

Normativas internacionales sobre eficiencia energética edilicia

Análisis comparativo de evaluaciones en la envolvente arquitectónica

International regulations on building energy efficiency: Comparative analysis of architectural envelope evaluations

Regulamentos internacionais sobre eficiência energética na construção: Análise comparativa das avaliações do envelope arquitetônico

DOI: <https://doi.org/10.18861/ania.2023.13.1.3369>

Arq. Celina Michaux
CONICET. Universidad Nacional de San Juan
Argentina

gachiviegas@yahoo.com.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-4678>

celinamichaux@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0347-6402>

Dra. Arq. Irene Blasco Lucas
CONICET. Universidad Nacional de San Juan
Argentina

iblasco@faud.unsj.edu.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1326-895X>

Dra. Arq. Graciela Melisa Viegas
CONICET. Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido
Argentina

Recibido: 23/11/2022
Aceptado: 16/02/2023

Cómo citar: Michaux, C., Viegas, G. M., & Blasco Lucas, I. A. (2023). Análisis comparativo de la evaluación de la envolvente arquitectónica en normativas internacionales sobre eficiencia energética edilicia. *Anales de Investigación en Arquitectura*, 13(1). <https://doi.org/10.18861/ania.2023.13.1.3369>

Resumen

Los elementos que componen la envolvente arquitectónica en contacto con el exterior representan un factor concluyente en el consumo de energía y poseen una influencia directa sobre la demanda energética del edificio. Por esto, el objetivo del trabajo es analizar las diversas maneras de evaluar energéticamente la envolvente arquitectónica en normativas a nivel global y detectar sus componentes representativos. La metodología de investigación es un estudio teórico-descriptivo, basado en un mapeo sistemático que posibilita la comparación entre las normativas. Seguidamente, se obtienen las variables de análisis y el tipo de información contenidas en las mismas. Se deduce que los aspectos más importantes para considerar en el diseño y evaluación de la envolvente son; la zona climática presente en el 34% de las normativas, la relación vidriado-opaco y la transmitancia térmica, presente en el 41% y 93% respectivamente. Al cotejar los alcances de las normativas argentinas con los ejemplos internacionales, se concluye que es necesario reforzar los estudios y normativas relacionadas a la relación vidriado-opaco.

Palabras clave: análisis comparativo, envolvente, normativas de eficiencia energética, metodologías de evaluación.

Abstract

The elements that make up the architectural envelope in contact with the outside represent a conclusive factor in energy consumption and have a direct influence on the energy demand of the building. For this reason, the objective of the work is to analyze the different ways of energetically evaluating the architectural envelope in regulations at a global level and detecting its representative components. The research methodology is a theoretical-descriptive study, based on a systematic mapping that enables comparison between regulations. Next, the analysis variables and the type of information contained in them are obtained. It follows that the most important aspects to consider in the design and evaluation of the envelope are the climatic zone present in 34% of the regulations, the glaze-opaque relationship, and the thermal transmittance, present in 41% and 93% respectively. When comparing the scope of Argentine regulations with international examples, it is concluded that it is necessary to reinforce the studies and regulations related to the glaze-opaque relationship.

Keywords: Comparative analysis, Envelope, Energy efficiency regulations, Evaluation methodologies.

Resumo

Os elementos que compõem o envelope arquitetônico em contato com o exterior representam um fator conclusivo no consumo de energia e têm uma influência direta na demanda de energia do edifício. Portanto, o objetivo do trabalho é analisar as diferentes formas de avaliação energética do envelope arquitetônico em padrões globais e detectar seus componentes representativos. A metodologia de pesquisa é um estudo teórico-descriptivo, baseado em um mapeamento sistemático que permite a comparação entre as normas. As variáveis de análise e o tipo de informação contida nelas são então obtidas. Deduz-se que os aspectos mais importantes a considerar na concepção e avaliação do envelope são: a zona climática, presente em 34% das normas, a relação envidraçamento-opaco e a transmitância térmica, presente em 41% e 93% respectivamente. Ao comparar o escopo da regulamentação argentina com exemplos internacionais, conclui-se que é necessário reforçar os estudos e regulamentações relacionadas com a relação envidraçamento/vidrado.

Palavras-chave: análise comparativa, envelope, normas de eficiência energética, metodologias de avaliação.



Introducción

Los patrones de consumo energético han cambiado a lo largo de la historia, a medida que nuevas fuentes de energía fueron desarrolladas. Particularmente, en las últimas décadas, la demanda mundial de energía ha aumentado exponencialmente (Ahmad y Zhang, 2020). En este contexto, el incremento del consumo energético, especialmente el de los edificios, ha generado dificultades en el abastecimiento de los recursos y contribuido al agotamiento de estos, lo cual, sumado a la creciente preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad medioambiental ha impulsado el aumento de iniciativas de incorporación de Eficiencia Energética (EE) en los edificios (Tushar et al., 2020).

Asimismo, se han desarrollado diversas directivas globales centradas en la protección de los recursos naturales y acciones contra el cambio climático (United Nations, 2022). Para ello, se ha buscado reducir la demanda energética, fomentando el estudio de soluciones más eficientes en la envolvente de las construcciones, debido a que la misma representa la mayor barrera térmica contra las condiciones externas (Barbatesi et al., 2020).

La envolvente, junto con el clima, el tipo y tamaño de la construcción, su emplazamiento respecto a los edificios vecinos, la eficiencia de los sistemas de climatización y el comportamiento del usuario, son los principales factores influyentes en el consumo energético (Andersen et al., 2019). De allí, que más del 50% de la demanda energética, se debe a las pérdidas de calor por la envolvente (Ascione et al., 2019). Por lo enunciado, ha sido incorporado en forma explícita el concepto en los códigos técnicos, dada su importancia al momento de mantener las condiciones térmicas interiores estables (Blázquez et al., 2019).

Los progresos en torno a la EE en las edificaciones han provocado el surgimiento, desarrollo y fortalecimiento de avances en materia normativa en la temática (BID, 2017). La aplicación de instrumentos y de requisitos restrictivos

por parte de los organismos reguladores, han permitido un mejoramiento en el rendimiento energético de los edificios (Huynh et al., 2021).

Durante las últimas décadas se han desarrollado diversos estudios que analizan los aspectos normativos del rendimiento energético de los edificios. Entre ellos, Huynh et al. (2021) comparan las normativas que regulan la EE de la envolvente en edificios residenciales en regiones de clima frío, como Finlandia, Canadá, Islandia, Noruega, Suecia, China y Rusia. Asdrubali y Desideri (2018) detallan país por país, la legislación energética de edificios nuevos y existentes, en Asia durante los últimos 50 años. Asimismo, analizan la aplicación de políticas en materia de energía, junto con recomendaciones que fomenten medidas de EE.

Wong y Krüger (2017), comparan la normativa brasileña RTQ-C con la directiva 2010/31 de la Unión Europea e identificaron obstáculos, desafíos, dificultades y puntos débiles de la metodología de cálculo. Foroushani et al. (2022), examinan las normativas de EE basadas en el

enfoque del edificio de referencia, donde comparan el rendimiento energético de un edificio determinado con otro de similares características. Esta metodología es utilizada en diversos códigos, especialmente en Norteamérica.

En España, el programa ERESEE aspira a renovar el parque edilicio hacia un sector con elevados niveles de EE y descarbonizado, antes de 2050. Estas estrategias de rehabilitación destacan por interrelacionar la escala del edificio, la perspectiva municipal y la autónoma, según tres elementos clave; planificación, gestión y financiación (Secretaría de agenda urbana y vivienda, 2020).

