/m <sup>3</sup>	0,41	Losa filtrante con aislamiento inferior de EPX e = 8 cm Lámina asfáltica Mortero nivelación Forjado unidireccional entreligado cerámico e = 30 cm Placa de yeso	0,34	Vidrio aislante 4-9-4 baja emisividad con carpintería PVC Cámara de aire e = 10 cm Vidrio simple 4 mm con carpintería de aluminio	1,80

Tabla 3. Composición constructiva de cerramientos y transmitancia de los elementos constructivos por hospital, en su estado actual y en su estado reformado integral.



Las mejoras constructivas se han introducido en base a la adecuación a dicho parámetro y a la viabilidad constructiva de las mismas. Los muros de fachada se han resuelto con sistemas SATE de aislamiento exterior más revoco, las carpinterías con mejoras en la transmitancia de los conjuntos vidrio/carpintería y las cubiertas con mejora del aislamiento con sistemas de cubierta invertida (Tabla 3).

El resultado global implica reducciones de la demanda significativas, que oscilan entre el 35% y el 26%, dependiendo de la obsolescencia del edificio (se obtiene mejores ratios al reformar edificios más antiguos). Por una parte, disminuye la demanda por unidad de superficie, situándose en una horquilla de entre los 71,72 Kwh/m<sup>2</sup> y los 61,27 Kwh/m<sup>2</sup>, y también se reduce significativamente la demanda de energía térmica por unidad de cama.

Es interesante observar que las reducciones en la demanda de energía se acompañan con un cambio de distribución en la misma. En el estado actual (ver figura 9) el reparto entre demandas se situaba en un 68-58% para calefacción y un 32-42% para refrigeración, pero cuando se reducen los consumos las demandas prácticamente se igualan en un 50%.

Este es un dato no despreciable, ya que ulteriores mejoras de la eficiencia energética con intervenciones constructivas en la envolvente podrían pasar, más que por un aumento de los aislamientos (la reducción de la demanda no es lineal con respecto al aumento del aislamiento), por una mejora en las protecciones solares, de tal modo que disminuyan las ganancias por radiación solar directa en los meses más cálidos.

## CONCLUSIONES

El gasto de energía para solventar la demanda térmica en el sector hospitalario en España se sitúa en un rango

elevado, tanto en números absolutos como relativos. Aunque el parque hospitalario ha sido sometido a un proceso de adecuación paulatina, generando infraestructuras más eficientes y recuperando algunas de las obsoletas, aún existen muchos edificios por rehabilitar realizados en el siglo xx que cuentan con un amplio margen de mejora.

La rehabilitación arquitectónica de dichos centros, centrada en la mejora de la envolvente, se considera como uno de los sistemas más eficaces y viables para reducir la demanda de energía térmica en dichos edificios.

La metodología para la cuantificación de dichas mejoras se encuentra desarrollada y experimentada, aunque la tipología hospitalaria, por su extensión y complejidad, supone algunos retos adicionales que tienen que ver con la toma de datos fiables, la simulación gráfica del edificio y las estrategias de simplificación de las simulaciones a través de software específico. En todo caso, a partir de la elección de algunos casos de referencia, es posible pautar una serie de pasos, generando una metodología replicable.

En el estudio de referencia, se han cuantificado las posibilidades de optimización de la demanda de hasta un 35% sólo con mejoras en la composición de la envolvente, y esto limitando los valores de la misma a los valores de transmitancia exigidos en el CTE DB HE. Ulteriores mejoras exclusivamente de carácter arquitectónico, como la protección solar de huecos, el aumento en el espesor de los aislamientos o la mejora adicional de las carpinterías pueden significar disminuciones de la demanda aún mayores.