Al observar la diversidad de abordajes existentes en las maneras de evaluar energéticamente la envolvente edilicia en normativas de escala global, se plantea como objetivo realizar un análisis sistemático sobre un grupo amplio de ellas. Además, se compara el estado actual de las legislaciones nacionales con aquellas de nivel internacional. Se especifica como pregunta de investigación; ¿de qué

manera los marcos normativos internacionales evalúan la envolvente edilicia residencial? ¿cuáles son las variables, criterios, métodos que se consideran al momento de evaluar la envolvente?

Metodología

Este documento revisa el cuerpo normativo existente sobre el análisis de la envolvente, basándose en la literatura de libre disponibilidad como fuente de evidencia. Para la búsqueda de normativas no se han aplicado límites temporales, ya que se trabajará con las últimas legislaciones vigentes independiente de su año de creación, dado que se busca obtener una mirada actual de la temática en estudio. Como el trabajo pretende incluir diferentes áreas territoriales, se define como recorte espacial-geográfico a los 25 países que, según el Cuadro de Mando Internacional de EE, son los principales consumidores de energía del mundo (Subramanian et al., 2022).

La investigación se estructura en tres etapas (Figura 1). Primeramente, mediante una investigación descriptiva se detectan aquellas normativas referidas al análisis de la envolvente, desde la mirada de la EE. Este estudio es un análisis teórico a partir de la revisión bibliográfica sobre el tema, el cual se enfoca en la búsqueda de leyes, reglamentos, códigos de edificación, normas, entre otros. En esta primera etapa se identificaron 29 legislaciones correspondientes a 25 países. La selección de normativas se realizó mediante metabuscadores y en las páginas oficiales de los gobiernos de cada país.

Consecutivamente, se realiza un análisis comparativo entre las variables predominantes, esto permite detectar similitudes y diferencias entre ellas e identificar sus particularidades. Para la sistematización de la información se conformó una base de datos en Excel. El procedimiento incluyó la organización, clasificación y análisis normativo. Por último, se desarrolla una comparación entre la normativa argentina y los ejemplos estudiados en la etapa previa. (Figura 1)

Resultados y discusión

Etapa I

En la actualidad, la mayor parte de los países analizados cuentan con algún tipo de experiencia normativa referida a la EE residencial, incluida la envolvente. Sin embargo, como cada estado tiene diferentes antecedentes culturales, sociales, económicos y condiciones climáticas, las legislaciones difieren significativamente entre sí (Asdrubali y Desideri, 2018). Para acotar la investigación se trabaja con los 25 países que según el Cuadro de Mando Internacional de EE de 2022 son los

responsables del 78% de la energía consumida a escala global (Subramanian et al., 2022) (Figura 2).

Se analizaron sus normativas más significativas y se seleccionaron aquella con mayor nivel de información (Figura 3). En el caso de Brasil, EE. UU., Japón y Emiratos Árabes se eligieron dos legislaciones por país, ya que en estos casos ambas son representativas y presentan riqueza en su contenido.(Figura 3)

Luego de examinar las 29 normas se identificaron 36 variables. Las mismas se depuraron y mediante un proceso de filtrado se llegó a la cantidad final de 14. Seguidamente se articularon las mismas según cuatro grupos: 1- *clima y arquitectura*, 2- *forma y emplazamiento*, 3- *asoleamiento* y 4- *calidad térmica edilicia*. Dichos grupos se obtienen de las clasificaciones propuestas por; Czajkowski y Gómez (2002), Yusuf (2020) y Bensehla et al. (2019) (Figura 4). Existen tres variables que predominan por su frecuencia de repetición; la zona climática (ZC) presente en el 35% de los casos, la relación vidriado/opaco (RVO) que se manifiesta en el 45% y la transmitancia térmica (K) presente en el 93% de las normativas.

Luego del análisis se observa que las normativas más completas se enfocan en la calidad térmica edilicia. Primeramente, se posiciona Sudáfrica con su legislación SANS 204:2011 (con 10 variables) y seguidamente, EE. UU. con la norma ASHRAE 90.2-2018 (con 7 variables). En ambos casos, la mayoría son del grupo clima y arquitectura y calidad térmica edilicia. En tercer lugar, con seis variables se encuentra, el Código para el Diseño de Ingeniería Térmica de Edificios Civiles (Taiwán) y la Ley de requisitos mínimos para la EE de los edificios (Polonia). Esta última detalla diversos coeficientes de transferencia de calor.



Figura 1. Esquema metodológico de la investigación.

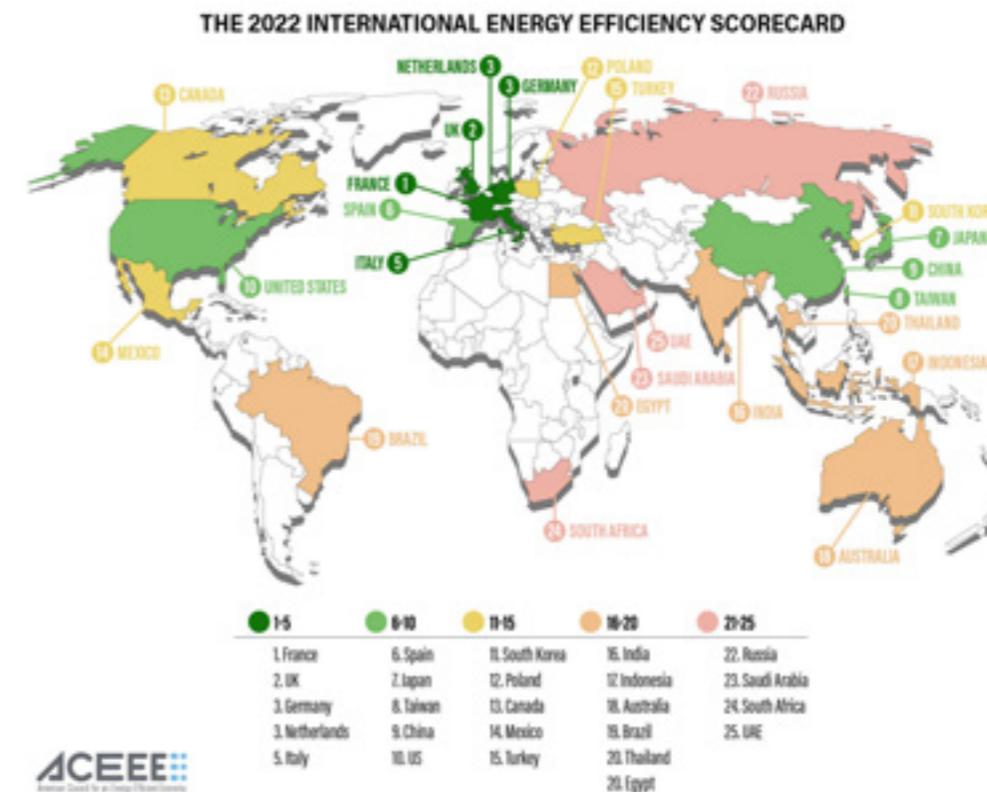


Figura 2. Países de análisis.

Pais	Normativa
1	Regulaciones ambientales (2020) - Ministère de la Transition énergétique (2021)
2	Procedimiento de evaluación estándar SAP (2013) - Government UK (2014)
3	Bouwbesluit - Código General de la Construcción Bouwbesluit (2012) - ERS architecten bna (2012) y Gallano Garrigós (2013)
4	Ley Energética de Edificios (2020) - Steinmeier et al. (2020)
5	Especificación Técnica UNITS 11300 EE de los edificios-Parte I (2014) - Comitato Termotecnico Italiano (2014)
6	Código Técnico de la Edificación Español (2022) - Gobierno de España (2022)
7	Guía de Diseño y Construcción para la Racionalización del Uso de Energía para Vivienda (2008) - IPEEC (2008)
8	Criterios sobre la Racionalización del Uso de Energía para Viviendas (2008) - IPEEC (2008)
9	Código para el Diseño de Ingeniería Térmica de Edificios Civiles GB 50176-93 (1993) - Ministry of Construction of the People's Republic of China (1993)
10	JGJ134 Estándar de diseño para la EE de viviendas en zonas de verano caluroso e invierno frío (2010) - Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano Rural de China (2010)
11	Código Internacional de Conservación de Energía - Capítulo IV EE Residencial (2018) - International Code Council (2018)
12	Norma ASHRAE 90.2 (2018) - ASHRAE (2018)
13	Criterios de diseño de edificios para el ahorro de energía BDCES (2001) - Kwag et al. (2020)
14	Ley de requisitos mínimos para la EE de los edificios (2022) - Budownictwa Energooszczędnego (2022)
15	Código Nacional de Energía de Canadá para Edificios (2015) - Asdnubal y Desideri (2018)
16	NOM-020-ENER EE en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional (2011) - CONJEE (2017), CONJEE y SENER (2015)
17	Estándar TS-825 Requisitos de aislamiento térmico para edificios (2008) - Turkish Standards (2008)
18	Eco-niwas Samhita. Parte I: Envolvente del edificio (2018) - Ministry of Power (2020)
19	Estándar Nacional de Indonesia 03- 6389-2011. Conservación de energía para la envolvente del edificio (2011) - Badan Standardisasi Nasional (2011)
20	Código de construcción de Australia - Parte 3.12 EE (2019) - Australian Building Codes Board (2022)
21	Requisitos de evaluación para la EE en los edificios N° 50. Art. 5.2.2.1 Inspección de envolvente (2013) - PROCEL (2013)
22	Programa Brasileño de Etiquetado RTQ-R (2005) - Ministério do desenvolvimento (2012) y Amoedo et al. (2019)
23	Criterios, métodos de cálculo y certificación de evaluaciones de diseño de edificios para la conservación de energía y el uso de energías renovables (2021) - Ministry of Energy (2021)
24	Directrices de construcción energéticamente eficientes para la región MENA (2013) - Visse y Yeretizian (2013)
25	Código de construcción 50.13330.2012 Aislamiento térmico (2013) - Technical Committee for Standardization TC 465 (2013)
26	Código de Construcción Saudita (2007) - Saudi Building Code National Committee (2007)
27	SANS 204:2011. EE en edificios (2011) - SABS Standards Division (2011)
28	Reglamentos y especificaciones de construcción ecológica (2011) - Government of Dubai (2011)
29	Código de construcción de Dubái. Parte E Envolvente del edificio (2021) - Government of Dubai (2021)

Nota: los países están numerados según Figura 2.

Figura 3. Normativas analizadas.



Figura 4. Variables en las normativas analizadas.

Etapa II

Zona Climática

Conocer la ZC donde se localiza una construcción es determinante para su nivel de EE, ya que define los valores exteriores de temperatura y radiación solar, interviene en las necesidades energéticas de la vivienda y delimita los niveles de aislamiento del sistema constructivo, entre otros. En la Figura 5 se observan las zonas climáticas de los países en estudio, las mismas, han sido agrupadas entre seis y nueve bandas, según el país, para su lectura climática simplificada.

La ZC está presente en diez normativas, pertenecientes a ocho países (Figura 6). De su análisis, se llega a que este criterio es tenido en cuenta, principalmente, para el cálculo de la K (presente en el 40% de los casos), para los requisitos de refrigeración y calefacción (presente en el 20%), para el cálculo de los niveles de ventilación e infiltraciones (presente en el 15%) y para el análisis de los factores de ganancia y protección solar (presente en el 15% de las legislaciones analizadas).

La normativa de Brasil es una de las más íntegras, junto con la de EE. UU., ya que consideran la ZC para el cálculo de la K, la capacidad térmica, la absorbancia solar, la ventilación cruzada y para el cálculo de consumo energético (en Brasil) y la protección solar (en EE. UU.). Seguidamente, se encuentran las legislaciones de España y Japón, con cuatro criterios en cada caso.

Relación vidriada/opaco

La proporción de superficie acristalada y opaca en la envolvente presenta diversas denominaciones; relación ventana/pared, relación vidriada/opaco, entre otros (Boutet y Hernández, 2022). Esta relación entre superficies de diferentes materiales constructivos es clave en el rendimiento energético de los edificios, en el funcionamiento del sistema de iluminación, climatización, ventilación y en el confort de los usuarios (LETI, 2020).

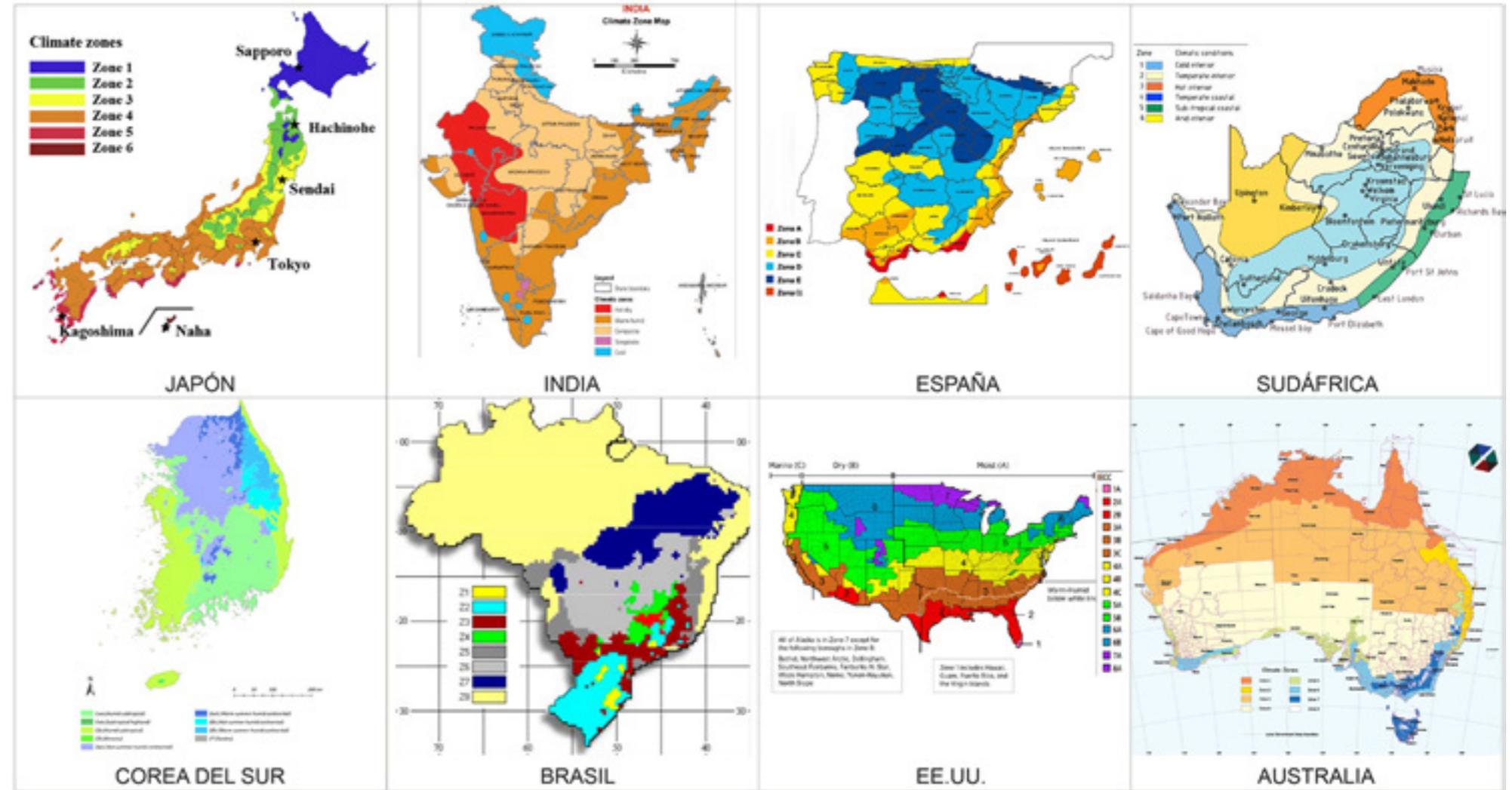


Figura 5. Zonas climáticas de países analizados.