A partir de estos estudios, es posible elaborar estrategias de mejora y conservación energética de dichos edificios, cuantificando sus costes, y evaluar hasta qué punto la inversión en rehabilitación puede, por ejemplo, fraccionarse por unidades en relación a su eficiencia energética, o por el contrario, si compensa frente a una sustitución completa por obra nueva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díaz, C; Llobet, X; Solanelas, A y Solanelas, R. 2017. Dispensario Antituberculoso. En *Intervenciones en el patrimonio arquitectónico moderno en Cataluña*. Ed. Díaz, C; Llobet, X; Solanelas, A y Solanelas R., pp. 30-35. UPC. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6OFTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA30&dq=barcelona++sert&ots=NBFInDZyiD&sig=leLk02Go2DBO8HUErFwxY3Qvnc8#v=onepage&q=barcelona%20%20sert&f=false>.
- Echeverría, E; Celis, F; De Miguel, M; Dominguez, P; Delgado, I; Mozas, A; Moreno, K., Vega, JM y Martín, F. 2017. Integrated System for Energy Optimization and Reduction of Building CO2 Footprint. *Conference Proceeding of World Sustainable Built Environment Conference. Hong Kong, 5-7 Junio 2017*, pp.1185-1191. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/28941>.
- FENERCOM. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid 2010. *Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales*. Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid.
- García-Sanz-Calcedo, J; González, A y Salgado, D. 2009. Assessment of Energy consumption in Spanish Hospitals. *16º Congreso Nacional de Hospitales. Sociedad Española de Directivos de la Salud*. [https://www.researchgate.net/publication/320842406\\_Gestion\\_energetica\\_en\\_hospitales/link/5cc9513992851c8d221067b4/download](https://www.researchgate.net/publication/320842406_Gestion_energetica_en_hospitales/link/5cc9513992851c8d221067b4/download).
- García-Sanz-Calcedo, J; Al-Kassir, A y Yusaf, T. 2018. Economic and Environmental Impact of Energy Saving in Healthcare Buildings. En *Journal of Applied Sciences*, n.º 8, 440. DOI: 10.3390/app8030440. <https://www.mdpi.com/journal/applsci>.
- Gavilán, A. 2015. *Análisis comparativo de la eficiencia energética en edificios existentes con diferentes herramientas de simulación energética*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. DOI: 10.35376/10324/16311. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/16311>.
- Gómez, C. 2017. Consumo de energía en hospitales españoles. Mesa de sostenibilidad energética en el sector sanitario. *XXXV Congreso de la Asociación de Ingeniería Hospitalaria*. IDAE. Las palmas de Gran Canaria, octubre 2017. <http://congresodeingenieriahospitalaria.com/laspalmasdegrancanaria2017/>.
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio para la Transición Ecológica, 2018. *Informes Anuales de Consumos Energéticos (periodo 2014-2016)*. <https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>.
- INE, Instituto Nacional de Estadística 2018. Cuentas de emisiones a la atmósfera por ramas de actividad (CNAE, 2009). *Código 86-Actividades sanitarias (periodo 2008-2015)*. [https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/p084/base\\_2010/serie/l0/&file=01001.px&L=0](https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/p084/base_2010/serie/l0/&file=01001.px&L=0).
- López Cristià, M. 2011. *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo* (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca. <https://gredos.usal.es/handle/10366/110779>.
- López Requena, I. 2011. *Arquitectura adaptada al clima en el Movimiento Moderno: Le Corbusier (1930-1960)*. (Tesis doctoral). Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/23997>.
- Luxán, M; Barbero, M; Abarca, R; Muñoz, J y Román, E. 2010. Metodología de Evaluación para el Programa de Ayudas a las Actuaciones de Rehabilitación para la Mejora de la Sostenibilidad y Eficiencia Energética de las Edificaciones. Congreso *SB10mad Sustainable Building Conference*. [http://oa.upm.es/8934/3/INVE\\_MEM\\_2010\\_83494.pdf](http://oa.upm.es/8934/3/INVE_MEM_2010_83494.pdf).
- Otto, C. 2017. Nuevo Hospital Alvaro Cunqueiro en Vigo. El poder curativo de la arquitectura. *Cercha*, n.132, pp. 22-30. <http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/557>.

Pieltaín, A. 2003. *Los hospitales de Franco. La versión autóctona de una arquitectura moderna* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. <http://oa.upm.es/4331/>.

Prieto, P. 2017. 1967-2017. Cincuenta años de eficiencia energética en la edificación y sus instalaciones. *El Instalador*, n.º 554, septiembre, 2017, pp.36-40. <http://www.interempresas.net/Flipbooks/IN/554/html5forpc.html>.

Ruiloba Quecedo, C. 2012. *Arquitectura terapéutica: el sanatorio antituberculoso pulmonar* (Tesis doctoral). Universidad de Valladolid. DOI: 10.35376/10324/2874. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/2874>.

Santos Guerra, JJ. 2003. Verticalidad versus horizontalidad. Historia de la construcción de hospitales en el siglo XX. *Informes de la Construcción*, Vol. 55, n.º 485, 13-25. DOI: 10.3989/ic.2003.v55.i485.559. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/559>.

Sartorio, J y Evans, J. 1999. Eficiencia energética y morfología en edificios para la salud: estudio de tipologías. *AVERMA*, n.º 3, artículo 5.10. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/1999/1999-t005-a010.pdf>.