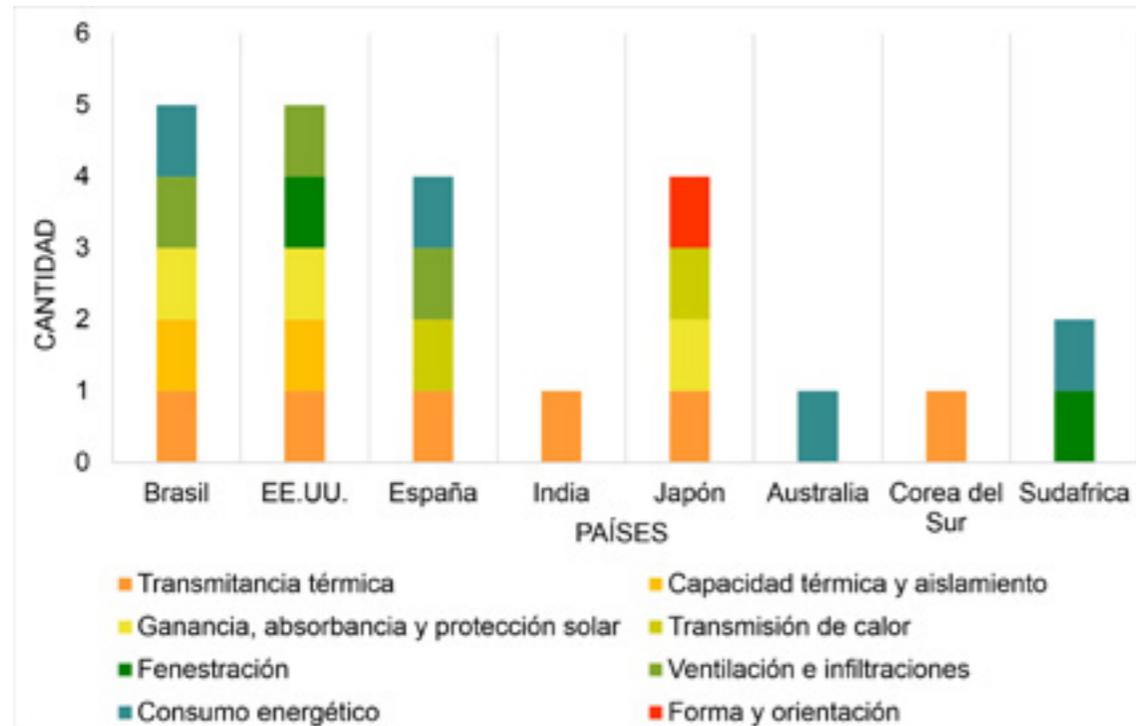


Figura 6. Criterios variables según las ZC.

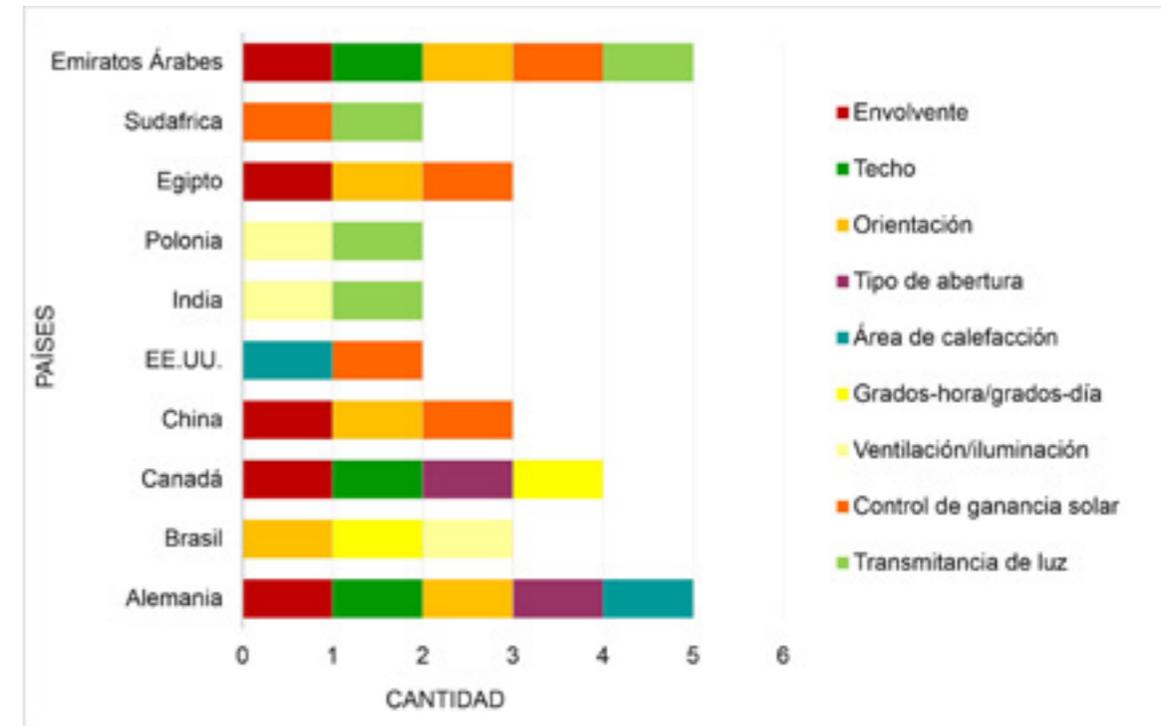


Figura 7. Criterios variables según RVO.

En la Figura 7 se observa que la RVO se utiliza tanto en la envolvente vertical como en la horizontal y que esta relación varía según la orientación y el tipo de abertura. Además, se tiene en cuenta para el cálculo de los niveles de iluminación, ventilación y en el estudio de la ganancia solar. Las normativas de Alemania y de Emiratos Árabes son las más detalladas, seguidas por Canadá.

En Alemania, la RVO se establece entre el 30% y 35% según la cantidad de superficie expuesta exterior. Para el caso de cubiertas, la superficie de ventanas no debe exceder el 6% del área del techo. En el caso de aberturas orientadas hacia el ecuador, su superficie no debe superar el valor medio de las ventanas en otras orientaciones. Canadá, más exigente

que Alemania, promueve que el área total de las aberturas en cubierta debe ser inferior al 2 % del área del techo.

En EE. UU., el Código Internacional de Conservación de Energía, es la única normativa que detalla los requerimientos de la RVO para las aberturas automatizadas. Mientras que la Norma ASHRAE 90.2 determina que el área de las aberturas no debe superar el 15 % del área del piso acondicionado. En India la relación entre superficie vidriada y superficie de piso varía entre un 10% y 8% según la ZC.

Polonia calcula las superficies vidriadas según el **coeficiente de transferencia de calor** y las necesidades de iluminación

natural del espacio. En Egipto, la RVO no debe exceder el 18% de la envolvente del edificio (la mitad de lo que exige Alemania). Aunque considera este porcentaje variable según la orientación del espacio, se prefieren mayores superficies vidriadas al norte, por los menores niveles de radiación solar.

La Figura 8 (izq.) muestra cómo las normativas de Emiratos Árabes vinculan la RVO con la K promedio de verano, con el Coeficiente de sombreado y con la Transmitancia de luz. Asimismo, se observa que al igual que en el caso de China, Egipto, Alemania y Brasil, la RVO depende de la orientación de la superficie vidriada. Siendo la más desfavorable la orientación Sur (para el hemisferio sur) y la orientación Norte (para el hemisferio norte).

Transmitancia Térmica

La mayoría de los países presentan en sus normativas requisitos para el aislamiento térmico, incluidos los valores de resistencia térmica (R) y K, ya que el nivel de aislamiento de la envolvente posee gran impacto en el rendimiento energético de los espacios habitables. Sin embargo, cada país presenta diferentes estándares energéticos y diversas condiciones climáticas que llevan a que la K varíe considerablemente de un lugar geográfico a otro. Esto dificulta la comparación de valores entre países (Jeziński et al., 2021).

Si bien 23 países hacen foco en la K, solo 15 de ellos presentan especificaciones que permiten su análisis. No

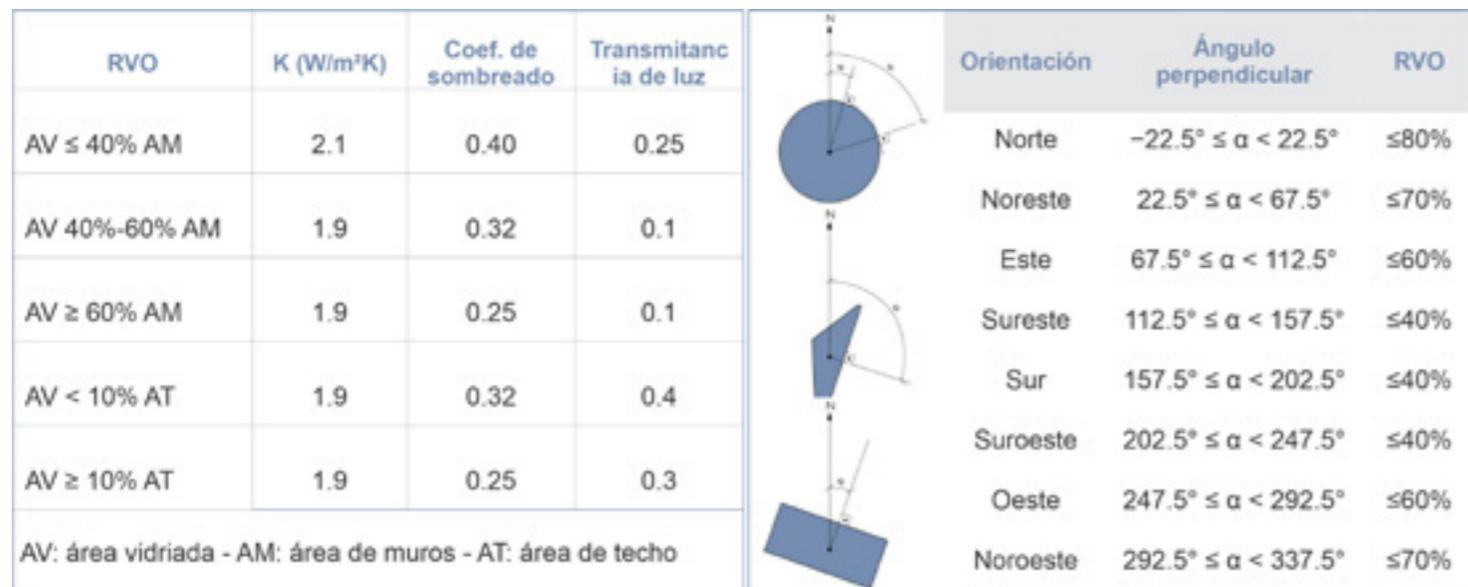


Figura 8. RVO y su relación con K, coef. de sombreado y transmitancia de luz (izq.) y con la orientación (der.).

obstante, se pudo detectar cinco diferenciaciones; donde K se define según, 1-la ZC, 2- el año de construcción de la vivienda, 3- la orientación, 4- otra normativa internacional y 5- donde la normativa se focaliza en el proceso de cálculo. En Egipto, los valores de R varían según la orientación de la vivienda. Por lo contrario, en Reino Unido, las edificaciones se clasifican en letras, que van desde la A hasta la L, para indicar su año de construcción. Esta misma denominación es utilizada para obtener los valores de K.

Otra diferenciación es el caso de Italia y Australia, ya que en sus normativas se evidencia la importancia de K, pero no se especifican los valores mínimos, máximos o promedios. En efecto, se menciona una normativa anexa que toman como referencia. Para el caso de Italia es la ISO 6946 y la ISO 10077-1. Mientras que Australia alude a que el cálculo de K se realiza según las legislaciones específicas sobre comportamiento térmico; J3D9, J3D13, J4D3 y J4D6.

Francia y México se centran en el proceso de cálculo y destacan por explicitar de forma detallada cómo obtener K (Figura 9). En Indonesia, los valores de K varían según el peso por unidad de superficie cubierta (kg/m²) de cada elemento de la envolvente. La normativa de Emiratos Árabes se distingue por su manera gráfica de representar estos valores. Polonia presenta la particularidad de especificar los valores de K presentes y pasados, los mismos varían en función de la temperatura interior.

Brasil, EE. UU., España, Corea, Canadá y Turquía presentan los valores máximos de K en función de la ZC del país. Japón, también realiza esta misma clasificación, pero menciona valores estándar y los muestra en (W/°Cm²). Como se observa en la Figura 10, en todos los casos los valores de K para muro son superiores a los de techo y piso.



Figura 9. Valores de K en normativas de Emiratos Árabes (izq.), México (centro) y Polonia (der.).

EE. UU. destaca porque los valores de K para muros se diferencian ampliamente de los valores de K para techos y pisos, esto sucede en las zonas climáticas 1 a 4 (de temperaturas cálidas) predominantes en el sur del país. Brasil sobresale por tener, para muros y techos, valores más elevados de K en comparación con el resto de los países. Mientras que Turquía es el único país donde los valores de K para muro y techo son semejantes (Figura 10).

Reino Unido, Emiratos Árabes, Países Bajos, India, Polonia e Indonesia detallan el valor de K como se observa en la Figura 11. India e Indonesia muestran, entre sí, valores de K similares y a su vez mayores al resto de países. Esta similitud se observa también entre Polonia y los Países Bajos. Mientras que Reino Unido destaca por presentar los menores valores tanto en K de muros, como de techos y pisos.

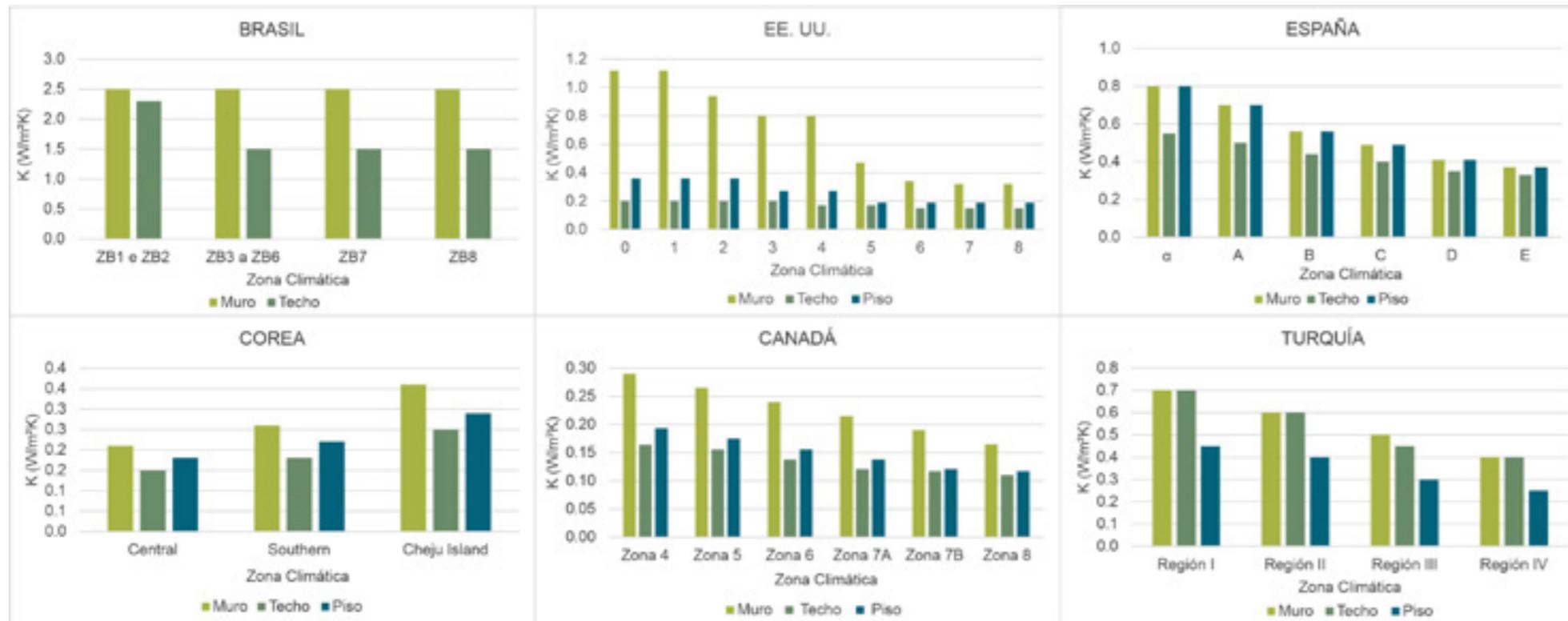


Figura 10. Valores de K máximos, por países, según la ZC.

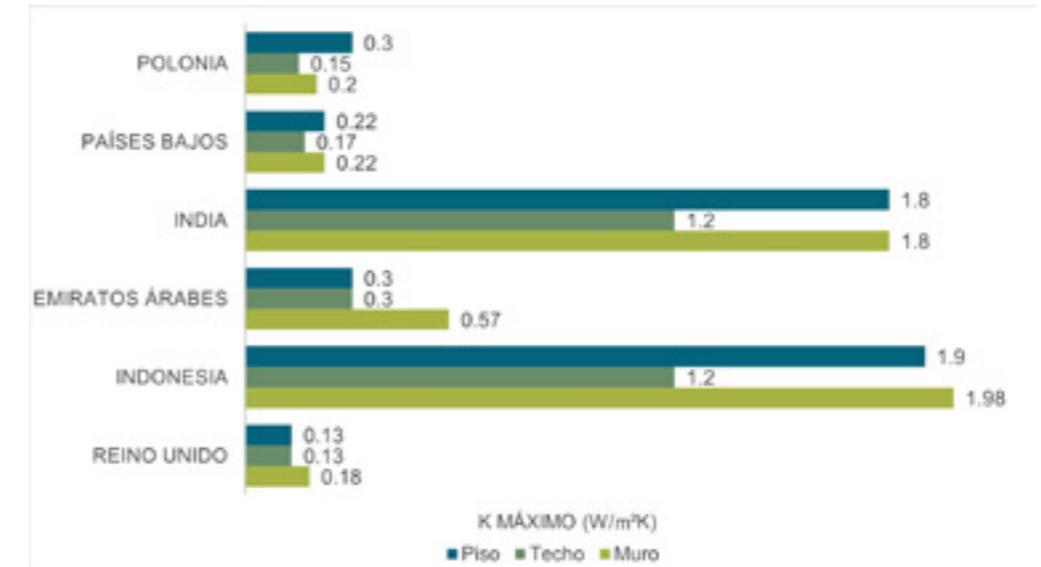


Figura 11. Comparativa de valores de K máximos para piso, techo y muro por países.

Etapa III

Normativas Argentinas

Referido a la ZC, la Norma IRAM 11603 (2012), detalla la clasificación bioambiental del país y sus respectivas subzonas, según las peculiaridades regionales. Esta norma muestra diversos mapas con el trazo de isolíneas de las variables térmicas que determinan dicha clasificación. Además, para cada zona se detallan datos climáticos para la evaluación del comportamiento térmico de las construcciones y recomendaciones generales sobre diseño. Estas pautas comprenden temas como; orientaciones, colores apropiados para la envolvente, protecciones solares, tiempo de asoleamiento mínimo, ventilaciones y K (Figura 12). Al contrastar esta normativa con el resto de los países, se observa que posee 5 de los 8 criterios expuestos en Figura 6. Además, incorpora el criterio "recomendaciones de diseño", lo que la destaca del resto de ejemplos analizados.

En cuanto a la RVO en el país, el Manual de ejecución de la Vivienda Sustentable (Secretaría de vivienda, 2020) indica que para las zonas climáticas I, II, III, V y VI, el valor máximo es del 15%. También muestra las orientaciones que demandan sistemas de protección solar y recomienda controlar el tamaño de las aberturas. Asimismo, la Norma IRAM 11604 (2001), toma de referencia una RVO del 20%.

En relación con K, Argentina cuenta con dos normativas en el tema. La primera es la Norma IRAM 11601 (2002a), de aislamiento térmico de edificios donde se describe el método de cálculo, las propiedades térmicas de los materiales y, además, cuenta con una guía para la aplicación de la norma. Además, la Norma IRAM 11605 (2002b) detalla los valores de K máximos de muros y techos para estaciones estivales e invernales. Estos valores se especifican según la calidad constructiva, definiendo

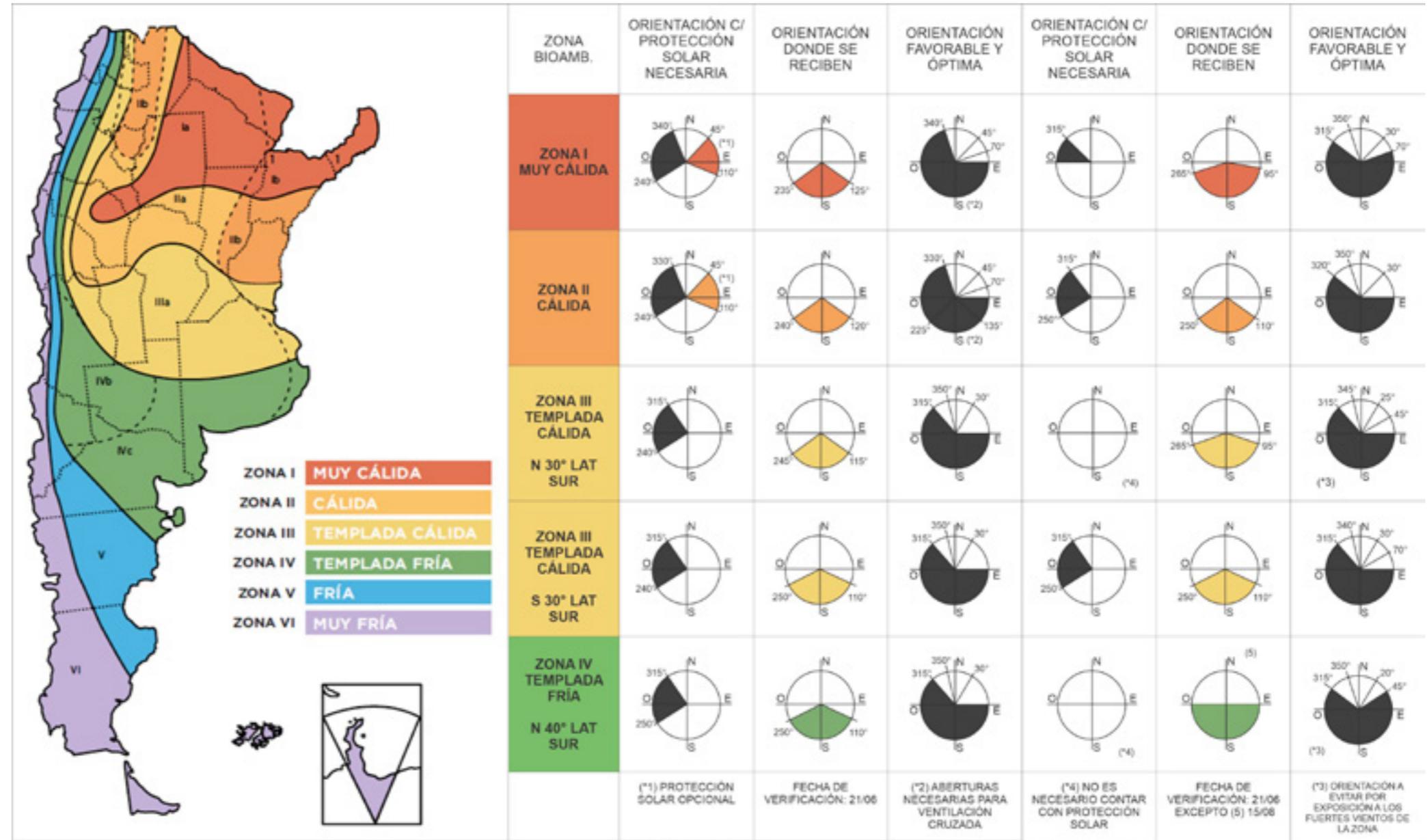


Figura 12. Clasificación bioambiental de Argentina (izq.) y recomendación de orientación (der.).

tres niveles que corresponden en grado decreciente a condiciones de confort higrotérmico: A-recomendado, B-medio y C-mínimo. En verano para establecer la K se hace uso de la ZC y en invierno se considera la temperatura exterior de diseño.

Para comparar K entre países, se utiliza la clasificación climática propuesta por Alisov, donde se distinguen cuatro zonas climáticas y zonas de transición en cada hemisferio de la Tierra (United Nations Development Programme, 2021). San Juan según la Norma IRAM 11603 (2012), pertenece a la ZC III A-Templada cálida y según la clasificación de Alisov corresponde a la zona subtropical desértica, al igual que el sur de África, el sur de Australia, al sur de EE. UU., España, Italia, Turquía, la parte sur de China y de Japón (Figura 13).

En la Figura 13 se observa que la media de K para muros es de 0.85 W/m²K y para techos 0.5 K W/m²K. Los valores de K en Argentina, para verano, son similares a los de Italia. Asimismo, al igual que en EE. UU., entre los valores de K para muros y techos existe una diferencia marcada, que en otros países no. Referido a los valores de invierno, Argentina presenta valores cercanos a los de EE. UU. para muros y similares a España en cuanto a techos.

Conclusiones

Los resultados de la revisión determinan que, los marcos normativos internacionales evalúan a la envolvente edilicia en base a 14 parámetros; la ZC, la orientación, las infiltraciones, la transmisión lumínica, condición de borde, la RVO, el sombreado, la ganancia de calor, el control solar, la absorción de radiación solar, K, R, el control de humedad y los puentes térmicos.

Se concluye que los aspectos más importantes para tener en cuenta en el diseño y evaluación de la envolvente son la ZC, la RVO y la K, lo cual concuerda con diversas

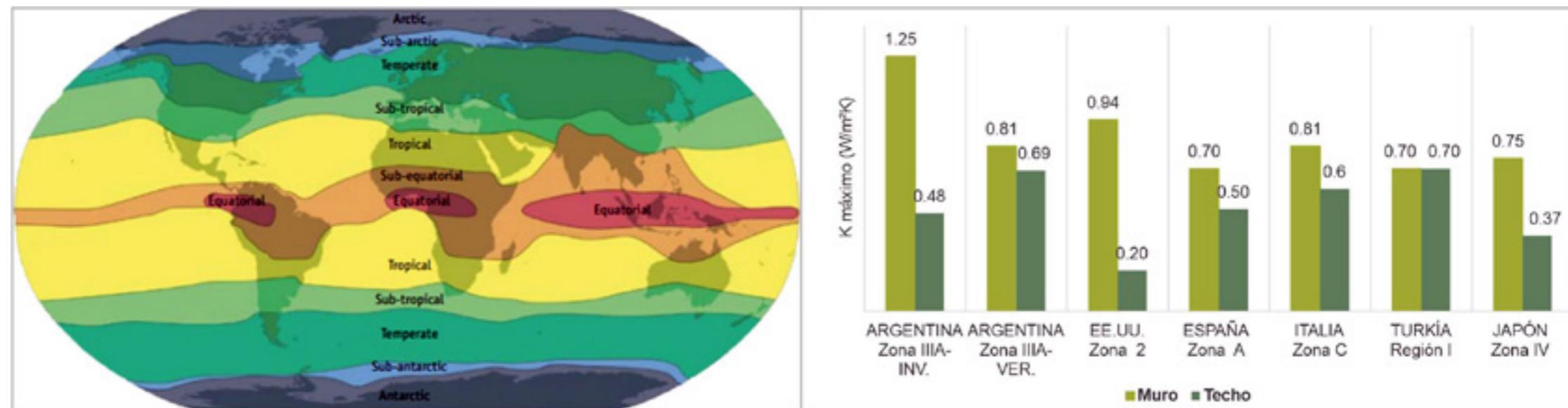


Figura 13. Clasificación climática de Alisov (izq.) y comparación entre K para zonas climáticas similares (der.).

investigaciones en el tema, como las desarrolladas por Alwetaishi (2019) y Chiesa et al. (2019). La ZC, que es utilizada en el 34% de las normativas y que se considera una variable fundamental para la determinación de la K, pero también para el cálculo de la ganancia y protección solar, de la transmisión de calor, de la fenestración y la ventilación e infiltraciones.

La RVO es otra variable predominante en el análisis, la cual se vincula a todos aquellos elementos que forman la envolvente, pero también a la orientación, el tipo

de abertura, el área de calefacción, los grados-día, la ventilación e iluminación, el control de ganancia solar y la transmitancia de luz. Por último, la K es la variable más representativa, presente en el 93% de las normativas. K se vincula principalmente con las condiciones climáticas y la orientación. Sin embargo, en algunos casos (como en las normativas de Australia y Sudáfrica) los valores de K no son contextualizados en ninguna ZC.

Asimismo, se pone en valor que en gran parte de las normativas (como en Emiratos Árabes) los tres criterios

analizados en este trabajo no se desarrollan por separado, por el contrario, son estudiados en permanente vínculo, donde se entiende que la envolvente no depende de uno o de otro, sino del análisis de todos ellos en conjunto.

Luego de cotejar los alcances de las normativas nacionales con las internacionales, se concluye que la normativa argentina referida a la ZC se encuentra completa en comparación con el resto, incluso incorpora el criterio de "pautas de diseño" no visto en otra legislación, lo que se considera valorable. Sin embargo, una

divergencia encontrada es que la normativa argentina no es de aplicación obligatoria, mientras que varias de las legislaciones internacionales sí lo son.

No obstante, se cree necesario reforzar las normativas relacionadas a la RVO ya que no se han encontrado documentos que profundicen este tema. En particular, se considera oportuno analizar el tema en cada ZC de Argentina, considerando aquellas zonas donde, por las características atmosféricas, este aspecto represente una oportunidad de aporte para la eficiencia en el consumo energético. Como así también, aquellas zonas donde una RVO podría ser contraproducente por excesiva ganancia solar en verano, o en invierno podría incrementar las pérdidas de calor interior.

El análisis realizado es de utilidad para una revisión sistemática más detallada y se espera que aporte a investigadores interesados en el tema. Como trabajos futuros se pretende continuar profundizando en este análisis, a los efectos de identificar directrices y recomendaciones factibles de incorporarse en próximas normativas argentinas. Puntualmente, se espera trabajar en forma detallada con la Norma IRAM 11900 de etiquetado de EE en viviendas.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el financiamiento de la tesis doctoral en curso de la autora, de la cual este artículo es producto y al Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) de la FAUD.

Contribución: el trabajo fue íntegramente realizado por sus autores.

El Editor en Jefe de la revista Arq. Carla Nóbile aprobó la publicación final del artículo.

Referencias

- AHMAD, T., Y ZHANG, D. (2020). A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports*, 6, 1973–1991. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2020.07.020>
- ALWETAISHI, M. (2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(1), 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.03.001>
- ANDERSEN, M., MARTINI, I., Y DÍSCOLI, C. (2019). Clasificación y evaluación del sector residencial orientada a la aplicación masiva de estrategias de reciclado edilicio. *AREA*, 25(1), 1–24.
- ASCIONE, F., BIANCO, N., MARIA MAURO, G., Y NAPOLITANO, D. F. (2019). Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, 174, 359–374. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.182>
- ASDRUBALI, F., Y DESIDERI, U. (2018). Handbook of Energy Efficiency in Buildings. A Life Cycle Approach. In Butterworth-Heinemann 2018 (Ed.), *Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812817-6.00002-4>
- BARBARESI, A., BOVO, M., Y TORREGGIANI, D. (2020). The dual influence of the envelope on the thermal performance of conditioned and unconditioned buildings. *Sustainable Cities and Society*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102298>
- BENSEHLA, S., LAZRI, Y., Y MANSOURI, K. (2019). The analysis process in bioclimatic architectural design. *International Seminar Sustainable Cities and Local Development*, 01–07. <https://www.researchgate.net/publication/344378409>
- BID. (2017). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y oportunidades*.
- BLÁZQUEZ, T., FERRARI, S., SUÁREZ, R., Y SENDRA, J. J. (2019). Adaptive approach-based assessment of a heritage residential complex in southern Spain for improving comfort and energy efficiency through passive strategies: A study based on a monitored flat. *Energy*, 181, 504–520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.160>
- BOUTET, M. L., Y HERNÁNDEZ, A. L. (2022). Validación de propuestas de optimización ambiental de un jardín de infantes de tipología compacta, en clima muy cálido-húmedo. *Hábitat Sustentable*, 12(1), 24–43. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.02>

Fuente de figuras

CHIESA, G., ACQUAVIVA, A., GROSSO, M., BOTTACCIOLI, L., FLORIDIA, M., PRISTERI, E., Y SANNA, E. M. (2019). Parametric optimization of window-to-wall ratio for passive buildings adopting a scripting methodology to dynamic-energy simulation. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113078>

CZAJKOWSKI, J. D., Y GÓMEZ, A. F. (2002). *Diseño bioclimático y economía energética edilicia. Fundamentos y métodos: Vol. I* (Universidad Nacional de La Plata, Ed.).

FOROUSHANI, S., BERNHARDT, R., Y BERNHARDT, M. (2022). On the use of the reference building approach in modern building energy codes. *Energy and Buildings*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111726>

HUYNH, A., DIAS BARKOKEBAS, R., AL-HUSSEIN, M., CRUZ-NOGUEZ, C., CHEN, Y., Y DONN, M. (2021). Energy-Efficiency Requirements for Residential Building Envelopes in Cold-Climate Regions. *Atmosphere*, 12(405). <https://doi.org/10.3390/atmos12030405>

IRAM. (2001). *Norma IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites.*

IRAM. (2002a). *Norma IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo.*

IRAM. (2002b). *Norma IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.*

IRAM. (2012). *Norma IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios.*

JEZIERSKI, W., SADOWSKA, B., Y PAWŁOWSKI, K. (2021). Impact of changes in the required thermal insulation of building envelope on energy demand, heating costs, emissions, and temperature in buildings. *Energies*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/en14010056>

LETI. (2020). *Climate Emergency Design Guide*. <https://www.leti.uk/cedg>

SECRETARÍA DE AGENDA URBANA Y VIVIENDA. (2020). *ERESEE 2020. Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación española*. https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-06/es_ltrs_2020_0.pdf

SECRETARÍA DE VIVIENDA. (2020). *Vivienda Sustentable. Manual de ejecución*.

Subramanian, S., Bastian, H., Hoffmeister, A., Jennings, B., Tolentino, C., Vaidyanathan, S., y Nadel, S. (2022). *2022 International Energy Efficiency Scorecard*. www.aceee.org/research-report/i2201

Tushar, W., Lan, L., Withanage, C., En, H., Sng, K., Yuen, C., Wood, K. L., y Kumar, T. (2020). Exploiting design thinking to improve energy efficiency of buildings. *Energy*, 197, 117–141. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117141>

United Nations. (2022). *The Sustainable Development Goals Report 2022*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf>

United Nations Development Programme. (2021). *Types of climate and climate zones*. <https://climate-box.com/textbooks/the-problem-of-climate-change/2-2-effects-on-plants-and-animals/>

Wong, L., y Krüger, E. (2017). Comparing energy efficiency labeling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. *Energy Policy*, 109, 310–323. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.005>

Yusuf, A. (2020). Evaluation of bioclimatic principles in design of office building in hot-dry climate region of Nigeria. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(4), 820–826. www.nachi.org

Figura 1. elaboración propia.

Figura 2. Subramanian et al. (2022)

Figura 3. elaboración propia.

Figura 4. elaboración propia.

Figura 5. elaboración propia según normativas de Figura 3.

Figura 6. elaboración propia.

Figura 7. elaboración propia.

Figura 8. elaboración propia según normativas de Figura 3.

Figura 9. elaboración propia según normativas de Figura 3.

Figura 10. elaboración propia según normativas de Figura 3.

Figura 11. elaboración propia según normativas de Figura 3.

Figura 12. elaboración propia según Norma IRAM 11603 (2012).

Figura 13. United Nations Development Programme (2021) (izq.) y elaboración propia (der.)